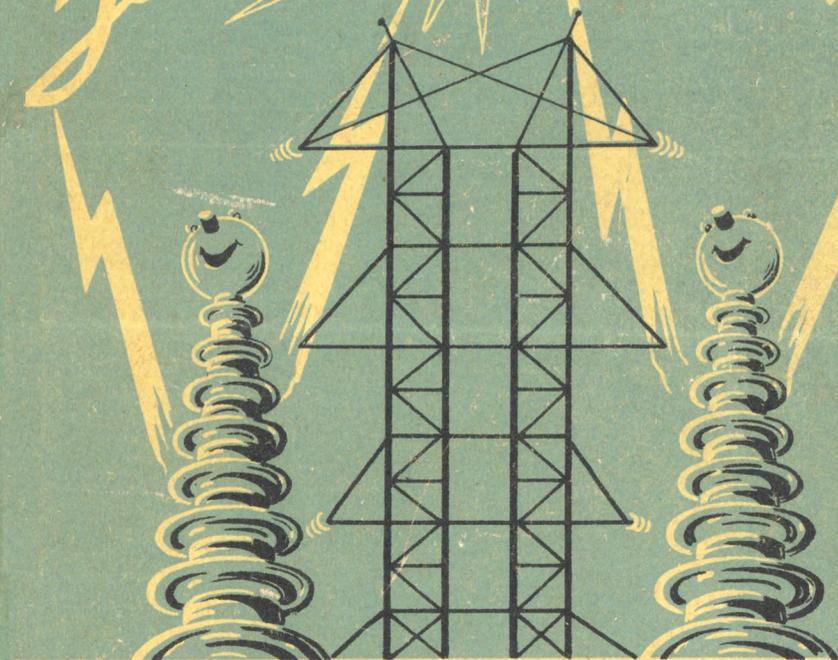


С. Л. Вальдгард

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ

Электротехника

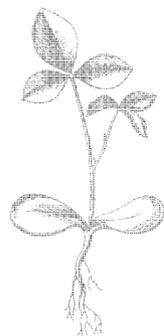


ПРОФТЕХИЗДАТ - 1961

С. Л. ВАЛЬДГАРД

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ВСЕСОЮЗНОЕ УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПРОФТЕХИЗДАТ
Москва 1961



ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

В книге в популярно-занимательной форме излагаются понятия об электричестве и его применении в различных производствах, в автоматике; приводятся интересные примеры, сопоставления, факты из различных областей электротехники; рассказывается о технике будущего. Содержание книги основано на современных достижениях науки в области физики и электротехники.

Книга рассчитана на учащихся училищ системы профессионально-технического образования. Она может также представлять интерес для учащихся средних общеобразовательных школ и широкого круга читателей.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: Москва, Центр, Хохловский пер., 7. Профтехиздат.



ГЛАВА I ВЕК ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ИСЧЕЗЛО

Вам, читатель, приснился необыкновенный сон. Даже проснувшись, вы не сразу можете освободиться от гнетущего впечатления, которое он на вас произвел. А снилось вам, будто в нашей жизни, в технике электричество исчезло. Погасли электрические лампы, причем, как нарочно, произошло это в темный осенний вечер, когда, как говорится, ни зги не видно. Наступил полный мрак в вашей комнате, в коридоре, на лестнице. Все наталкиваются на стены, на мебель, друг на друга. Во мрак погрузились также улицы и площади городов. Сталкиваются пешеходы и уличный транспорт. Водители не видят дороги, так как фары погасли. А какие неудобства и беды причинил наступивший мрак в подземных станциях метро, в кинотеатрах, переполненных зрителями, в операционной палате больницы, где хирург только что приступил к тяжелой операции!

Перестали работать электродвигатели. На заводах и фабриках остановились тысячи машин. Как мертвые стоят токарные и фрезерные станки, гигантские блюминги, прядильные и ткацкие машины, насосы на водопроводной станции, машины, печатающие газеты и книги. На стройках подъемные краны перестали поднимать материалы и их приходится прадедовскими способами тащить вверх на плечах. Остановился и электрический транспорт: трамваи и троллейбусы беспомощно стоят на улицах, а электропоезда — на перегонах между станциями. Казалось бы, может продолжать работать транспорт с тепловыми двигателями. Но у двигателей внутреннего сгорания горючее в цилиндрах зажигается электрической искрой, а она тоже исчезла. Поэтому остановились и автомобили, автобусы, тепловозы, тракторы; перестали летать самолеты.

Многие производства остановились и оттого, что прекратилась работа электрических печей. На металлургических заводах не работают электропечи, в которых выплавляются лучшие сорта стали, на машиностроительных — печи для закалки деталей, не могут работать и электросварщики. Хлебозаводы перестали выпекать хлеб. На фабриках-кухнях не действуют электрические котлы и плиты. Да и дома, спеша на работу, нельзя подогреть завтрак на электроплитке или вскипятить воду в электрическом чайнике.

Остановились и многие очень важные производства, в которых электрический ток выполняет химическую работу — производит кислород, выплавляет алюминий, очищает медь.

Нарушилась связь, имеющая такое громадное значение в нашей жизни — не работают телефон и телеграф. Напрасно раздраженный начальник цеха стучит по рычагу телефона — тока в линии нет. Заводы и министерства не могут посылать необходимые деловые телеграммы. Отсутствие связи разлаживает всю их работу, всю хозяйственную жизнь страны.

Нарушилась и культурная жизнь. Газеты не получают сообщений — неизвестно, что делается в других городах и в других странах. Не печатаются книги. У входов в кинотеатры объявления: «Закрит из-за отсутствия электроэнергии». Умолкло и радио, замерли телевизоры.



Рис. 1. Что произошло бы, если бы электричество исчезло

К счастью, все это лишь сон. Вы просыпаетесь после кошмара и, когда, наконец, приходите в себя, облегченно вздыхаете: «Как хорошо, что этого не может произойти на самом деле». Но этот сон кое-чему научил вас — стало еще яснее, какое громадное значение имеет электричество во всей нашей жизни! Как глубоко проникло оно во все области современной техники, производства, культуры и в быт...

И невольно задумываешься над тем, почему электричество играет такую большую, решающую роль в нашей технике, в ее развитии, во всех областях нашего народного хозяйства?

У электричества много ценных, замечательных свойств, благодаря которым оно приобрело передовое значение в современной технике и производстве.

СЕРДЦЕ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ВЕЛИКИЙ ПОСРЕДНИК

Долго мечтали люди о создании «вечного двигателя» — такого двигателя, который «вращался бы» и приводил в действие машины, не потребляя и не получая ниоткуда энергии. Сотни изобретателей ломали над этим голову. Но «вечный двигатель» — несуществующая мечта. Он невозможен потому, что энергия не может возникать из ничего и не может уничтожаться — она лишь превращается из одного вида в другой. Это один из основных законов природы — закон сохранения и превращения энергии. Для работы каждой машины необходим источник энергии.

Когда-то, в далеком прошлом, люди обходились энергией собственных мускулов. Чтобы приводить в движение большие суда, к их скамьям цепями приковывали десятки рабов, и они, выбиваясь из сил, гребли тяжелыми веслами.

Но для развития производства нужно было все больше энергии, и человек научился брать ее из окружающей природы. На кораблях стали делать мачты с парусами и использовать энергию ветра.

В Голландии люди в течение столетий боролись с морем, которое наступает на низкий берег. Множество крылатых ветряных двигателей приводили в действие насосы, перекачивающие воду с берега в море через высокие плотины.

Люди научились использовать и энергию рек — движения воды. Завертели колеса водяных мельниц. В XVIII в. талантливый русский мастер К. Д. Фролов соорудил под землей огромные деревянные колеса-двигатели (до 18 м диаметром) для откачивания воды из глубоких рудников Сибири.

Двести лет назад произошла революция в технике: была изобретена паровая машина — тепловой двигатель, использующий

энергию топлива. Создателями ее были И. И. Ползунов в России, Ньюкомен и Уатт в Англии. Наступил век пара. Паровые двигатели стали приводить в действие станки и машины на заводах и фабриках, паровозы и пароходы.

Развитие производства и техники неуклонно шло вперед. Оно требовало все большего количества энергии. Нужен был новый, более совершенный вид энергии, который можно было бы легко и дешево получать, передавать на расстояния и использовать для самых разнообразных потребностей — для работы машин, освещения и других надобностей. Такой энергией оказалось электричество.

Электротехника за последнее столетие быстро развивалась, и электрическая энергия находила все большее и разностороннее применение. Век пара в технике сменился веком электричества. Электричество приобрело огромное значение в современной технике.

Но получать электроэнергию непосредственно из окружающей природы человек пока не умеет. Это не значит, что ее там нет. Как вы скоро узнаете, электричество находится в каждом атоме вещества, во всех окружающих нас предметах.

Иногда в природе можно наблюдать грозные электрические явления. Когда надвигаются темные грозные тучи и сверкают яркие молнии, происходят могучие разряды электричества. Электрическое напряжение между тучей и землей достигает сотен миллионов вольт, длина молнии — нескольких километров, а ее мощность — миллионов киловатт, т. е. не уступает мощности гигантских электростанций. Но разряды молнии длятся лишь ничтожные доли секунды и для практического применения такой вид электроэнергии непригоден.

Наши гигантские электростанции используют энергию топлива или движения воды в реках и превращают ее в электроэнергию. Посмотрите на схему (рис. 2). Слева видно, из каких природных источников получается электроэнергия, а справа — в какие другие виды энергии она превращается при ее разнообразном использовании в технике.

В гидроэлектростанциях текущая вода рек вращает водяные турбины. Они передают движение электрическим генераторам, а те производят электроэнергию. Таким образом, происходит превращение взятой из природы механической энергии в электрическую.

В тепловых электростанциях цепь превращения энергии сложнее. При сгорании топлива его скрытая химическая энергия сперва превращается в тепловую. Затем в паровой турбине из тепловой энергии образуется механическая, и, наконец, в генераторе механическая энергия превращается в электрическую. Электрическая энергия получается здесь из тепловой, а тепловая энергия — из химической энергии топлива, взятой в природе.

Применяются различные гальванические элементы и аккумуля-

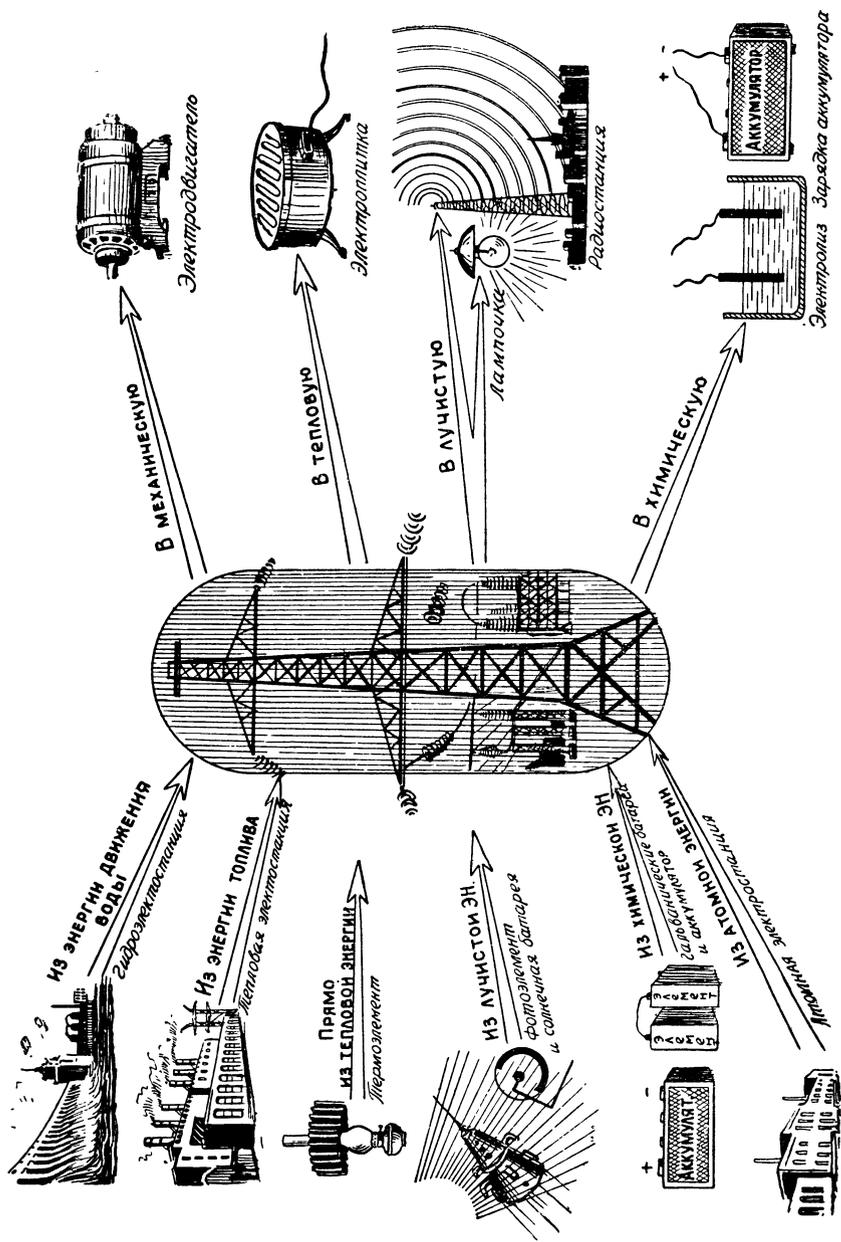


Рис. 2. Электричество — сердце современной энергетики

ляторы, в которых электроэнергия получается за счет запасенной в них химической энергии.

Существуют термоэлементы. В них тепло непосредственно превращается в электрическую энергию. Есть и фотоэлементы, в которых электроэнергия образуется из энергии лучей света. На советских искусственных спутниках земли работают солнечные батареи, в которых энергия лучей солнца производит электрический ток, питающий автоматические приборы и радиостанции спутников. Этим новым источникам электроэнергии, несомненно, принадлежит большое будущее.

Современная техника вступает в век атомной энергии. На новых атомных электростанциях электрическая энергия производится за счет выделения огромной энергии атомных ядер. Передовое место в использовании атомной энергии для мирных целей занимают советская наука и техника.

Мы видим, что электроэнергия получается из самых различных видов энергии, существующих в природе: механической, тепловой, химической, лучистой, атомной.

Посмотрим теперь, как используется электричество в технике и в какие другие виды энергии оно превращается. В электродвигателях электрическая энергия превращается в механическую, которая приводит в движение станки и машины, трамваи и поезда. В электрических печах и других нагревателях электрическая энергия превращается в тепловую. В электрических лампах она дает свет — лучистую энергию. Лучистой энергией являются и радиоволны, которые возникают в антеннах передающих радиостанций. Наконец, во многих электрохимических процессах электрическая энергия порождает химическую.

Перед нами раскрывается интересная и своеобразная картина. Электричество в технике не только получается из любого другого вида природной энергии, но и само, в свою очередь, превращается в разнообразные другие виды энергии — в механическую, тепловую, лучистую, химическую. При этом непосредственно из природы человек электричества не получает. В то же время он использует в технике обычно не непосредственно само электричество, а различные другие явления и виды энергии, которые получает с его помощью. Таким образом, электричество является как бы своеобразным посредником между природными источниками энергии и производственными процессами. Электричество иногда называют «великим посредником», так как эта роль его в технике поистине колоссальна.

Вспомним еще раз важнейший закон физики — закон сохранения и превращения энергии: энергия не может возникнуть из ничего, а лишь превращается из одного вида в другой. Закон этот лежит в основе многих разнообразных превращений энергии в технике. Электрическая энергия обладает способностью особенно легко и гибко возникать из других видов энергии и, в свою очередь, превращаться в них. В этом одно из ее очень цен-

ных свойств, которому она обязана своими победами в технике. Создано много технических устройств для этих превращений: генераторы, электродвигатели, электрические печи, лампы и др., с которыми мы более подробно познакомимся в дальнейшем.

Заметим, что превращения электроэнергии происходят с очень малыми потерями. У мощных электродвигателей коэффициент полезного действия достигает 90% и выше, у генераторов 98—99%. Это делает их выгодными в хозяйственном отношении и открывает им более широкий путь в производство.

ПОБЕДА НАД РАССТОЯНИЕМ

Вы работаете на одном из московских, уральских или сибирских заводов. Каждый день, придя в цех, вы включаете электродвигатель своего станка, вечером включаете электрическую лампочку. Но задумывались ли вы, где получена, откуда пришла та электроэнергия, которой вы каждый день пользуетесь?

Электричество, питающая Москву, производится на ряде электростанций, находящихся на расстоянии 100—200 и более километров от нее. Новый мощный поток энергии подает в нашу столицу гигантские электростанции на Волге — Куйбышевская им. В. И. Ленина и Сталинградская, турбины которых вращаются на расстоянии 800—1000 км от Москвы. Оттуда же, с Волги, по проводам, подвешенным на высоких мачтах, передается энергия и на далекий промышленный Урал.

Одно из замечательных и ценнейших свойств электрической энергии состоит в том, что ее можно передавать на большие расстояния. Электричество помогает человеку побеждать пространство. Стальной вал может приводить в действие машины, находящиеся на расстоянии десятков метров. Тепло — горячую воду или пар — по хорошо изолированным трубам можно получать с расстояния в несколько километров. Но только электроэнергию можно передавать на многие сотни километров.

Однако не сразу удалось передавать электроэнергию на сотни километров. На пути развития дальних электропередач встали немалые трудности. Большой помехой оказалось нагревание проводов током — потеря драгоценной энергии на бесполезное образование тепла. Ведь с электростанций приходится передавать энергию очень большой мощности, и при значительном расстоянии ее потери становятся огромными. Как бороться с ними, как уменьшить вредное нагревание проводов?

Делать провода более толстыми? Тогда уменьшится их сопротивление току, а значит и нагревание. Однако расчет показывает, что для передачи на расстояние 100 км тока в 40 000 квт при рабочем напряжении 500 в с потерей в 15% пришлось бы проложить медный брус толщиной 1 м². Понятно, что такое решение практически непригодно.

Но нашелся другой путь решения этой задачи. Вы помните из курса физики, что мощность тока W равна напряжению V , умноженному на величину тока I . Если мощность 40 000 *квт*, то при напряжении 500 *в* величина тока будет 80 000 *а*. Но при той же мощности 40 000 *квт* и при напряжении 50 000 *в* величина тока всего 800 *а*.

Нагревание же проводов зависит от величины тока: чем она больше, тем больше и потеря энергии на нагревание. Значит, чтобы снизить потерю энергии, надо по возможности уменьшить ток. А для этого необходимо повысить напряжение. Это и делают на электростанциях повышающие трансформаторы.

В 1873 г. на выставке в Вене как «завоевание мировой техники» демонстрировалась передача энергии на целых... два километра. Но уже через пять лет русский инж. Ф. А. Пироцкий доказал возможность передавать электроэнергию на любое расстояние. А в 1882 г. на выставке в Мюнхене посетители с удивлением наблюдали, как работал насос, электродвигатель которого получал энергию уже с расстояния 60 *км*. Правда, мощность передаваемого тока была всего 1½ *л. с.*, причем в проводах терялось 78% энергии, а доходило до места только 22%.

Начало современной передачи электроэнергии на большие расстояния было положено выдающимся русским электриком М. О. Доливо-Добровольским. В 1891 г. он построил линию электропередачи мощностью 200 *л. с.* при напряжении 8½ тыс. *в* длиной 175 *км* и притом с очень малой потерей. Это было большой победой науки и техники, и изобретение русского ученого приобрело всемирное применение.

В нашем столетии мощные потоки электроэнергии стали передаваться все дальше и дальше — на 200—300—400 *км*. Советские ученые и инженеры создали мощные высоковольтные линии передачи с Куйбышевской и Сталинградской станций в Москву на рекордное расстояние 800—1000 *км* — дальше всех не только существующих, но и проектируемых линий во всем мире. Одновременно с этим повышалось и напряжение высоковольтных линий — 35 тыс. *в*, 110 тыс. *в*, 220 тыс. *в*. Передача электроэнергии по линии Куйбышевская ГЭС — Москва производится при напряжении 400 тыс. *в*, а из Сталинградской станции в Москву — даже полмиллиона вольт.

Возможность передавать энергию на большие расстояния имеет огромное значение для народного хозяйства СССР. Перевозка топлива по железным дорогам обходится очень дорого и загружает транспорт. Гораздо выгоднее сжигать топливо на месте, в топках электростанций, а полученную электроэнергию передавать по проводам на десятки и сотни километров.

В недрах нашей страны залегают несметные богатства ископаемого топлива (уголь, нефть, газ). В Подмосковном бассейне много бурого угля; в северных и западных областях простираются огромные торфяные болота. В Восточной Сибири открыты

богатейшие запасы угля, которые расположены так близко от поверхности земли, что их можно разрабатывать открытым способом, не роя глубоких подземных шахт. Во многих местах в недрах земли найдены громадные количества природного горючего газа. Энергию этого топлива можно выгодно перерабатывать в электроэнергию, а ее по проводам передавать в далекие города и промышленные районы.

А сколько драгоценной энергии несут в своих водах наши могучие реки — Днепр, Волга, Обь, Енисей, Ангара и многие другие! Интересно взглянуть на старинную карту расположения фабрик и заводов в промышленных странах лет 200—300 тому назад. Они цепочками вытягивались вдоль берегов рек, которые питали их своей энергией. Река вращала водяные колеса, которые приводили в движение машины. Заводы и фабрики были «привязаны» к реке и не могли «отойти» от нее даже на небольшие расстояния.

А теперь! На берегах рек воздвигаются гигантские гидроэлектростанции, использующие дешевую энергию текущей воды. Они строятся целыми каскадами, одна за другой, вниз по течению. А от них по линиям высоковольтных передач энергия передается городам и заводам. Волга питает Москву и заводы Урала. От Енисея и Ангары электроэнергия скоро потечет в промышленные районы Сибири. Заводы строятся там, где добывается сырье или где нужна их продукция. Порвана стеснявшая связь с местами добычи энергии — вместо «связанной» пришла «свободная» энергетика — электричество победило пространство.

Линии передач — металлические каналы электрической энергии — связывают электростанции между собой и объединяют их в энергетические системы (рис. 3). Это позволяет лучше и выгоднее использовать мощность различных станций — тепловых, речных, атомных — и лучше обслуживать потребителей энергии. Гидростанции не всегда могут работать одинаково: в разное время года в реке протекает различное количество воды. Когда воды много, большая часть нагрузки приходится на гидростанции, а теплоэлектростанции, включенные в ту же систему, в это время могут экономить топливо. Во время же мелководья тепловые станции пускают в ход большее число турбин и генераторов, так что общее количество энергии в системе не уменьшается. Города и заводы равномерно снабжаются энергией.

Сами потребители также в разное время берут неодинаковое количество электроэнергии. Слыхали ли вы выражение «часы пик»? Это — вечерние часы, когда везде включается освещение, а заводы еще продолжают работать. В эти часы нужно особенно много энергии. Объединение станций в общую систему дает возможность включать в это время резервные мощности, а когда количество потребляемой энергии уменьшается — выключать их. И вообще объединение электростанций позволяет более маневренно использовать их мощности.

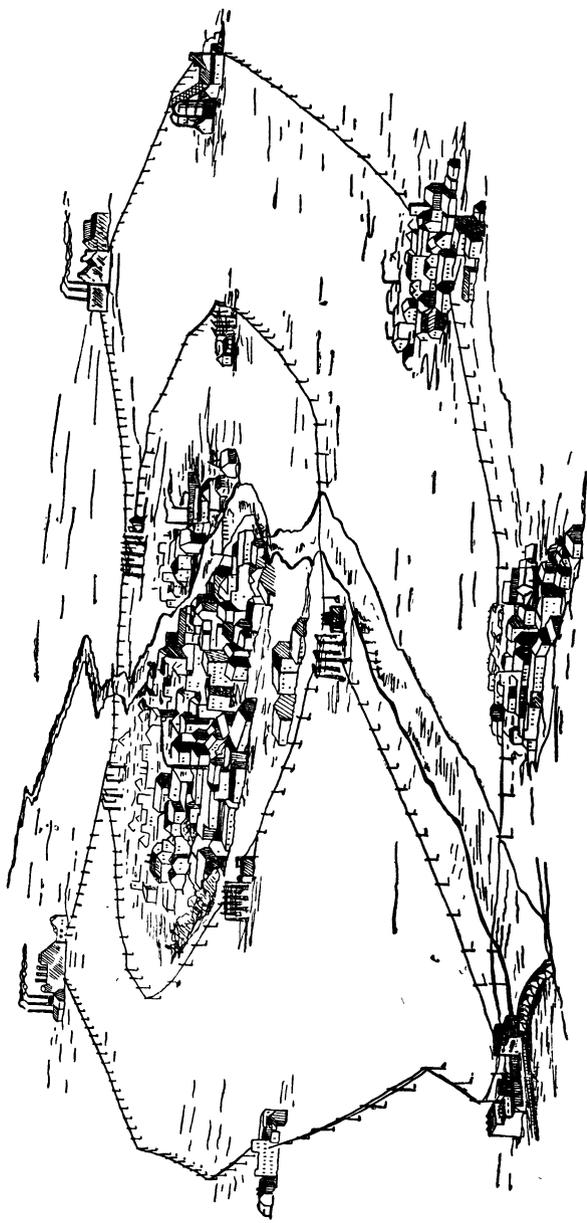


Рис. 3. Объединение электростанций

Но бывает и так, что та или другая электростанция или линия передачи временно перестает работать из-за аварии или ремонта. Без объединения станций целый район лишился бы энергии, остановились бы заводы. А при объединении станций в единую энергетическую систему одни станции замещают другие и потребители бесперебойно снабжаются энергией. Обычно электростанции и потребители электроэнергии соединяются линиями электропередачи в замкнутые кольцевые системы, и, если прекращается подача энергии с одной стороны кольца, потребители продолжают получать ее по линиям электропередачи с другой стороны.

В нашей стране с ее всенародным социалистическим хозяйством происходит объединение все большего количества электростанций в могучие энергетические системы. Постепенно создается и ширится единая, общегосударственная высоковольтная сеть СССР. Уже объединены в большие системы десятки электростанций вокруг Москвы, Ленинграда, на Урале, в Донбассе, Приднепровье и в других крупных районах нашей страны. Все больше сближаются границы между этими местными энергосистемами, они сливаются в единую систему Европейской части нашей Родины. А со временем с ними соединится и огромная система строящихся электростанций Сибири.

Создается нечто титаническое — единая энергетическая система, объединяющая сотни громадных электростанций с общей выработкой энергии в сотни миллиардов киловатт-часов в год. По всей необъятной территории нашей Родины, на многие тысячи километров протягиваются линии электропередач, регулярно снабжающие энергией тысячи городов и заводов. Капиталистический мир с его противоречиями между частными собственниками не может и мечтать об этом. Только у нас, в стране строящегося коммунизма, возможен такой разворот, такое единство и плановость в производстве электроэнергии и в ее использовании.

ГИГАНТЫ И КАРЛИКИ

Электричество имеет и еще одно ценное преимущество — его можно концентрировать в громадных количествах и в то же время делить на очень малые доли.

В марте 1959 г. на Магнитогорском металлургическом комбинате был пущен новый гигантский листопрокатный стан — слябинг. Его могучие валки с громадной силой сжимают 25-тонные слитки стали, расплющивают их и в течение нескольких минут превращают в длинные тонкие полосы стального листа. Стан этот приводит в действие электродвигатель — гигант мощностью в 16 тыс. л. с. В морском флоте можно встретить и еще более мощные электродвигатели в десятки тысяч лошадиных сил, вращающие гребные винты кораблей.

В противоположность им, существуют электродвигатели-карлики, вращающие отдельные веретена новейших прядильных машин. В машине сотни веретен и каждое имеет свой электродвигатель мощностью всего в несколько десятков ватт. Такой двигатель по своей мощности в 200 тысяч раз меньше гиганта, вращающего валки слябинга. А есть и еще меньшие электродвигатели-лилипуты, вращающие лезвия электрических бритв или приборы точной механики. При мощности от 2 до 10 *вт* некоторые из них имеют диаметр $1\frac{1}{2}$ *см*...

В мире электричества мы постоянно встречаемся с гигантами и карликами (рис. 4). Мы увидим их и среди электрических печей и нагревательных приборов. Вы собираетесь утром на работу и, чтобы поскорей вскипятить чай, опускаете в стакан с водой маленький электрический нагреватель. Его мощность не больше чем у электрической лампочки. А на заводах вы можете увидеть огромные электрические печи, в которых, например, нагревают котлы, чтобы снять напряжения, возникшие при сварке их стенок. Внутри такой печи свободно умещается весь котел длиной 20 м, диаметром 3 м, весом 150 т. Сама печь весит 220 т, а общая мощность шести групп ее электронагревателей — 3000 *квт*. Котел въезжает в печь и выезжает из нее на громадных вагонетках. Стакан воды и 150-тонный котел — таковы контрасты малого и большого в мире электрического нагрева.

А вот гиганты и карлики в технике электрического освещения: морской прожектор, луч которого виден за десятки километров, и крошечная лампочка, вделанная под пером «вечной» ручки и в темноте освещающая строчку на листе бумаги.

Не только потребление электроэнергии, но и ее производство возможно как в гигантских, так и в карликовых масштабах. 115 тыс. *квт* — такова мощность каждого из 20 гидрогенераторов, установленных на величайшей в Европе Куйбышевской электростанции им. В. И. Ленина. А в новом семилетии (1959—1965 гг.) развития нашего народного хозяйства будут строиться паровые турбины и генераторы мощностью 200, 300 и



Рис. 4. Гиганты и карлики

даже 600 тыс. квт. А наряду с этим на каждом автомобиле работает генератор-карлик мощностью всего от 60 до 250 вт. В некоторых электрических бритвах двигатель получает энергию от аккумулятора величиной с небольшую монету.

Приборы и аппараты — карлики и гиганты — нужны и для управления электрическим током малой и большой мощности. Чтобы пустить или остановить станок, рабочий одним пальцем нажимает кнопку, которая замыкает контакты малого тока в цепи управления машиной. В автоматической технике чувствительные контакты реле замыкаются подчас от малейшего воздействия или прикосновения. Такие контакты-карлики весят доли грамма.

На электростанциях же, где приходится замыкать и размыкать цепи с напряжением в десятки тысяч вольт и с огромной величиной тока, необходимы очень мощные выключатели — гиганты. Это — огромные и прочные стальные баки, часто выше человеческого роста, весящие десятки тонн и наполненные жидким маслом, внутри которого происходит замыкание и размыкание контактов. Для замыкания и размыкания таких выключателей применяются специальные приводные устройства.

На линии высоковольтной передачи Куйбышевская ГЭС — Москва выключатели имеют высоту трехэтажного дома — около 12 м и весят каждый 50 т.

СТУПЕНИ ВЕЛИКОГО ПУТИ

Шел 1920 г. В своем скромно обставленном рабочем кабинете, в Кремле, работал великий гений пролетарской революции Владимир Ильич Ленин. Родина переживала трудное время. Еще не отгремели залпы на фронтах гражданской войны, Буржуазия всего мира старалась задушить молодую Советскую республику. Страна изнывала от разрухи. В городах не было хлеба, топлива, освещения...

Но прозорливая мысль Ленина устремлялась в светлое будущее. Он думал о том, как построить новое, счастливое коммунистическое общество. Ленин ясно понимал, что для этого необходимо изготавливать как можно больше металла, машин, одежды, продуктов питания. Нужно строить заводы, оборудованные лучшей современной техникой, всемерно развивать промышленность и сельское хозяйство. Для производства же необходима энергия — надо строить электростанции и производить больше электричества. Ленин говорил: «Коммунизм — это есть советская власть плюс электрификация всей страны».

Владимир Ильич хорошо знал хозяйственную и техническую отсталость старой дореволюционной помещичьей России. Электрические лампочки освещали лишь дома богачей, да еще в немногих больших городах ходили по улицам «электрические

конки» — трамваи. В 1913 г. общая мощность всех электростанций страны составляла лишь 1,1 млн. *квт*, а за весь год на них было произведено меньше двух миллиардов киловатт-часов электроэнергии. Такое количество энергии в 1958 г. советские электростанции производили всего за три дня, а за год они выработали почти в 120 раз больше, чем в дореволюционной России! Господствовал изнурительный и малопроизводительный ручной труд — труд с помощью топора и лопаты, серпа и кайла.

Владимир Ильич Ленин задумал осуществить смелый и грандиозный план: застроить страну заводами и электростанциями, превратить старую Россию сохи и топора в Россию новейших машин, в «Россию электрическую». Владимир Ильич говорил: «в 10—20 лет мы Россию всю, и промышленную и земледельческую, — сделаем электрической» (рис. 5).

По поручению великого вождя революции передовые советские ученые и инженеры с увлечением взялись за разработку плана электрификации страны. Он назывался ГОЭЛРО и сыграл историческую роль в развитии нашей страны. Эти шесть букв означали: Государственный план электрификации России.

В декабре 1920 г. в Москве собрался VIII Всероссийский съезд Советов. В обширном неопленном зале Большого театра, одетые в зимнюю одежду, затаив дыхание, слушали делегаты съезда доклад соратника Ленина талантливого инженера-электрика Г. М. Кржижановского о плане электрификации России. На громадной карте, установленной на сцене, вспыхивали лампочки в тех местах, где будут построены электростанции и заводы. План был рассчитан на 10—15 лет. За эти годы надо было построить 30 новых районных электростанций с общей установленной мощностью 1750 тыс. *квт* и с годовым производством энергии 8,8 млрд. *квт-ч*. Это было в 4½ раза больше всей электроэнергии, произведенной в царской России в 1913 г.

Враги молодой Советской республики насмеялись над этим планом и считали его несбыточной беспочвенной фантазией. Даже известный буржуазный писатель Герберт Уэллс, писавший интересные фантастические романы о марсианах, прилетевших на землю, и о науке и технике будущего, не понял смелого ленинского плана электрификации. Он назвал его утопией, а Ленина — «кремлевским мечтателем». Уэллс говорил, что «не может представить себе ничего подобного».

Но план ГОЭЛРО был не фантазией, а смелым научным предвидением, основанным на глубоком знании законов развития нового социалистического общества. И история скоро подтвердила его жизненность. Уже в 1932 г. советские электростанции выработали 13,5 млрд. *квт-ч* электроэнергии, т. е. в 1,5 раза больше, чем было намечено по плану ГОЭЛРО. А в 1935 г. — в год завершения плана — электроэнергии было выработано более 26 млрд. *квт-ч*, т. е. в 3 раза больше намеченных 8,8 млрд. А дальше все возрастающими темпами развивалась советская



Рис. 5

электрификация. В 1940 г. было произведено 48,3 млрд. *квт-ч* — в $5\frac{1}{2}$ раза больше, чем было намечено планом ГОЭЛРО; в 1950 г. — 91,2 млрд. *квт-ч* — в десять с лишним раз больше; а в 1958 г. — 233 млрд. *квт-ч* — в $26\frac{1}{2}$ раза больше. То, что по плану ГОЭЛРО должно вырабатываться в год, было произведено за две недели... Так сбылась и была в десятки раз перевыполнена «несбыточная фантазия кремлевского мечтателя».

Из пятилетки в пятилетку боролся советский народ и его

Коммунистическая партия за беспредельно растущую электрификацию всего народного хозяйства — эту «вторую программу партии», как называл ее В. И. Ленин. Первые годы этой героической борьбы были особенно напряженными. Пуск каждой новой электростанции был всенародным праздником. В 1922 г. вступили в строй Каширская электростанция под Москвой и электростанция «Красный Октябрь» в Ленинграде, а в 1926 г. — первая гидростанция на реке Волхове — первенцы советской электрификации. Шли работы по сооружению Нижне-Свирской ГЭС. Американский консультант Купер уверял, что станцию построить нельзя из-за недостаточно прочного грунта. В США гидростанции строили только на скалистом грунте, а тут его не было, — и «мировой авторитет» пророчил неминуемую катастрофу. Но советский инженер-новатор Г. О. Графтио взялся построить и построил станцию, которая прекрасно работает уже более трех десятилетий. Строилась и гигантская гидростанция на Днестре мощностью 650 тыс. *квт* — самая большая в Европе. Днепрострой в то время был гордостью советских людей. В строительстве принимала участие вся страна. В 1932 г. оно было закончено и Днепрострой стал Днепрогэсом им. В. И. Ленина.

Шли героические предвоенные пятилетки строительства социализма. Все новые и все более мощные потоки электроэнергетики вливались в народное хозяйство. За первую пятилетку (1929—1932 гг.) мощность советских электростанций возросла с 1,9 до 4,7 млн. *квт*, за вторую пятилетку (к 1937 г.) — до 8,2 млн. *квт*, за первые годы третьей пятилетки (1938—1940 гг.) — до 11,2 млн. *квт*. Промышленность, транспорт, сельское хозяйство, культура, домашний быт получали все большую и большую «электрическую основу». Росла электровооруженность советских людей. На каждую душу населения в 1929 г. приходилось 40 *квт-ч* электроэнергии в год, в 1933 г. — 100 *квт-ч*, а в 1940 г. — уже 252 *квт-ч*.

В 1941 г. враг напал на нашу Родину. Начались трудные годы Великой Отечественной войны. Гитлеровцы уничтожили почти половину наших электростанций. Превратился в развалины Днепрогэс. Но советский народ, защищая Родину и напрягая все свои силы, создавал электростанции и заводы в восточных районах страны. И уже через год после победы, в 1946 г., производство электроэнергии достигло уровня 1940 г.

Началась гигантская поступь послевоенных пятилеток. Быстро залечив раны войны, наш великий народ строил новые электростанции, дающие все более мощные потоки электроэнергии — жизненной силы народного хозяйства. К концу четвертой пятилетки, в 1950 г., общая мощность советских электростанций составляла 19,6 млн. *квт*, к концу пятой пятилетки, в 1955 г., — 37,2 млн. *квт*, а в 1958 г., к концу шестой пятилетки — 52 млн. *квт*. Построены такие гиганты, как Куйбышевская и Сталинградская гидростанции на Волге (мощностью 2 300 000 и 2 530 000 *квт*).

На каждую душу населения в 1950 г. приходилось 505 *квт-ч* электроэнергии в год, а в 1956 г. — 954 *квт-ч* — в 24 раза больше, чем приходилось в 1929 г., в начале первой пятилетки.

XXI съезд Коммунистической партии принял величественный план развития народного хозяйства на семилетие — 1959—1965 гг. На одно из главных мест поставлена в нем электрификация, производство и применение электроэнергии, строительство новых электростанций. Н. С. Хрущев в своем докладе на съезде сказал, что годовая выработка электроэнергии в 1965 г. должна возрасти до 500—520 млрд. *квт-ч*, а установленная мощность электростанций — более чем в два раза (т. е. составит более 100 млн. *квт*). Что значат эти поистине «астрономические» цифры, которые не так легко наглядно себе представить? Они означают, что электроэнергии будет произведено в 57 раз больше, чем было намечено по плану ГОЭЛРО и в 250 раз больше, чем производилось в дореволюционной России.

В семилетке (1959—1965 гг.) будет обращено особое внимание на строительство больших тепловых электростанций, которые сооружаются быстрее и обходятся дешевле, чем гидростанции. Это даст возможность скорее создать производственную основу коммунизма и выиграть время в мирном соревновании с капитализмом. Тепловые станции будут иметь огромную мощность, до миллиона киловатт, и на них будут установлены гигантские турбины и генераторы. Проектируется новый тип открытых электростанций без стен и крыш, в которых котлы и машины будут работать под открытым небом. Такие электростанции стоят значительно дешевле закрытых. Одновременно будут строиться и гигантские гидроэлектростанции на наших могучих реках. Братская станция на Ангаре в 3,6 млн. *квт* и Красноярская на Енисее в 4,2 млн. *квт* будут самыми большими в мире.

Советский народ осваивает громадные и почти нетронутые природные богатства Сибири и других восточных районов нашей Родины. Там развертывается основное строительство мощных электростанций. Энергия великих сибирских рек и несметных запасов ископаемого топлива превратится в электроэнергию, которая будет питать быстро растущую промышленность, горное дело и сельское хозяйство целинных земель этого богатейшего края.





ГЛАВА II

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СХЕМЫ

ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ТОКУ — ХОРОШИЕ ПУТИ

Знаете ли вы, что всюду нас окружает несметное количество электричества? Оно находится в каждом предмете, в каждом веществе — в земле, воде, воздухе, в камнях, металлах, дереве, в вещах и одежде, наконец в нашем собственном теле. Ведь все вещества состоят из очень маленьких частиц — атомов. Каждый атом имеет ядро, вокруг которого обращаются электроны, причем как ядро атома, так и электроны имеют электрические заряды.

Но если так, то почему мы не замечаем этого электричества, находящегося во всей окружающей нас природе? Отчего оно себя не проявляет? Объясняется это тем, что существует два рода электрических зарядов — положительные и отрицательные, и, когда они находятся вместе и в одинаковых количествах, они нейтрализуют друг друга и поэтому предметы не имеют каких-либо электрических свойств. Но стоит только положительным и отрицательным зарядам оказаться врозь, стоит нарушиться равновесию между ними, как возникают новые, особые электрические явления. Что происходит, например, во время грозы? В одних местах грозовой тучи скопляются положительные заряды, а в других местах, или на поверхности земли, — отрицательные. И тогда между ними возникает могучий электрический разряд — яркая молния.

В каждом атоме вещества в его обычном состоянии бывает одинаковое количество положительных зарядов ядра и отрицательно заряженных электронов (рис. 6). В атомах алюминия, например, 13 положительных зарядов в ядре и 13 отрицательно заряженных электронов; в атомах железа тех и других по 26, в атомах кислорода по 8. Такой атом электрически нейтрален.

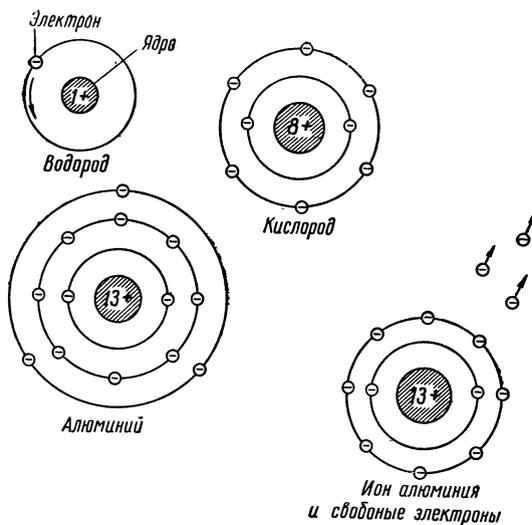


Рис. 6. Электричество в атомах каждого вещества

Но если от атома отделится хотя бы один или несколько электронов, электрическое равновесие нарушится. Как отделившиеся «свободные» электроны, так и остатки атомов (ионы), в которых теперь положительных зарядов остается больше, чем отрицательных, начинают проявлять свои электрические свойства.

Что такое электрический ток? Это движение большого количества мельчайших заряженных частиц. Электрические токи встречаются и в природе. Они возникают, например, в земле, и геологи используют их при поисках полезных ископаемых. Сильные электрические токи образуются на высоте в сотни километров над нами, в ионосфере, в верхнем электрически заряженном слое воздуха. Красивые разноцветные сияния, которые наблюдаются в полярных странах, — это движение заряженных частиц в разреженных газах, т. е. особые электрические токи. С помощью искусственных спутников и космических ракет советские ученые открыли, что вокруг земного шара, на расстоянии тысяч километров от него, движутся громадные потоки заряженных частиц. Еще более сильные, гигантские электрические токи возникают на солнце, в его раскаленных газах, которые состоят из заряженных частиц и находятся в бурном движении.

Однако все эти электрические токи в природе значительно отличаются от тех, которые создает и использует в технике человек. Ведь он воздействует на природу, изменяет ее, переделывает и заставляет служить себе. Преобразует он и электрические явления,

Токи в земле, в атмосфере или в раскаленных газах солнца текут неупорядоченно, по неправильным извилистым путям, захватывая широкое пространство, растекаясь в разные стороны и рассеивая свою энергию. Человек же создал упорядоченный электрический ток, движущийся по длинным и узким металлическим проводам, проложенным в определенном нужном направлении. Люди превратили «дикое» природное электричество в «культурное», техническое. Электрические провода — это хорошо проводящие пути или каналы, по которым передается и подводится поток электроэнергии.

В развитии электротехники большую роль сыграли материалы, хорошо проводящие ток, — проводники электричества. Ими прежде всего оказались металлы.

Простая, казалось бы, вещь — металлический электрический провод, но он был одним из самых великих изобретений человеческого гения и сыграл громадную, неопределимую роль в развитии электротехники, а значит и техники вообще. Ведь именно он явился хорошим проводящим путем для электрического тока. Благодаря ему был создан тот упорядоченный электрический ток, который мы применяем в технике.

Из глубокой древности дошло до нас изготовление металлической проволоки. Тысячу лет назад (в X в.) научились протягивать ее через глазок — отверстие в волочильной доске. Но проволока долго служила лишь для механических целей. В ней ценили прочность. Но лет 300 назад, когда начали изучать электрические явления, у металлической проволоки обнаружилось новое замечательное свойство — способность проводить электрические заряды. Так, в руках человека проволока стала проводом.

Оказалось, что среди металлов особенно хорошей электропроводностью отличаются медь и алюминий (не считая драгоценных металлов). Провода делают из очень чистой меди — до 99,93%, так как примеси увеличивают сопротивление току. Алюминий проводит ток несколько хуже. Поэтому провода из него приходится делать толще медных (при одинаковой величине тока).

Кстати, который из этих проводов окажется тяжелее: медный или алюминиевый? Ведь это тоже важно при подвеске воздушных линий. Решим небольшую задачу. Удельное сопротивление меди 0,017, а алюминия 0,029. Значит, алюминий проводит ток в 1,7 раза хуже меди и во столько же раз провода из него приходится делать толще. Зато удельный вес меди $8,9 \text{ г/см}^3$, а алюминия всего $2,7 \text{ г/см}^3$ — в 3,3 раза меньше. Значит, алюминиевый провод, несмотря на свою большую толщину, все-таки будет в $3,3 : 2,7$ — почти в 2 раза легче медного.

В чем состоят особые электрические свойства металлов и что происходит в проводах, когда по ним идет ток? Чтобы разобраться в этом, нам придется еще внимательнее присмотреться

к миру крошечных частиц вещества — атомов и электронов. Они ничтожно малы — диаметр атома равен одной десятиллионной доле миллиметра. Поперек ногтя вашего мизинца (1 см) уместится в ряд 100 миллионов атомов. Электроны же во много раз меньше атомов. Вообразим, что мы имеем сверхсильный микроскоп, увеличивающий в миллионы раз, и посмотрим, каково мельчайшее строение металлов. Мы узнаем, что электроны, наиболее далекие от атомного ядра, менее прочно связаны с ним и сравнительно легко могут от него оторваться. От этого в металле образуется много отдельных, свободных электронов, которые беспорядочно движутся между остатками атомов. Мы увидим также, что металлы имеют кристаллическое строение — их атомы или заряженные остатки атомов (ионы) расположены в виде правильной кристаллической решетки. Между ними во все стороны движутся свободные электроны, подобно какому-то «электронному газу». Так происходит, когда в металлическом проводе нет тока.

Но вот к концам провода приложено электрическое напряжение, и появилась электродвижущая сила. Ее создал источник тока — генератор электростанции, к полюсам которого присоединены концы электрической цепи. От действия напряжения возникает новое движение свободных электронов вдоль провода. Так появляется ток. Правда, это движение электронов в металлическом проводнике сложно — они по-прежнему беспорядочно мечутся во все стороны между атомами кристаллической решетки, но к этому добавляется более упорядоченное движение вдоль проводов.

С какой скоростью передается по проводу электрический ток? На этот вопрос не так просто ответить. Распространяется ток с чрезвычайно большой скоростью — с такой же, как и свет, т. е. 300 тыс. км в секунду. От Луны до Земли (385 тыс. км) свет доходит примерно за секунду с четвертью; от Солнца до Земли (около 150 млн. км) — за 8 мин. 18 сек. Значит, если бы прогнать провод от Земли до Луны и включить ток на Земле, то он дошел бы до Луны через секунду с четвертью. Лампочка, включенная в этот провод, через секунду зажглась бы на расстоянии 300 тыс. км от нас. На наших «земных» расстояниях ток распространяется практически мгновенно.

Однако это вовсе не значит, что с такой скоростью движутся по проводу сами электроны. Их скорость несравненно меньше. С огромной скоростью распространяется вдоль провода электрическое силовое поле — действие электродвижущей силы. Через секунду она приведет в движение электроны на расстоянии 300 тыс. км. Но это будут отнюдь не те электроны, которые на секунду раньше пришли в движение в начале провода.

Даже в безвоздушном пространстве, где электроны мчатся, не встречая никакого сопротивления, например в радиолампах,

при напряжении, например, 250 в, их скорость достигает всего около 9000 км в секунду.

Когда же электроны проходят внутри металлического провода, они все время сталкиваются с атомами и один с другим, отскакивают в стороны, движутся то в одном, то в другом направлении, часто даже назад. И это очень замедляет их движение. Правда, если приложить электродвижущую силу, она постепенно «проталкивает» электроны вдоль провода. Но даже при очень большом напряжении, в 1 в на каждый сантиметр длины провода (или 100 000 в на 1 км), скорость электронов вдоль провода достигает всего около 10 см в секунду. При напряжении же нашей осветительной сети эта скорость равна даже 1—3 мм в секунду или около 10 м в час. Если бы скорость тока была скоростью распространения электронов, пришлось бы ждать лет 10, пока ток от новой Куйбышевской электростанции дойдет до Москвы. А лампочка на потолке зажглась бы через полчаса после того, как вы повернули на стене выключатель.

И то это было бы лишь в том случае, если бы мы применяли постоянный ток. Но в технике чаще используется переменный ток, который 100 раз в секунду меняет свое направление (имеет 50 пер/сек). В таком токе электроны вообще не распространяются вдоль провода. За каждый период ($1/50$ сек.) они совершают лишь колебательное движение вперед и назад от своего среднего положения в проводе.

* * *

Металлический провод сыграл важнейшую роль в развитии электротехники. Но, чтобы проложить току хорошие пути, нужны не только хорошие проводники. Необходимы и такие материалы, которые, наоборот, плохо проводят электричество. Они называются изоляторами. Дело в том, что пути электрического тока — провода — надо хорошо изолировать от всех окружающих предметов: от земли, воды, металлических и других проводящих тел, а также от людей. Из неизолированных проводов электричество легко растекалось бы по окружающим проводящим предметам и уходило бы через них в землю. От этого терялась бы драгоценная энергия. Для организма же человека ток представляет большую опасность. Вот почему электрические провода тщательно изолируют. Их покрывают резиной, лаком, шелковыми и другими нитками, отделяют от стен и столбов фарфоровыми изоляторами. И чем выше напряжение, тем лучше, надежнее должна быть изоляция проводов. Нужна, как говорят, большая электрическая прочность изоляции, иначе она будет пробита электрическим разрядом.

Развитие электротехники потребовало изучения электрических свойств различных веществ в двух противоположных направлениях — их способности проводить ток или, наоборот, изо-

лизовать его. Из всего многообразия природных веществ электрики выделили две нужные им группы — хорошие проводники и хорошие изоляторы. Эти материалы — антагонисты — стали неразлучными союзниками, и лишь в их тесном единении была создана сеть окружающих нас каналов электрического тока. Позже мы узнаем, что в современной электротехнике огромное значение приобрели и другие материалы с промежуточными свойствами — полупроводники. Но не будем забегать вперед...

Воздух в обычном состоянии служит хорошим изолятором. Поэтому воздушные провода делают голыми, без изолирующей крышки. Но посмотрите, как тщательно изолированы они от своих металлических опор, через которые ток мог бы найти хороший путь в землю. Провода линий высокого напряжения подвешены на целых гирляндах из больших фарфоровых изоляторов. Присмотритесь к тому, как остроумно устроен каждый из них. На его поверхность может осесть слой пыли, и, когда ее смочит вода, получится проводящий путь для утечки тока. При очень высоком напряжении изолятор может перекрыть и электрическая дуга. Чтобы удлинить и затруднить обходный путь для тока утечки, изоляторы имеют форму колокола или нескольких спускающихся фарфоровых «юбок». В складки между «юбками» на нижней поверхности изолятора дождевая вода не попадает и там не образуется проводящий слой жидкой грязи. Чем выше напряжение в линии, тем больше бывает изоляторов в гирлянде, на которых подвешены провода.

Вступая в черту густонаселенных городов, линии электропередач уходят под землю. Земля, в особенности сырая, довольно хорошо проводит электричество, поэтому подземные провода должны быть надежно от нее изолированы. В земле прокладывают провода специальной конструкции — кабели. Расчленим кусок кабеля и рассмотрим его устройство (рис. 7).

Возьмем широко применяемый кабель СБ (эта марка кабеля обозначает кабель с медными жилами, бронированный стальными лентами). В середине его находятся три токопроводящие медные жилы 1, по которым протекает трехфазный ток. Каждая из них скручена из многих проволок, что придает кабелю необходимую гибкость; его можно изгибать при монтаже, а также накручивать на барабан для перевозки. Каждая жила обмотана многими слоями бумажной ленты 2. Кроме того, все три жилы вместе покрыты несколькими слоями бумаги 4, а промежутки между жилами заполнены жгутами из скрученной бумаги 3. Бумага служит электрической изоляцией. Бумажная лента пропитана масляно-канифольным составом, отчего она еще лучше защищает кабель от утечки тока и от пробоев между фазовыми жилами. Как вы видите, кабель окружен еще свинцовой оболочкой 5. Она непроницаема для жидкостей и газов и надежно защищает от проникновения влаги и окисляющего действия воздуха. Но свинец недостаточно прочен, и для защиты

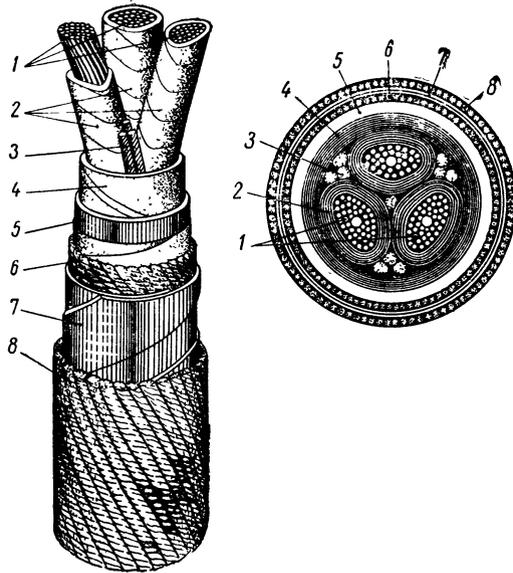


Рис. 7. Как устроен кабель:

1 — медные жилы, 2 — бумажная лента, 3 — жгут,
4 — бумага, 5 — свинцовая оболочка, 6 — мягкая «подушка», 7 — броня, 8 — пряжа

от механических повреждений кабель окружен еще броней 7 из намотанных стальных лент. Между свинцовой оболочкой и стальной броней проложена мягкая «подушка» 6 из кабельной пряжи. А поверх брони намотан слой пряжи 8, пропитанный битуминозным составом, который защищает сталь от ржавчины.

Существуют подземные кабели и более сложной конструкции с еще более надежной изоляцией, по которым передается ток напряжением в 100 тыс. в.

Кабели проходят и под водой. Между Европой и Америкой телефонные кабели проложены по дну Атлантического океана. Во время Отечественной войны в осажденный Ленинград электроэнергия подавалась по кабелю, который советские саперы под огнем врага провели по дну Ладожского озера.

Поток электроэнергии по металлическим изолированным проходам — это своего рода «электрические реки», русла которых умело проложены человеком. Но обратите внимание на их характерное отличие от обычных водяных рек. Посмотрите на карту: маленькие реки сливаются между собой и образуют все более широкую и полноводную реку. Мощная же «электрическая река», наоборот, подходя к местам потребления, разветвляется на все более мелкие речки и ручейки, подводящие энергию к многочисленным потребителям. В большом городе поток электроэнер-

гии растекается по его районам, улицам, домам, квартирам и комнатам или по заводам, цехам и отдельным станкам и машинам.

Ценность металлических каналов электроэнергии состоит в том, что они не только передают ее на большие расстояния, но и распределяют, направляют, подводят в каждое нужное место, к тысячам и миллионам ламп, двигателям, нагревателям и т. д.

И не только это. В электротехнике строятся разнообразные и часто очень сложные электрические цепи и схемы. Прежде чем дойти до потребителей, ток испытывает сложные превращения, проходит через многочисленные приборы: выключатели, контакты, распределители, сопротивления, электромагнитные катушки, трансформаторы, электронные лампы и другие приборы. Между этими элементами электрической цепи установлена определенная и часто весьма сложная электрическая связь, объединяющая их для выполнения поставленной задачи.

Эта связь между элементами электрических цепей и схем также осуществляется металлическими проводами. Проводящие пути тока бывают очень сложными, и при построении электрических цепей и схем возникает много интересных вопросов.

ОТ ПОЛЮСА ДО ПОЛЮСА

Задумывались ли вы над тем, почему у трамваев или у электропоездов один воздушный провод, а у троллейбусов их два (рис. 8)? Собственно, в каждой электрической цепи постоянного тока необходимы два провода, идущих от двух полюсов источника тока. По одному проводу ток поступает в цепь, а по другому он обязательно должен вернуться обратно в источник.

У трамваев и электрических поездов в сущности тоже два

провода. Но вторым из них (обратным) служат рельсы. Ток по ним возвращается на электростанцию или подстанцию. Это вполне реальное явление. Чтобы создать непрерывный и возможно лучший проводящий путь для обратного тока и чтобы уменьшить его утечку в землю, принимаются специальные меры. В трамвайных линиях стыки рельсов сваривают, а на электрифици-

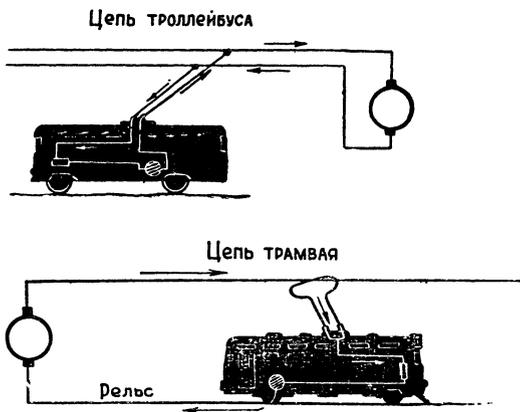


Рис. 8. Почему у троллейбуса два провода, а у трамвая один

рованных железных дорогах в стыках между рельсами делают проводящие медные соединители. На питающих тяговых подстанциях один из полюсов соединяется с воздушными проводами, а другой — с рельсами посредством отсасывающего кабеля. А чтобы ток по пути не растекался в землю, рельсы стараются лучше изолировать от грунта — применяют крупнозернистый балласт, устраивают водоотводы, а шпалы пропитывают веществами, не содержащими металлических солей (не проводящими электричества).

Что же касается троллейбусов, то хорошо проводящих металлических рельсов у них нет. А использовать землю в качестве обратного провода нельзя, потому что колеса вагонов изолированы от нее резиновыми шинами. Вот почему здесь приходится делать два провода и соединять с ними вагон двумя «усами» — токоприемниками.

Случается, что у троллейбуса отскочит токоприемник. Останется ли вагон, если связь нарушится не с обоими проводами, а только с одним? И имеет ли значение, с каким именно? Конечно, не имеет — ведь ток в цепи электродвигателей прекратится в каком бы месте не разомкнулась цепь.

Своеобразно построены электрические цепи и в автомобиле. От его генератора и батареи аккумуляторов к лампам, запальным свечам и др. проведено лишь по одному проводу. Обратное к источнику ток возвращается через металлический корпус машины или, как говорят автомобилисты, через массу. Однако для этого на обоих концах — у источника и у потребляющих приборов — другой полюс должен быть хорошо присоединен к этой массе.

Военные связисты применяли однопроводные полевые телефонные линии. На обоих концах линии один из полюсов заземлялся, и вторым проводом служила земля. Правда, потом оказалось, что при таком способе можно через землю подслушать телефонные разговоры. Для этого надо вдоль линии закопать два чувствительных электрода и во много раз усилить «пойманные» токи. Значит и здесь обратные токи, идущие через землю, — вещь совершенно реальная.

* * *

Ток всегда идет по замкнутой и непрерывной цепи проводников, обычно проводов, протянувшихся от одного полюса источника электроэнергии до другого. Перед вами на столе светится электрическая лампочка. Откуда идет ток, накаляющий ее волосок? Проследите весь путь его от полюса до полюса. Он подается с генераторов электростанции, находящейся, быть может, за десятки или сотни километров от вашего города — сначала по воздушной линии, потом по подземным кабелям. От ввода в ваш дом провода с током поднялись по лестничной

клетке, вошли в вашу квартиру. Проследите дальше, как от квартирного ввода ток по проводу направился вдоль коридора, ответвился в вашу комнату, прошел вдоль стены через штепсельную розетку и шнур и наконец попал в лампочку и произвел в ней свою работу. А дальше? По другому проводу ток ушел обратно к квартирному вводу, а затем, пройдя десятки километров, вернулся на электростанцию, к другому полюсу генератора. Без этого не будет замкнутой цепи — не будет и тока.

О ПРОСТЫХ ВЕЩАХ — ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛАМПОЧКАХ И ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ

Это было 80 лет назад. На электротехнической выставке в Париже, у входа в один из павильонов стояла большая очередь, желавших посмотреть действие нового, только что изобретенного прибора. Выходящие из павильона восторженно рассказывали: «Представьте себе, повернешь — и зажжется, повернешь еще раз — погаснет»... Речь шла о простом выключателе, включавшем электрическую лампочку, который ныне кажется нам таким обыкновенным.

Мы пойдем удивление, которое вызвали эти первые выключатели, если узнаем, что творилось до них. Когда, например, в Большом театре начиналось действие, капельдинеры бегали по всем ярусам и гасили на стенах свечи. А когда наступал антракт — их снова зажигали.

В самом простом выключателе выявилось одно из очень важных преимуществ электричества — возможность легко и удобно управлять током. Он был «дедушкой» многих других более сложных приборов электрического управления.

Хорошо ли вы знаете, как включают в цепь электрические лампочки и выключатели, а также розетки для настольных ламп, плитки и другие приборы? Взгляните сперва на самую простую схему включения двух ламп с отдельными выключателями (рис. 9). Ветви обеих ламп соединены параллельно — так, чтобы каждая из них могла включаться или выключаться независимо от другой. Выключатель же каждой лампы соединен с ней последовательно, чтобы замыкать или размыкать ее ветвь.

А вот еще две схемы (рис. 10). В них, кроме ламп и выключателей, есть розетки. Рассмотрите как следует, в какой схеме розетка включена правильно, а в какой неправильно. В чем ошибся электромонтер в одной из этих цепей? Ведь розетку надо подключить так, чтобы она не зависела от выключателя, чтобы выключатель, размыкая цепь лампы, не прекращал подачу тока в розетку. Проследите ход тока в той и другой цепи. В которой из них розетка будет работать при погашенной лампе?

Можете ли вы разобраться в электрической проводке всей вашей квартиры? Вот примерная схема такой проводки в квар-

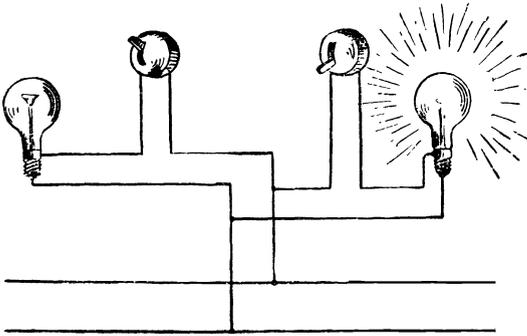


Рис. 9. Как включаются лампы и выключатели

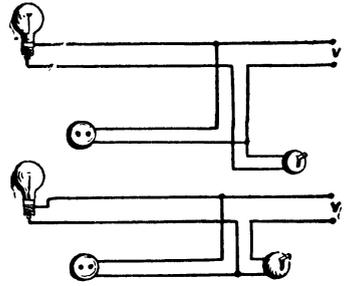


Рис. 10. Где ошибся электро-монтер?

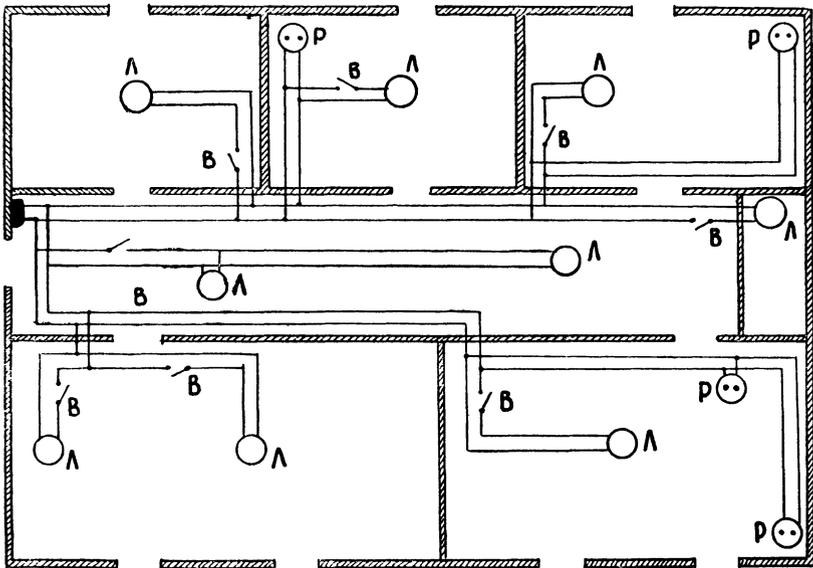


Рис. 11. Схема нашей квартиры

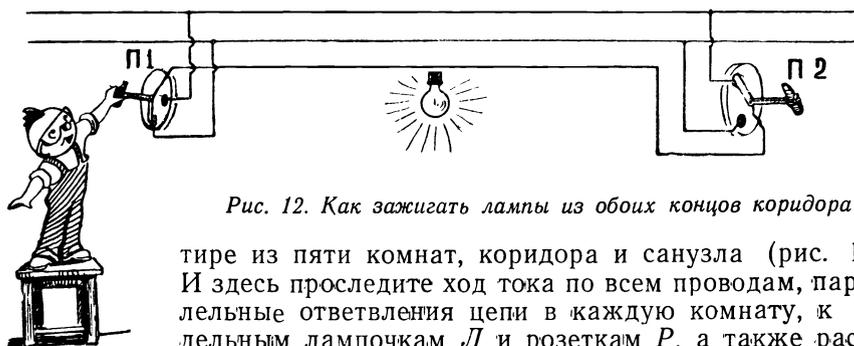


Рис. 12. Как зажигать лампы из обоих концов коридора

тире из пяти комнат, коридора и санузла (рис. 11). И здесь проследите ход тока по всем проводам, параллельные ответвления цепи в каждую комнату, к отдельным лампочкам L и розеткам P , а также расположение выключателей B ? Все ли в этой схеме построено правильно? Ваша квартира и ее проводка, вероятно, отличаются от данной схемы. Постарайтесь сами, по аналогии с ней нарисовать схему проводки вашей квартиры. Покажите на ней расположение проводов и приборов? Это поможет вам, когда понадобится, самим сделать проводку или найти и устранить в ней повреждения.

Иногда встречаются более сложные случаи, над которыми приходится задуматься. Пусть, например, лампу, находящуюся посередине длинного коридора, нужно зажигать и гасить с обоих его концов, причем так, чтобы каждый из двух выключателей работал независимо от положения другого (рис. 12). Такая задача может возникнуть и при освещении корабельных помещений. На схеме показан один из способов ее решения. Цепь лампы может замыкаться или размыкаться через оба переключателя $П1$ и $П2$. Пусть надо включить и выключить лампу с того конца коридора, где находится переключатель $П1$, причем другой переключатель $П2$ находится в верхнем положении. Тогда, поворачивая $П1$ вниз, мы замыкаем цепь, а поворачивая его вверх, размыкаем (обратите внимание на соединение с питающей линией). Если же $П2$ находится в нижнем положении, то при повороте $П1$ вниз цепь лампы размыкается, а при повороте его вверх замыкается. Проследите сами: как можно включать и выключать лампу с противоположного конца коридора переключателем $П2$?

А вот еще более сложный случай — схема освещения лестницы многоэтажного дома (рис. 13). Надо так построить схему, чтобы включать и выключать все лампы (всех этажей) можно было с каждого этажа. Для этого придется применить особые более сложные переключатели. Рассмотрите сначала, как они действуют. На верхнем и нижнем этажах переключатели соединяют и разъединяют контакты крест-накрест: соединяют 1 с 4 и разъединяют 2 и 3 или соединяют 2 с 3 и разъединяют 1 и 4 . На промежуточных же этажах переключатели устроены иначе. Они соединяют, или разъединяют соседние контакты — соединяют 1 с 2 и 3 с 4 , разъединяя 1 от 3 и 2 от 4 (или наоборот)

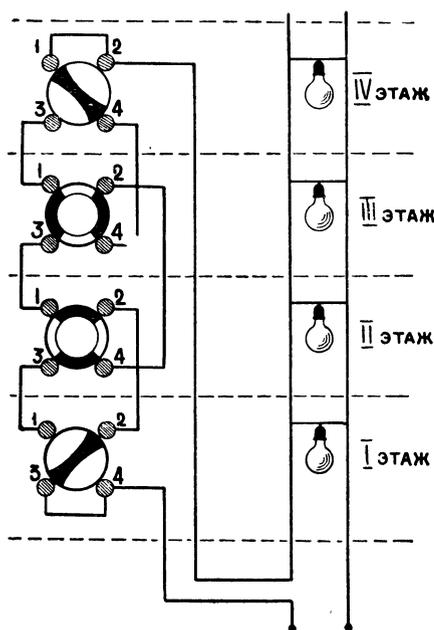


Рис. 13. Как зажигать лампы с каждого этажа лестницы:
1, 2, 3, 4 — контакты

А теперь посмотрите, как действует схема включения ламп в целом. Пусть, вернувшись домой, вы застали лампы выключенными и положение всех переключателей в таком виде, как оно изображено на нашей схеме. Цепь от нижнего этажа до верхнего проходит через контакты 3 и 2 I этажа, 2 и 1 II этажа и 3 и 1 III этажа. На IV же этаже цепь разомкнута в контакте 3. Значит разомкнута вся цепь и лампочки выключены. Вы хотите включить их и поворачиваете переключатель нижнего этажа. Теперь вся цепь замыкается по новому — через контакты 4 и 1 I этажа, 3 и 4 II этажа, 2 и 4 III этажа, 4 и 1 IV этажа. Значит замкнута вся цепь и лампы включены. Предположим, вы живете на III этаже. Поднявшись на него, вы поворачиваете свой

переключатель. Каковы теперь соединения во всей цепи и как проходит по ней ток? Он проходит через контакты 4 и 1 I этажа, 3 и 4 II этажа, 2 и 1 III этажа, а на IV этаже обрывается на контакте 3. Цепь в этом месте размыкается, и все лампочки выключаются. Но вот вышел на лестницу квартирант из IV этажа и повернул свой переключатель. Ток в цепи проходит теперь через контакты 2 и 3 IV этажа, 1 и 2 III этажа, 4 и 3 II этажа и 1 и 4 I этажа. Вся цепь оказалась замкнутой, и лампы снова включились. Жилец, уходя из дома, поворачивает переключатель I этажа, чтобы погасить за собой свет. Проследите сами, в каком месте разомкнется теперь общая цепь? А где будет замыкаться и размыкаться цепь, управляемая с каждого из этажей, при любом положении остальных переключателей? Не правда ли остроумно строятся электрические цепи и схемы?

Как в этом, так и во многих других случаях приходится не просто замыкать или размыкать цепи, а производить более сложные переключения между их ветвями. В клубных и других больших залах бывает нужно включать или выключать различные группы ламп. Перед нами люстровый переключатель, управляющий двумя группами ламп (рис. 14). Посмотрите, как сделана его вращающаяся часть. Она соединяет три из четырех контак-

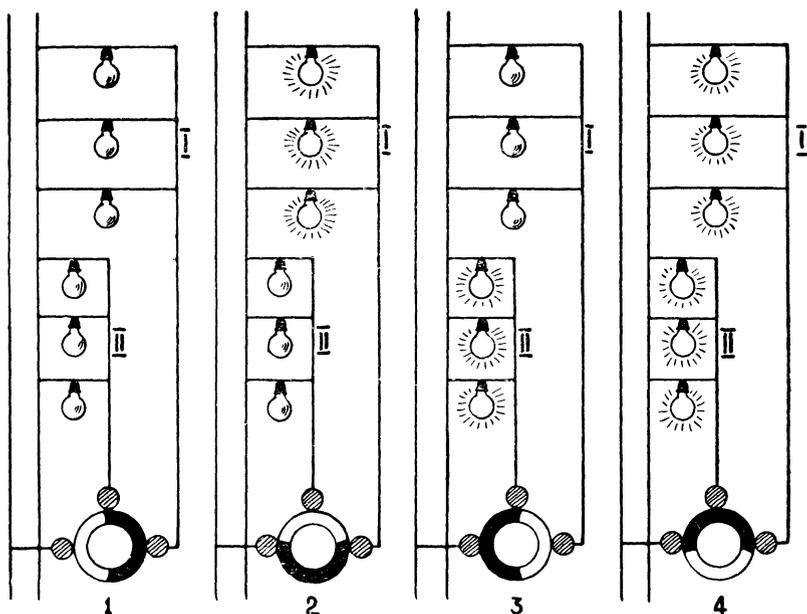


Рис. 14. Как зажигать две группы ламп:
1, 2, 3, 4 — положения переключателя; I, II — группы ламп

тов переключателя. А теперь проследим, какие соединения получаются в цепи из двух групп по три лампы при поворотах этого переключателя на каждую $\frac{1}{4}$ оборота. Вы видите, что в положении 1 цепь вообще разомкнута и обе группы ламп выключены. В положении 2 включается I группа ламп, II группа продолжает оставаться выключенной. В положении 3, наоборот, включается II группа ламп, а I группа выключается. В положении 4 включены все лампы обеих групп. Но еще один поворот выключателя, и обе группы ламп выключаются.

Подумайте, как надо перестроить схему соединений, имея тот же переключатель, но так, чтобы сначала включалась I группа ламп, потом обе вместе и лишь затем только II группа? К каким контактам подвести и подключить обе группы ламп?

На производстве электрические лампочки служат не только для освещения. Они выполняют также ответственную задачу сигнализации. Перед глазами рабочего или дежурного инженера зажигаются разноцветные лампочки: белые, зеленые, красные. Они автоматически включаются и не только привлекают внимание персонала: в одних случаях сигнальные лампы извещают о выполнении нормальной работы оборудования, в других предупреждают о неполадках и о возможной аварии.

Вот простая схема такой сигнализации (рис. 15). Рабочий (или автоматическое устройство) замыкает контакты *1* и пускает в ход электродвигатель ЭД. Но одновременно с пуском двигателя замыкаются контакты *2* и на далеком контрольном пункте включается лампочка Л. Это говорит диспетчеру о том, что приказ выполнен — двигатель включен. Когда же двигатель будет выключен, вместе с контактами *1* разомкнутся и контакты *2* и контрольная лампочка также выключится.

Однако в этой простой схеме есть недостаток. Что произойдет, если оборвется провод или перегорит лампа? Двигатель будет включен, а сигнальная лампа не включится — и диспетчер получит неправильное представление о ходе работы.

Поэтому лучше, надежнее более сложная сигнализация с двумя лампами (разного цвета). Если двигатель включен — светится одна лампа, а если выключен, — другая. Если же не светятся обе лампы — значит есть какая-то неисправность сигнализации. Но как построить схему с такими двумя лампами? Когда включается двигатель, замыкаются сигнальные контакты *2*, отчего у диспетчера включается нижняя лампа — сигнал «Включено». Контакты *3* в это время разомкнуты и вторая верхняя лампа выключена. Когда же двигатель выключается, замыкаются контакты *3* и включается верхняя лампа — сигнал «Выключено». Контакты *2* при этом размыкаются и нижняя лампа выключается.

Автоматическую сигнализацию приходится применять в разных производствах, в работе металлорежущих станков, в металлургических печах, в химических аппаратах. И каждый раз устройство ее должно соответствовать особенностям данного производства. Нужно, например, чтобы сигнализация показывала, до какой высоты насыпан в бункер цемент на бетонном

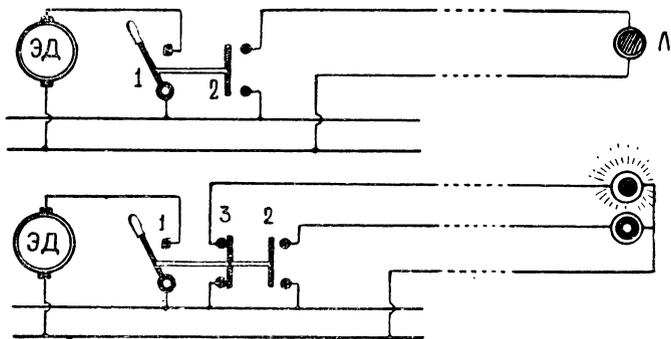


Рис. 15. Как провести автоматическую сигнализацию:

1, 2, 3 — контакты

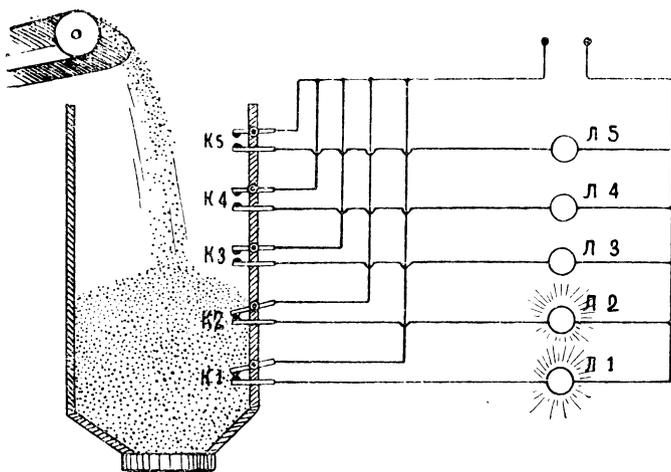


Рис. 16. До какой высоты заполнен бункер?

заводе или зерно на элеваторе (рис. 16). В бункере на разной высоте установлены контакты $K1$, $K2$, $K3$, $K4$ и $K5$, которые замыкаются от действия давления засыпанного материала. А на щите управления расположены контрольные лампы $L1$, $L2$, $L3$, $L4$ и $L5$, которые включаются одна за другой, снизу вверх, по мере того, как заполняется бункер. Проследите по схеме этой сигнализации, как соединены контакты бункера с сигнальными лампочками. Щит с контрольными лампами может находиться на большом расстоянии от бункера и на него могут подаваться сведения о заполнении многих бункеров, расположенных в различных местах завода или элеватора.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ИЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНО

Машинами нередко приходится управлять из разных мест. Нажимая кнопки, можно пускать и останавливать большую машину, например из трех мест цеха. Посмотрите, как построена здесь управляющая цепь, как соединены в ней кнопки для пуска и для остановки (рис. 17). Кнопки для остановки включены последовательно, одна за другой, в одной и той же ветви цепи. Кнопки же пуска почему-то включены параллельно, в нескольких отдельных ветвях. Для чего нужно такое различие?

Что произойдет, если нажать кнопку «Пуск 1» и замкнуть первую из параллельных ветвей. Ток поступит в катушку электромагнита ЭМ, который втянет свой якорь и включит электродвигатель. Другие параллельные ветви с кнопками «Пуск 2» и «Пуск 3»

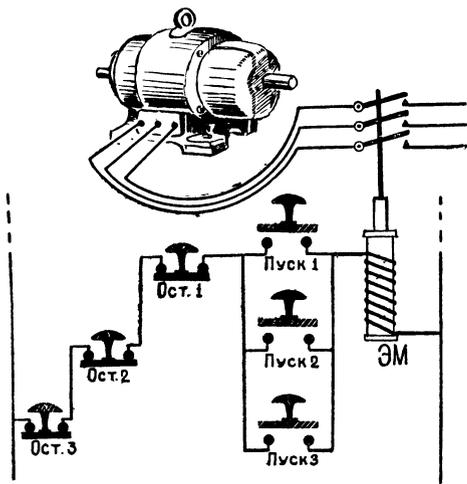


Рис. 17. Как включить кнопки пуска и остановки?

могут остаться при этом разомкнутыми. Это не будет иметь значения, так как ток пойдет через замкнутую ветвь. Такое же независимое замыкание цепи произойдет и в тех случаях, если мы нажмем кнопку «Пуск 2» или «Пуск 3».

Но вот нужно остановить двигатель машины и для этого разомкнуть цепь электромагнита. Мы можем разомкнуть ее, нажав любую из трех кнопок остановки: 1, 2 или 3. Каждая из них разомкнет цепь при замкнутом положении остальных кнопок. Вот почему кнопки эти соединены последовательно.

Представьте себе обратное. Что произошло бы, если бы кнопки пуска были соединены последовательно, а кнопки остановки — параллельно? Вы нажали бы кнопку пуска в одном месте, но двигатель не включился бы, так как цепь могла быть разомкнута в другом месте. Или вы захотели бы остановить работающий двигатель, разомкнув одну из параллельных ветвей, но он продолжал бы работать, так как другая параллельная ветвь оказалась замкнутой.

Поднимаясь в лифтах, вы, вероятно, замечали, что они не начинают двигаться до тех пор, пока не захлопнута дверь в металлической шахте лифта. В шахте устроены особые контакты, которые размыкаются, когда открывают двери, и замыкаются, когда их закрывают. Дверные контакты всех этажей включены последовательно в цепь управления электродвигателем, поднимающим кабину. Поэтому, на каком бы этаже дверь не оказалась открытой, цепь будет разомкнута и двигатель не включится. Он сможет включиться только тогда, когда закрыты все двери и замкнута вся цепь, проходящая через дверные контакты всех этажей. Пусковые же кнопки внутри кабины в общей сложной схеме управления соединены параллельно. Поэтому, нажав любую из них, можно включить двигатель лифта.

Последовательно или параллельно? В этом вопросе есть и другая очень важная сторона: какова взаимная связь напряжения (V), величины тока (I) и сопротивления (R), когда мы включаем в электрическую цепь лампочки, нагревательные приборы и другие потребители тока? Эти «три кита» электротехники,

как вы, конечно, помните, связаны основным законом Ома:

$$\text{Величина тока } I = \frac{\text{Напряжение } V}{\text{Сопrotивление } R},$$

$$\text{или иначе } V = I \cdot R, \text{ а } R = \frac{V}{I}.$$

Закон Ома лежит в основе многих расчетов. В связи с этим законом возникает немало интересных вопросов.

Как включаются лампочки? Обычно — параллельно. Но как вы думаете, у которой из ламп волосок должен быть толще или тоньше (при той же длине)? У той, которая светит ярче, или у той, которая дает меньше света? Скажем у 60- или у 96-ваттной? Пожалуй, сразу не сообразишь. Выясним, какое сопротивление должно быть у этих ламп. (Ведь у толстого волоска оно меньше, а у тонкого больше.) Сделаем небольшой расчет по закону Ома. Напряжение во всех параллельных ветвях одинаково, скажем, 120 в. Величина же тока в них бывает различной и именно от нее зависит накал волоска: чем сильнее ток, тем ярче светит лампа. Определим величину тока по мощности этих ламп.

$$W = I \cdot V, \text{ значит } I = \frac{W}{V}. \text{ Для 60-ваттной лампы } I_1 = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ а,}$$

$$\text{а для 96-ваттной } I_2 = \frac{96}{120} = 0,8 \text{ а. Какое же сопротивление}$$

$$\text{должно быть у этих ламп? } R = \frac{V}{I}. R_1 = \frac{120}{0,5} = 240 \text{ ом, а}$$

$$R_2 = \frac{120}{0,8} = 150 \text{ ом. Значит в лампе, дающей меньше света, сопро-}$$

тивление должно быть больше и волосок тоньше, а в лампе, светящейся ярче, сопротивление меньше и волосок толще. Она должна как бы предоставлять току более широкий проход.

Бывают случаи, когда лампочки включаются последовательно. В трамваях, например, при напряжении 600 в включают последовательно пять ламп по 120 в каждая — $120 \times 5 = 600$ в. Последовательно включены и разноцветные лампочки в гирляндах для праздничных елок. Каково напряжение каждой из них, если в сети 120 в, а в гирлянде 20 лампочек? $120 : 20 = 6$ в.

В загородной сети с напряжением 220 в можно включить последовательно две одинаковые лампы по 120 в. Правда, они будут светить неполным накалом, так как на каждую придется лишь по 110 в. А что если включить в такую сеть последовательно две различные по мощности лампы — одну в 60 вт, а другую в 96 вт? Какая из них будет светить ярче? Результат, может быть, окажется для вас неожиданным: лампа 60 вт будет светить очень ярко с перекалом и скоро перегорит, а в лампе 96 вт будет еле видна покрасневшая нить. Почему? Сделаем опять расчет. При последовательном соединении напряжение распределяется между участками цепи пропорционально их сопротивлениям $\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$ (рис. 18). Сопротивление наших ламп: 240 ом в лампе

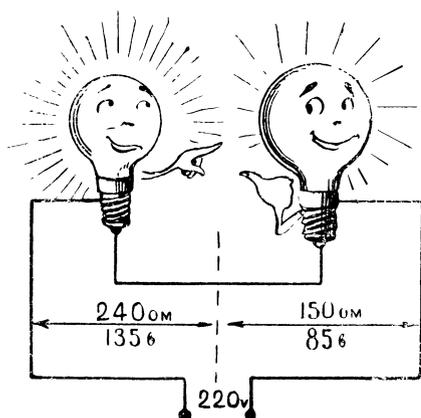


Рис. 18. Которая из ламп будет светить ярче?

«60 вт» и 150 ом в лампе «96 вт»; значит они относятся как 8 к 5. В таком же соотношении распределяется между ними и общее напряжение 220 в. Напряжение в первой лампе равно 135 в, во второй — 85 в. Что же касается величины тока, то она во всех последовательных звеньях цепи всегда одинакова, значит одинакова она и в обеих лампах. Ведь не может быть, чтобы в одно и то же время через один участок цепи протекало больше зарядов, а через другой — меньше. В результате меньшая лампа потребляет большую мощность и светит

ярче, а большая потребляет меньшую мощность и светит слабее.

У последовательного соединения есть и еще одно неудобство. Перегорит одна из 20 ламп в елочной гирлянде — разомкнется цепь и погаснет вся гирлянда. Не легко найти место разрыва. Параллельные же ветви независимы одна от другой.

Но вот странное и не сразу понятное явление. Перед вами ярко светит лампочка. Вдруг она почему-то мигнула и стала светить заметно слабее. Вы догадываетесь, что это ваш сосед за стеной включил плитку или другой мощный прибор. Через час он его выключит и ваша лампа снова будет светить ярче. В чем же дело? Ведь лампа и плитка включены в разные параллельные ветви! А они одна от другой не зависят?

Дело в том, что это более сложный случай смешанного соединения — параллельного и последовательного. Кроме лампы и плитки, в цепи участвуют еще длинные подводящие провода до разветвления к вам и к вашему соседу. Они тоже имеют небольшое сопротивление и поэтому в них происходит некоторое падение напряжения. По закону Ома оно зависит от сопротивления этих проводов и от величины проходящего по ним тока $V = I \cdot R$. Когда сосед включил свою плитку, то не только в ее параллельной ветви, но и по всем подводящим проводам пошел значительно более сильный ток. От этого в этих проводах возникло большее падение напряжения. А на долю включенных приборов, в том числе и на лампу в вашей комнате, осталось несколько меньшее напряжение. И лампа это сразу «почувствовала». Надо так рассчитывать проводку и мощность включаемых приборов, чтобы этого явления не происходило.

Посмотрите, как странно включен амперметр, измеряющий большую величину тока (рис. 19). Параллельно ему для чего-то

сделано ответвление, в которое включено небольшое сопротивление. Это — шунт. Дело в том, что чувствительный амперметр испортится, если пустить через него слишком сильный для него ток. И шунт отводит через себя значительную часть этого тока. Но правильны ли тогда показания амперметра, если через него проходит лишь малая часть измеряемого тока? В этом устройстве умело подобраны сопротивления амперметра R_A и шунта $R_{ш}$. У шунта оно в 9, в 99 или в 999 раз меньше, чем у амперметра. А ведь величина тока в двух параллельных ветвях обратно пропорциональна их сопротивлениям: $\frac{I_A}{I_{ш}} = \frac{R_{ш}}{R_A}$. Значит, через амперметр проходит ток I_A в 9, в 99 или в 999 раз меньший, чем ток $I_{ш}$, проходящий через шунт. Таким образом, проходящий через амперметр ток I составляет как раз $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ или $\frac{1}{1000}$ часть того общего тока, который надо измерить. Шкала амперметра проградуирована с учетом данного шунта и на ней указывается в 10, 100, 1000 раз больший ток, чем тот, который был действительно измерен прибором. А ведь это и есть настоящая величина тока в цепи.

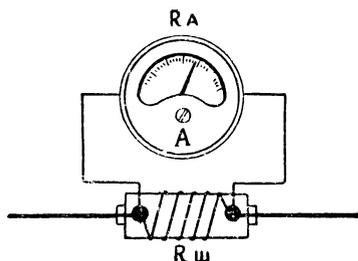


Рис. 19. Что такое шунт?

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОМАНДИР

Кто из вас не наблюдал с интересом на улицах «движущиеся» световые надписи, в которых буквы по-очереди зажигаются и гаснут одна за другой и как бы волна света пробегает от начала до конца надписи? И, вероятно, вы задумывались над тем, как это устроено (рис. 20). В каждую букву последовательно включено несколько лампочек малого напряжения. А параллельные ветви целых букв присоединены к вращающемуся барабанному распределителю. На поверхности барабана расположены контактные пластины и к ним на разной высоте подведены скользящие контакты от цепей различных букв. Вращаясь, барабан по-очереди замыкает их и включает ту или другую букву. Ток проходит через лампы, скользящие контакты K и контактные пластины $П$ на поверхности барабана, а затем с барабана в общий обратный провод всей цепи.

Рассмотрите, как расположены пластины на барабане распределителя. (на схеме поверхность его изображена как бы расправленной на плоскости.) Чтобы поочередно замыкать контакты букв, пластины размещены одна за другой, но на различной высоте, образуя как бы ступеньки какой-то винтовой лестницы.

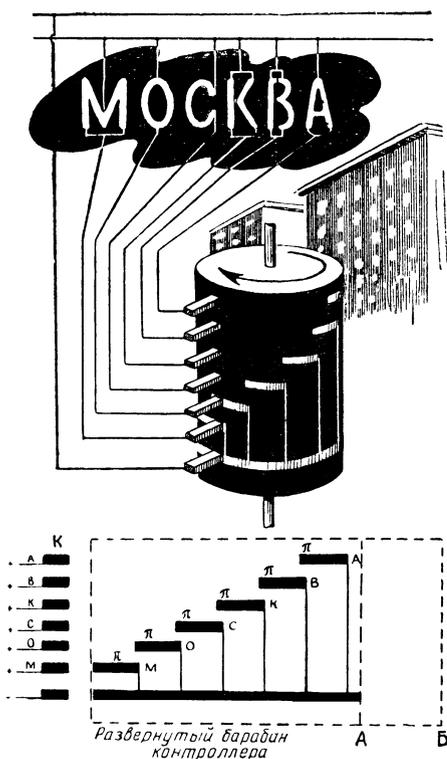


Рис. 20. Переключатель для светящейся надписи

Проследите по схеме, как проходит ток от ветви каждой буквы через контакт *К*, пластины барабана *П* и обратный провод? Но для чего часть барабана от *А* до *Б* оставлена без контактных пластин? Что происходит, когда она проходит мимо контактов? В это время ни одна из ветвей не замыкается и выдерживается пауза между включениями надписи. Такие электрические переключатели-распределители с вращающимися контактными барабанами называются контроллерами.

Но вот перед нами новое, более сложное задание (рис. 21). Надо, чтобы буквы не гасли сразу же после зажигания, а оставались светящимися и постепенно создавали целую надпись. Эта надпись некоторое время (например 5 сек.) должна светиться, а затем выключаться, но с тем, чтобы через пять секунд снова включаться в той же последовательности.

Как устроены и расположены контактные пластины на барабане переключателя? Это уже не короткие пластины, похожие на ступени лестницы, а более длинные, причем длина их различна. Начинаются они в разных местах по окружности барабана, так, чтобы по очереди в соответствующие моменты его поворота замыкать скользящие контакты различных букв. Коснувшись пластины, контакт каждой буквы продолжает скользить по ней по окружности барабана. Поэтому буквы, включаясь одна за другой, не выключаются тут же, а продолжают светиться. При дальнейшем вращении барабана включены уже все буквы и светится вся надпись. Но затем пластины на барабане кончаются, контакты всех букв размыкаются и надпись «гаснет». При повороте от *А* до *Б* надпись не светится, а затем буквы опять включаются одна за другой. Контроллер вращается медленно и равномерно, делая полный оборот за определенное время, например за 10 сек. Из них 6 сек. приходится на зажигание шести букв, 1 сек. на свечение всей надписи и 3 сек. на паузу.

Такие переключатели широко применяются в технике. Вы часто наблюдали, как пользуются ими водители трамваев и троллейбусов. При поворотах рукоятки, а с нею и барабана контроллера с контактными пластинами водитель делает переключения в цепях электродвигателей и этим приводит вагон в движение, изменяет его скорость, останавливает или дает задний ход.

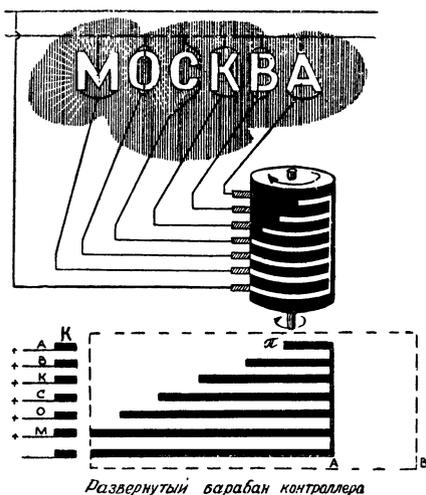


Рис. 21. Другой переключатель для светящейся надписи

Но особенно важно и интересно применение командоконтроллеров в автоматике. Они нередко служат здесь центральным органом управления — «электрическим мозгом» многих самодействующих устройств. Медленно поворачиваясь с помощью небольших электродвигателей, они своими контактными пластинами замыкают различные ветви сложной электрической цепи, а от этого в нужные моменты времени и в определенной заданной последовательности производятся те или другие операции.

Перед нами гигантская доменная печь. Издали бросается в глаза наклонный рельсовый путь, по которому в верхнюю часть печи поднимаются скипы, тяжело нагруженные материалами: рудой, углем и флюсами. Материалы эти надо загружать в печь в нужном количестве и в определенной последовательности. Загрузка наших советских домен производится автоматически. Сложное устройство управляет наполнением скипов и подачей в печь в определенной последовательности порций руды, угля и флюсов.

Его схема очень сложна, но сердцем всей системы является знакомый нам барабанный распределитель — командоконтрол-

лер. С первого взгляда он напоминает контроллер, поочередно зажигающий буквы светящейся надписи. Такие же контактные пластины, похожие на ступени лестницы, расположены по винтовой линии вокруг поверхности барабана. Правда, их здесь не шесть, а одиннадцать, так как полный цикл загрузки доменной печи состоит из подъема одиннадцати скипов с различными материалами. Каждое из 11 положений вращающегося распределителя и каждый из 11 контактов относятся к одному определенному скипу. Пусть командоконтроллер повернулся в первое положение — замкнулись контакты первой цепи и наверх, в печь, отправляется скип с рудой. Контроллер поворачивается дальше. При втором положении поднимается следующий скип с рудой. В третьем и четвертом положениях замыкаются цепи, управляющие поднятием скипов с коксом. На пятом положении поднимается скип с флюсами и т. д.

Автоматическому устройству задается определенная программа действий: оно должно загружать нужное количество руды, угля и флюсов в строгой последовательности. Соответственно этой программе к командоконтроллеру подводятся те или другие электрические цепи. Программу действий можно изменять в зависимости от сорта чугуна и свойств загружаемых материалов. Для этого соответственно переключают цепи, подведенные к контактам командоконтроллера.

Барабан вращается здесь не непрерывно, как это было при зажигании светящихся букв, а прерывисто. Замкнув контакты очередной цепи, он остается неподвижным, пока скип не поднимется на домну и не выполнит там свою работу, о чем подается электрический сигнал. Лишь после этого включается двигатель командоконтроллера и поворачивает барабан в следующее положение.

Командоконтроллеры часто бывают устроены иначе. В некоторых конструкциях это не барабаны с контактами-пластинами, прикрепленными к их поверхности, а набор кулачков, установленных один над другим вдоль вала. Посмотрите на рис. 22, как устроен и действует такой кулачковый командоконтроллер. Каждый кулачок своим выступом при повороте замыкает контакты подведенной к нему цепи. При этом выступы кулачков направлены в различные стороны и расположены под определенными углами один к другому. Поэтому при вращении вала они один за другим в определенные, нужные моменты времени замыкают или размыкают свои цепи и, таким образом, управляют последовательностью операций сложного производственного процесса.

Расположить на барабане контактные пластины, сделать между ними нужные электрические соединения, подвести к ним через скользящие контакты цепи управляемых объектов — нелегкая, но увлекательная задача конструктора, требующая немалой изобретательности. Надо заранее ясно представить себе повороты барабана на каждый угол, в каждое положение. Какие про-

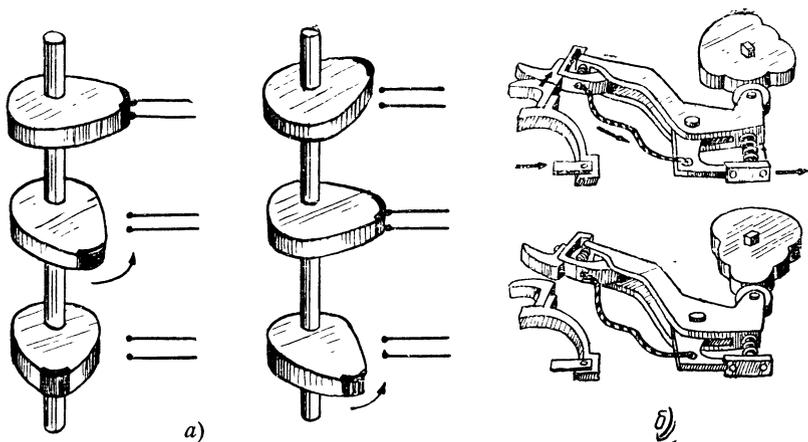


Рис. 22. Кулачковый командоконтроллер:
 а — принцип действия, б — устройство

изойдут при этом замыкания контактов и переключения цепей? Как перестроится сложная схема? Куда пойдет ток и какое произведет он действие?

Рассмотрим подробнее случай, с которым вам вероятно придется встретиться на производстве — пуск электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 23). В обмотку его якоря нельзя сразу подавать слишком сильный ток. Чтобы ограничить пусковой ток, применяют реостат, который постепенно выводят по мере того, как увеличивается скорость двигателя. Для управления реостатом можно использовать командоконтроллер.

Справа на схеме изображено расположение пластин на его вращающемся барабане, а слева — неподвижные контакты (пальцы) и схема питания электродвигателя ЭД с пусковым реостатом R , включенным в ветвь обмотки якоря двигателя. Вертикальные пунктирные линии показывают положение пальцев на пластинах при каждом из семи положений контроллера.

Проследите путь прохождения тока при различных положениях барабана. В положении 1 ток протекает через палец a , пластины a и b и палец b . Дальше он разветвляется — одна часть его поступает в обмотку возбуждения двигателя OB , а другая — через реостат в обмотку якоря $Я$, причем ток проходит через весь реостат, встречая наибольшее сопротивление. Но вот контроллер повернулся в положение 2. Ток, как и раньше, идет через палец a и пластины барабана a и b . В обмотку возбуждения OB он по-прежнему попадает через палец b . В обмотку же якоря он находит новый путь с меньшим сопротивлением — из пластины b в пластину $в$, палец $в$ и дальше через оставшуюся часть реостата

в якорь. Нижняя секция реостата оказывается теперь выключенной, и сопротивление в цепи обмоток якоря двигателя несколько уменьшается. При повороте барабана в положение 3, чтобы попасть в якорь, ток находит путь с еще меньшим сопротивлением через палец *a*, пластины *a*, *b*, *в*, *г* и палец *г*. Выключаются уже две секции реостата, и сопротивление в цепи якоря становится еще меньше. Так продолжается и при дальнейших поворотах барабана в положения 4, 5, 6 и 7. Ток в якорь протекает, правда, по все более сложному пути, через большее число пластин бараба-

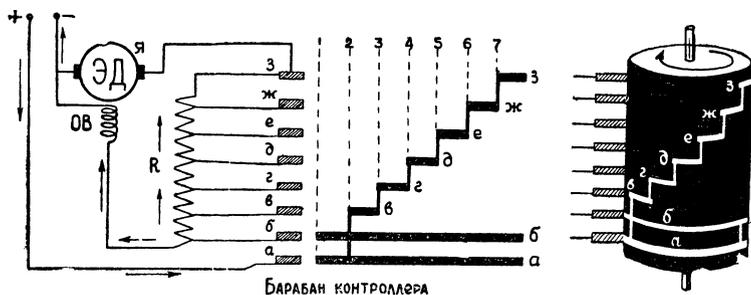


Рис. 23. Переключатель для пуска электродвигателя:
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — положения барабана

на. Но их сопротивление очень мало. Секции же реостата выключаются одна за другой и сопротивление его оставшейся части становится все меньше и меньше. В положении 7 ток в якорь идет через все пластины барабана *a*, *b*, *в*, *г*, *д*, *е*, *ж*, *з*, и дальше через палец *з* непосредственно в якорь, минуя весь реостат. Пуск двигателя закончился.

КАК ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ САМИ СЕБЯ ЗАПИРАЮТ

Перед нами снова гигантская доменная печь. В нее сверху все время загружаются материалы: руда, уголь, флюсы. Но проход в печь закрыт двумя конусами: верхним и нижним. В определенные моменты времени верхний конус опускается, верхняя воронка домы открывается, и шихта проходит вниз на нижний конус. После этого верхний конус поднимается, опускается нижний конус и открывается нижняя воронка, из которой шихта поступает в печь. Таким образом, обе воронки — верхняя и нижняя — никогда не бывают открыты одновременно и поэтому раскаленные газы из печи не могут прорваться наружу.

Автоматические аппараты, управляющие опусканием конусов, должны быть устроены и работать так, чтобы оба конуса ни в коем случае не могли быть опущены одновременно — по

ошибке ли обслуживающего персонала, из-за порчи механизмов или от какой-нибудь другой причины. Ведь иначе произойдет авария — вырвавшиеся из печи газы, нагретые до полутора тысяч градусов, наделают много бед.

Включение механизмов, опускающих верхний и нижний конусы, взаимно заблокировано. Это значит, что при действии одного конуса другой бывает закрыт и не может прийти в действие — его электрическая цепь не может быть включена. Задача блокировки — не допустить неправильную последовательность операций или опасное одновременное включение различных механизмов. Подобная задача часто встает перед электрической автоматикой. В машинах с несколькими электродвигателями нельзя одновременно включать двигатели таких частей, которые, находясь в движении, могут задеть одна другую. Например, продольный и поперечный суппорты станка обычно блокируются так, что, как только они сблизятся на опасное расстояние, они будут немедленно автоматически остановлены.

Рассмотрите простую схему блокировки (рис. 24). На ней две цепи. Одна идет через пусковую кнопку $K1$, катушку электромагнита $\mathcal{E}M1$ и вспомогательные контакты $BK1$, другая — через кнопку $K2$, катушку $\mathcal{E}M2$ и вспомогательные контакты $BK2$. Первая приводит в действие автоматическое устройство $A1$ и замыкает его контакты, вторая — автоматическое устройство $A2$. Задача блокировки состоит в том, чтобы эти два устройства нельзя было включить одновременно — чтобы они взаимно заперли одно другое.

Нажмите кнопку $K1$ (рис. 24, а). Ток пойдет по катушке электромагнита $\mathcal{E}M1$, который втянет свой якорь (снизу вверх) и замкнет контакты $A1$. Но одновременно с этим разомкнутся вспомогательные контакты $BK2$. Попробуйте теперь нажать кнопку $K2$. Ток через катушку электромагнита $\mathcal{E}M2$ не пойдет, так как ее цепь разомкнута вспомогательными контактами $BK2$.

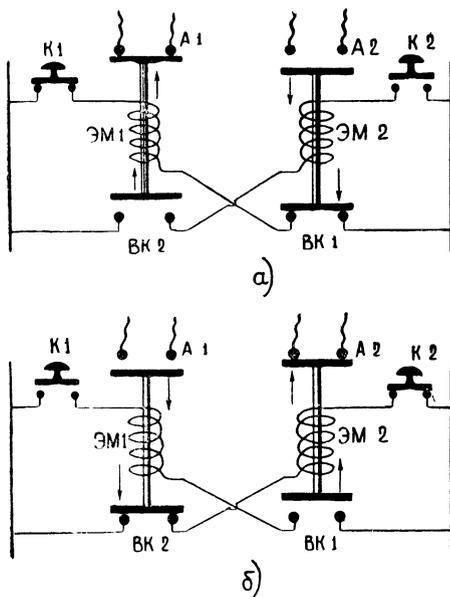


Рис. 24. Как электрические цепи сами себя запирают:
а — при нажатии кнопки $K1$, б — при нажатии кнопки $K2$

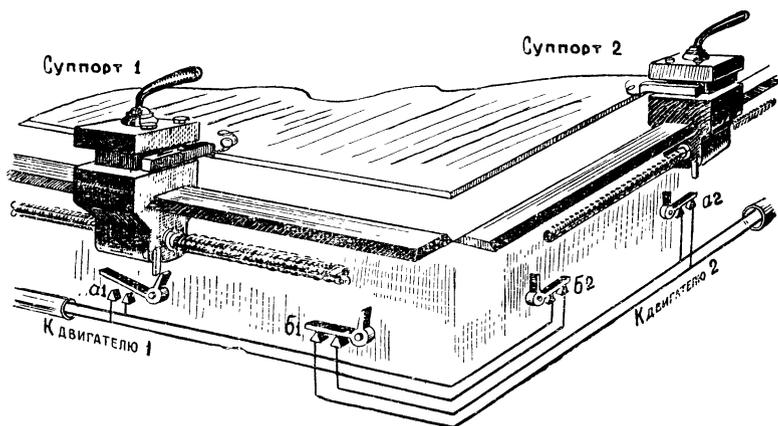


Рис. 25. Почему не могут столкнуться суппорты?

Поэтому включить устройство $A2$ одновременно с устройством $A1$ нельзя.

Проследите сами (рис. 24, б), что будет, если нажать кнопку $K2$ и включить устройство $A2$. Можно ли одновременно с ним включить устройство $A1$?

Перед нами станок, обрабатывающий продольные и поперечные кромки листа (рис. 25). Два его суппорта 1 и 2 движутся перпендикулярно один другому и с двух сторон подходят к углу листа. Еще немного и суппорты столкнутся — произойдет поломка дорогостоящего станка и он надолго выйдет из строя. Но в последнюю минуту суппорты вдруг сами остановились. Авария предотвращена.

Что спасло станок? Приближение двух его суппортов к опасному углу было взаимно заблокировано.

Разберем более подробно схему этой блокировки. Пусть к опасному месту приближается суппорт 1 . Еще на некотором расстоянии от угла он встречает и размыкает путевые контакты $a1$. Они включены последовательно в цепь управления его двигателем. Остановится ли суппорт 1 , если контакты $a1$ будут им разомкнуты? Это зависит от того, что в это время происходит на пути суппорта 2 . Там установлены контакты $б2$, включенные параллельно контактам $a1$. И если в это время суппорт 2 находится далеко от опасного угла, контакты $б2$ будут замкнуты и посредством параллельной ветви остается замкнутой и цепь двигателя 1 . В этом случае суппорт 1 продолжает свое движение.

Другое дело, если при приближении суппорта 1 к углу изделия с другой стороны к этому же углу приближается суппорт 2 . Суппорт 1 разомкнет контакты $a1$, а суппорт 2 разомкнет контакты $б2$. Теперь будут разомкнуты обе параллельные ветви цепи

управления двигателем 1. Двигатель будет отключен, и суппорт 1 немедленно остановится — столкновение будет предотвращено.

Разберитесь сами по схеме, что произойдет, когда к опасному углу будет приближаться суппорт 2 в тех случаях, если в это время другой суппорт 1 находится далеко от угла и если он тоже к нему приближается? Обратите внимание на то, что в цепи управления двигателем 2, кроме путевых контактов a_2 , сделан еще параллельный отвод к контактам b_1 на пути суппорта 1. Какое значение имеют путевые контакты a_2 и b_1 ?

В конце пути каждого из этих двух суппортов установлены также концевые переключатели, останавливающие суппорт в конечном положении и возвращающие его обратно, независимо от положения другого суппорта. Мы не показали эти переключатели, чтобы не усложнять схемы.

СОСУДЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

У входной двери зазвонил звонок. И в это же время в радиоприемниках соседних комнат слышался резкий, неприятный треск, заглушающий прием. Что за незримые нити связывают звонок с радиоприемником? Посмотрим, что происходит в звонке (рис. 26).

Когда перед дверью кто-то нажал кнопку K и замкнулась цепь звонка, ток прошел через обмотку электромагнита звонка $ЭМ$, через якорь $Я$ и прижатый к нему винт $В$ самопрерывателя. Электромагнит притянул якорь, и боек $Б$ ударил по чашке звонка $З$. В этот момент якорь магнита отошел от винта и в месте разрыва цепи, между якорем и винтом, образовался воздушный зазор. Правда, пружина $Пр$ тут же снова отведет якорь и прижмет его к винту. Цепь опять замкнется, электромагнит притянет якорь и раздастся второй удар бойка. Так будет повторяться много раз, пока нажата кнопка и звонит звонок. Значит цепь его между якорем и винтом все время то размыкается, то замыкается. Но каждый раз, когда она размыкается, в воздуш-



Рис. 26. Электрический звонок

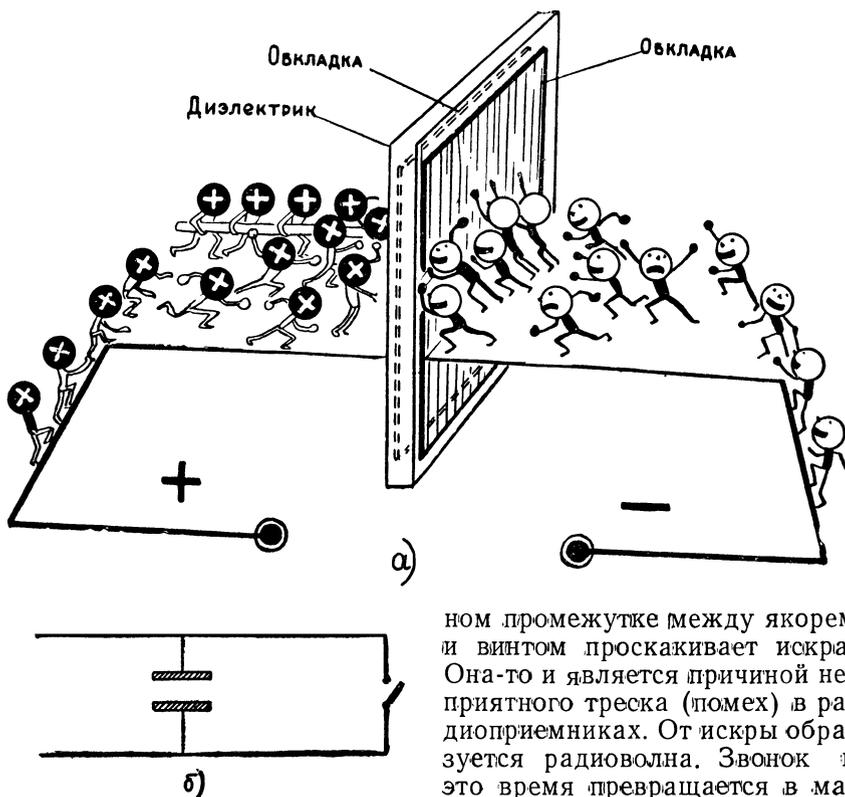


Рис. 27. Конденсатор:

а — принцип конденсатора, б — включение конденсатора параллельно прерыванию цепи

ном промежутке между якорем и винтом проскакивает искра. Она-то и является причиной неприятного треска (помех) в радиоприемниках. От искры образуется радиоволна. Звончок в это время превращается в маленькую радиостанцию. А соседние приемники принимают ее волны.

Так было прежде. Но потом устройство звонков изменили, и они стали звонить, не вызывая помех в радиоприемниках. В цепь звонка с прерывателем ввели интересный прибор — конденсатор, о котором мы и хотим рассказать¹ (рис. 27). Он накапливает в себе электрические заряды, электроэнергию, а затем отдает ее обратно в цепь. Конденсатор — как бы электрический сосуд, в который можно налить электроэнергию, запастись ее, а потом брать из него, когда потребуются.

Отчего при размыкании цепи электрического тока возникает искрение? Вокруг тока существует магнитное поле. При размыкании цепи это поле исчезает, а его энергия создает большую электродвижущую силу самоиндукции, благодаря которой через воздушный промежуток между контактами проходит ток и образуется искра.

¹ Теперь звонки стали выпускать без прерывателей, а поэтому и конденсаторы в них не применяются.

Что же произойдет, если параллельно месту разрыва включить конденсатор? Заметим, что сопротивление конденсатора гораздо меньше сопротивления воздушного промежутка. При размыкании цепи ток направится не через воздушный промежуток, а в конденсатор и зарядит его. Энергия исчезнувшего магнитного поля превратится в энергию конденсатора. А от этого в воздушном промежутке искрения не произойдет. Когда же цепь снова замкнется, конденсатор разрядится и отдаст запасенную в нем энергию. При новом размыкании он снова зарядится и т. д.

Как же устроены конденсаторы — эти «сосуды электрической энергии»? Вот простейший плоский конденсатор (рис. 27). В нем две металлические пластинки — электроды, обычно в виде тонких листов алюминиевой или оловянной фольги. Между ними проложен слой материала, не пропускающего электричества: бумаги, пропитанной парафином, слюды, специальной керамики и др. Такие материалы называются изоляторами или диэлектриками. Если включить конденсатор на постоянное напряжение, то на одной его пластине скапливается избыток свободных электронов и образуется отрицательный заряд. А с другой пластины, наоборот, часть свободных электронов уходит и образуется положительный заряд. (На рис. 27 положительные заряды показаны условно). Разноименные заряды притягивают один другой, между пластинами создается электрическое поле, в котором и накапливается энергия. Так заряжается конденсатор.

Но вот цепь разомкнута — источник тока отключен. Электроны с отрицательной пластины конденсатора устремляются в цепь, а на положительную пластину электроны приходят из цепи. Конденсатор разряжается, энергия, накопленная в электрическом сосуде, из него выливается и производит работу. В это время конденсатор служит временным источником тока.

Каждый сосуд с жидкостью имеет ту или другую емкость — в бутылку можно налить меньше воды, в ведро — больше. Конденсатор тоже имеет свою емкость, но особую — электрическую. В одном можно запасти больше электрической энергии (зарядов), а в другом меньше. Отчего зависит емкость конденсатора? Она прежде всего зависит от величины его пластин или обкладок: чем больше их площадь, тем больше уместится на них зарядов. Важно и расстояние между пластинами: чем ближе они одна к другой, тем больше накапливается на них зарядов — емкость «сосуда» увеличивается. Наконец, большое значение имеют и электрические свойства диэлектрика (бумаги, слюды и др.), разделяющего пластины.

Интересные явления происходят в мире мельчайших частиц этого диэлектрика. Заглянем в него. Электроны от его атомов не отрываются, поэтому в таких веществах, в отличие от проводников, нет свободных электронов. Но когда слой диэлектрика оказывается между пластинами с разными зарядами в электри-

ческом поле, в его атомах тоже наступают важные изменения. Их электронные оболочки с отрицательными зарядами притягиваются положительно заряженной пластиной и немного смещаются в ее сторону. А положительно заряженные ядра атомов притягиваются и смещаются к отрицательно заряженной пластине конденсатора. Происходит, как говорят, поляризация атомов и молекул диэлектрика: в нем возникает электрическое поле. Причем, это электрическое поле внутри диэлектрика направлено противоположно полю пластин, так как положительные полюса молекул направлены в сторону отрицательной пластины, а отрицательные — в сторону положительной. Поэтому добавочное поле уменьшает главное. Оно как бы частично нейтрализует заряды пластин. А от этого источник тока может подать на пластины конденсатора новые заряды. В результате емкость конденсатора увеличивается. Это свойство диэлектриков называется их диэлектрической проницаемостью. Она различна у разных материалов: у бумаги в 3—3,5 раза, а у слюды даже от 4 до 7,5 раза больше, чем у вакуума (безвоздушного пространства), проницаемость которого принята за единицу. Чем больше диэлектрическая проводимость изолятора, тем больше и емкость электрических сосудов.

Если к обкладкам конденсатора приложить слишком высокое напряжение, может произойти пробой диэлектрика. От атомов будут оторваны электроны и в этом месте изолятор превратится в проводник. Конденсатор выйдет из строя.

Своеобразны новые «самозалечивающиеся» конденсаторы, у которых обкладки сделаны из цинка. Цинк плавится и кипит при довольно низкой температуре. Если образуется пробивная искра, то вследствие ее большой температуры цинк в этом месте обкладки испарится и дальнейший пробой прекратится.

Для борьбы с вредным искрением конденсаторы применяются весьма часто. Ведь искрение сжигает и разрушает контакты. А происходит оно в особенности там, где контакты часто размыкаются, например на коллекторных пластинах двигателей постоянного тока.

Вот система зажигания автомобиля. В миллионах наших легковых и грузовых автомашин, в каждом рабочем такте цилиндра двигателя надо зажечь горючую смесь. Для этого в запальные свечи подается ток весьма высокого напряжения (более 10 тыс. в). Получается он с помощью особой катушки (бобины) с двумя обмотками. Первичная обмотка питается током небольшого напряжения от генератора или батареи аккумуляторов. Но для того чтобы во вторичной обмотке возбуждался ток высокого напряжения, необходимо все время разрывать цепь первичной обмотки. При частом чередовании разрывов и включений первичной обмотки ее магнитное поле непрерывно меняется, то исчезая, то вновь возникая, что и вызывает появление во вторичной обмотке тока высокого напряжения. Но раз происходит частое размы-

кание цепи, значит возникает искрение, влекущее за собой разрушение контактов и другие плохие последствия.

И здесь на помощь пришел «электрический сосуд» — конденсатор, включенный параллельно контактам. При каждом размыкании цепи прерывателем конденсатор принимает в себя избыток энергии тока и заряжается. Энергия «предпочитает» идти в него, а не преодолевать сопротивление воздушного зазора — и искрение происходит гораздо слабее. Контакты прерывателя не обгорают и служат дольше.

Искрение излучает радиоволны, отчего проезжающая автомашина становится небольшой «радиостанцией», создающей помехи для окружающих телевизоров. Но благодаря конденсаторам, гасящим искрение, и это вредное действие значительно уменьшается, и зрители у телевизоров могут видеть лучшие изображения с меньшими пробегающими по экрану помехами.

Для возбуждения более высокого напряжения во вторичной обмотке катушки важно, чтобы магнитное поле первичной обмотки быстрее уменьшалось при размыкании цепи и быстрее увеличивалось при ее замыкании. Этому тоже содействует конденсатор. При размыкании он оттягивает в себя лишнюю энергию, отчего ток и магнитное поле быстрее уменьшаются; при замыкании же отдает энергию обратно в цепь, а от этого ток в первичной обмотке катушки и магнитное поле быстрее усиливаются. Благодаря конденсатору во вторичной обмотке возбуждается большая э. д. с., и запальные свечи получают более высокое напряжение.

Много интересных, но более трудных вопросов возникает в связи с применением конденсаторов в цепях переменного тока. О многих из них вы узнаете потом, из других книг, когда будете еще глубже знакомиться с электротехникой. Но один из этих вопросов рассмотрим теперь.

Может ли электрический ток проходить через конденсатор? Ведь между его пластинами находится слой изолятора. Поэтому постоянный ток через конденсатор, конечно, не проходит. Он только его заряжает и тут же прекращается. Другое дело переменный ток. Он 100 раз в секунду, а то и гораздо больше, меняет свое направление. За каждую половину своего периода он заряжает обкладки конденсатора — «наливает» энергию в «электрический сосуд». В следующую половину периода ток идет в противоположном направлении, и конденсатор отдает свой заряд. Но на нем тут же образуется новый заряд противоположного знака. На той пластине, где были положительные заряды, теперь накапливаются отрицательные, а там, где были отрицательные — положительные. Изменяется и поляризация молекул в диэлектрике конденсатора. Так повторяется в каждой половине периода переменного тока. Что же получается? По-существу ток через конденсатор не проходит. Но в цепи с включенным конденсатором переменный ток циркулирует беспрепятственно, как будто бы в ней не было разрыва.

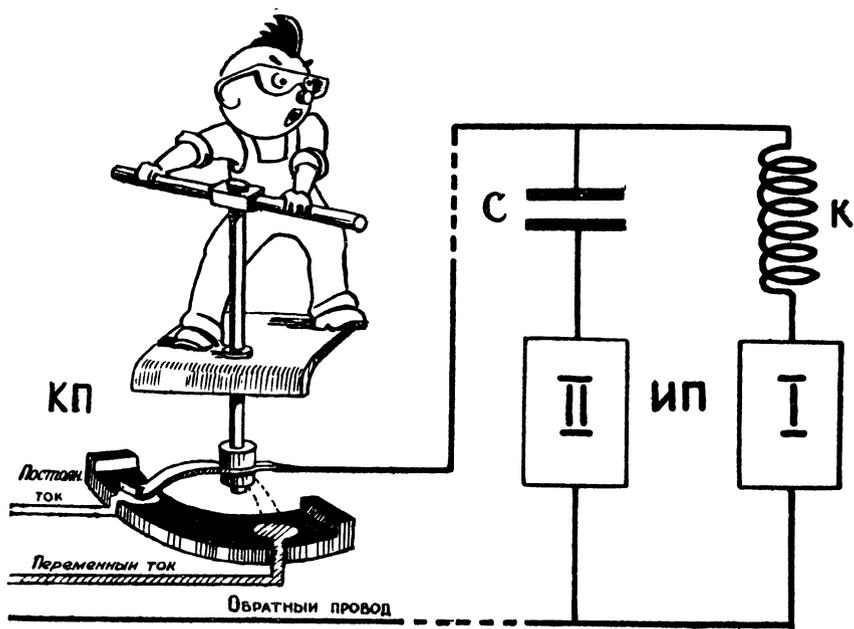


Рис. 28. Управление на расстоянии сигналами постоянного и переменного токов

Посмотрите на эту схему (рис. 28). С большого расстояния двумя механизмами *I* и *II* управляют по одному и тому же проводу. Но в механизме *I* электрические приказы посылаются постоянным током, а в механизме *II* — переменным. На командном посту *КП* есть переключатель, который может присоединять к линии источник постоянного или переменного тока. Но почему на исполнительном посту *ИП* постоянный ток пойдет именно к механизму *I*, а переменный — к механизму *II*? В цепь механизма *I* включена катушка *К*. Ее сильное магнитное поле оказывает большое сопротивление переменному току. Постоянный же ток проходит через нее свободно. А в цепи механизма *II* включен конденсатор *С*. Он, наоборот, не пропускает постоянный ток, но пропускает переменный. Катушка и конденсатор служат здесь избирательными фильтрами, пропускающими в соответствующий участок цепи либо постоянный, либо переменный ток.

ЧЕЛОВЕК В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ (немного о технике безопасности)

На стене неисправный выключатель со снятой крышкой. Вы пробуете сделать то, чего делать не следует: пальцами соединить его контакты — и вдруг испытываете резкое, до боли неприятное

ощущение проходящего через вас тока. Не шутите этим. В одной из прачечных рабочий босиком по залитому водой полу подошел к такому выключателю и прикоснулся к нему мокрой рукой. В тот же миг человек упал замертво...

Тело человека, прикоснувшегося к неизолированному проводу или электроприбору, находящемуся под напряжением, становится частью электрической цепи. Наше тело электропроводно и через него может идти ток. Замыкание через человека часто происходит между одним полюсом сети и землей. И чтобы предотвратить его, надо изолирующим материалом отделить человека от пола или от грунта. Поэтому электрики становятся на резиновые коврики и надевают специальные галоши с толстыми подошвами. Вышки, на которых рабочие ремонтируют голые воздушные провода трамвая, тоже должны быть хорошо изолированы от земли.

Изоляция человека от земли должна быть очень тщательной, так как цепь «может замкнуться, даже если есть очень небольшой участок, проводящий ток, например дырка в подошве и гвоздь в полу. Один старый электрик рассказывал об интересном случае. Однажды, работая в галошах и резиновых перчатках, он получил все же сильное поражение током. Как могло это произойти? Оказалось, что он нагнулся над ремонтируемым аппаратом, с его груди свесилась металлическая цепочка от часов и коснулась неизолированных частей, бывших под напряжением. В подошве же галоши застряла прорезавшая ее металлическая стружка. Цепь оказалась замкнутой — электрический ток нашел для себя проводящий путь.

Что надо делать, если ваш товарищ окажется под током и из-за возникшей судороги не сможет отдернуть руку от неизолированного провода или прибора? Надо немедленно выключить ток или оборвать провод, а если этого не удастся сделать, то постараться изолировать пострадавшего от земли: подложить под него резину, толстый слой бумаги, деревянные доски. Не следует трогать пострадавшего, не изолировав от земли самого себя, иначе ток замыкания на землю может пройти как через пострадавшего, так и через подоспевшего ему на помощь. Случалось, что несколько человек подряд включались, таким образом, в электрическую цепь. По этой же причине изолировавший себя монтер не должен передавать инструменты или брать их у своих неизолированных от земли товарищей. Человеку, оказавшемуся под током, иногда удается помочь энергичным окриком: «Подпрыгни вверх!» — и если он, преодолевая судороги, хоть на секунду сможет отделиться от земли, цепь разомкнется и он без труда отдернет руку.

Но бывает и так, что монтер, стоя на лестнице в толстых галошах, хорошо изолирующих его от земли, все-таки получает поражение током. Это происходит, если он обеими руками или проводящими инструментами прикоснется к двум концам разведи-

Ненного провода, напряжение на котором по ошибке не было выключено. Тут происходит уже не однополюсное, а двухполюсное замыкание цепи через человека — ток проходит из одной руки в другую через туловище. Для защиты от этого недостаточны уже галоши и коврики, изолирующие от земли, — нужны резиновые перчатки на руках и рукоятки инструментов из изолирующего материала.

В какой мере опасно поражение электричеством? Какая величина тока и какое напряжение опасны для человека? Собственно опасна величина тока, проходящего через организм. Вреден ток уже в сотые доли ампера, а ток в одну десятую ампера для человека смертелен. Однако поражение может произойти лишь в том случае, если ток такой опасной величины действительно пройдет через тело человека. А это зависит от двух условий: от напряжения в сети и от сопротивления организма. Величину тока, проходящего через человека, можно рассчитать по закону Ома:

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{Величина тока,} \\ \text{поражающего} \\ \text{человека} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{Напряжение в сети} \end{array}} : \boxed{\begin{array}{c} \text{Сопротивление} \\ \text{организма} \end{array}}$$

Надо сказать, что электрическое сопротивление организма человека бывает весьма различным — от нескольких сот до десятков тысяч *ом*. В нервном состоянии или при опьянении оно заметно уменьшается.

Какой ток «протолкнет», так сказать, существующее напряжение через человека при том или другом сопротивлении его тела? Сравним два случая.

Пусть, например, напряжение в сети 500 *в*, а сопротивление тела человека большое 20 000 *ом*. По закону Ома через него пойдет ток $\frac{500}{20\,000} = 0,025$ *а*. Такой ток опасен, но не смертелен.

Но вот другой случай. Сопротивление тела человека понижено — всего 1200 *ом*. Тогда даже при напряжении 120 *в* через него пройдет ток $\frac{120}{1200} = 0,1$ *а*. А такой ток уже смертелен. Вот почему не правы те, кто пренебрежительно говорит: «Ну что там — всего 120 или 220 *в*...» — и неосторожно обращаются с электропроводкой.

Электрический ток поражает и животных.

Советские животноводы применили новый интересный способ ограждения мест, в которых пасется скот, — «электрический пастух». На некоторой высоте, на изоляторах натягивается проволока, в которую короткими импульсами подается ток. Прикоснувшись к проволоке, животное испытывает электрический удар и потом уже остерегается подходить к ней. В этом случае при-

ходится решать особую задачу: какое нужно напряжение, чтобы при среднем сопротивлении тела животного величина тока была для него достаточно ощутима, но не опасна.

Организм человека сложен, и разные части его имеют неодинаковое сопротивление. Кожа, в особенности толстая, огрубевшая, с мозолями, оказывает большое сопротивление электрическому току. Правда, грязь из металлической стружки, покрывающая кожу, уменьшает ее сопротивление.

Сопротивление многих внутренних органов значительно меньше, чем кожи. Особенно хорошо проходит ток по крови, вдоль кровеносных сосудов.

Очень опасно, когда он проходит при этом через сердце, а также нервные центры мозга.

Встречая в коже большое сопротивление, ток нагревает ее и иногда производит сильные ожоги. Некоторые части тела как бы превращаются в «электронагревательные приборы». Сильно накаляются током и кости — настолько, что иногда плавится находящаяся в них известь.

Но важна электропроводность не только самого тела, но и того, с чем оно соприкасается, — одежды, обуви, пола, инструментов. Сухая одежда, особенно шелковая или прорезиненная, да еще в несколько слоев, является неплохим изолятором. Мокрая одежда проводит ток значительно лучше сухой. От земли изолируют толстые, целые и сухие подошвы. Промокшая обувь и дырки в подошвах содействуют прохождению тока. Изолирует сухой деревянный пол. Пол мокрый или металлический проводит ток гораздо лучше. Касаться оголенных проводов или приборов под напряжением мокрыми руками опаснее, чем сухими.

Осторожность особенно необходима при работе внутри котлов и других металлических устройств. Ведь окружающий металл хорошо проводит ток. Недаром котельщикам разрешается пользоваться лампами лишь малого напряжения (всего 12 в).

В прошлом бывали несчастные случаи при тушении пожаров — пожарных поражало током через струю воды, если она попадала на провода с горячей изоляцией. Струя воды ведь тоже хорошо проводит электричество. Современные брандспойты, которые пожарные держат в руках, покрыты надежной изоляцией. А проводку в горящем здании полагаются отключать.

Вспомните, что мы говорили об обратном токе в электрифицированных железных дорогах. Вы, пожалуй, спросите, не опасно ли прикасаться к рельсам вслед за прошедшим поездом, если по ним проходит ток. Нет. Опасность поражения током возникает тогда, когда тело человека включится между двумя точками цепи с большой разностью напряжений — между двумя проводами троллейбуса или между воздушным проводом трамвая и землей. От этой разности напряжений и возникает ток, поражающий человека. В одной же точке провода разности напряже-

ний нет. Вот почему птицы безопасно сидят на электрических проводах. Можно, пожалуй, вообразить и гимнаста, безопасно держащегося за токнесущий провод, висящего на нем в воздухе и проделывающего свои упражнения. Только бы он ногами не коснулся другого провода, земли или опорной мачты и не замкнул бы своим телом два места цепи с большой разностью напряжений. Птицы гибнут, когда, сидя на проводах и взмахивая крыльями, касаются металлических опор, соединенных с землей.

Бывают случаи, когда оборвавшийся воздушный провод, находящийся под напряжением, лежит на земле. Возникает ток замыкания на землю. Но сопротивление сухой земли довольно велико. Потому в ней по пути протекания этого тока даже на небольшом расстоянии возникает значительное падение напряжения. И если человек стоит вблизи провода, расставив ноги, или шагает — ток может ответвиться от земли и пойти через его ноги и туловище, встречая здесь меньшее сопротивление, чем в земле. Такое падение напряжения в земле на расстоянии шага так и называют шаговым напряжением. Любопытно, что для лошади оно опасней, чем для человека, так как расстояние между ее передними и задними ногами больше, а значит больше и падение напряжения в земле на этом расстоянии.





ГЛАВА III ЭЛЕКТРИЧЕСТВО УПРАВЛЯЕТ

«УМНЫЕ» СХЕМЫ АВТОМАТИКИ

На перекрестке улиц трамвайные пути расходятся в две стороны: один идет прямо, а другой сворачивает направо. Раньше здесь сидел стрелочник и ручным способом переводил стрелку, когда трамвай подходил к ней. Теперь трамваи разных маршрутов подходят к разветвлению и перед ними автоматически переводится стрелка, открывая им путь в нужном направлении.

Как устроена такая «умная» автоматическая стрелка? Разберем ее электрическую схему (рис. 29). Стрелку переводят два электромагнита $ЭМ1$ и $ЭМ2$, катушки которых имеют разное число витков. Якорь электромагнита $Я$ выполнен в виде качающегося коромысла. С этим якорем связан рычаг P , переводящий стрелку в то или другое положение в зависимости от того, который из двух электромагнитов притянет якорь. На некотором расстоянии перед стрелкой ниже главного питающего трамвайного провода $ГП$ подвешиваются два дополнительных провода $ДП1$ и $ДП2$, так что дуга трамвая в этом месте не касается главного провода, а скользит по дополнительным проводам. Вот и все устройство.

Пусть трамваю надо ехать прямо. Проезжая под дополнительными проводами, находящимися вблизи от стрелки, водитель оставляет электродвигатели трамвая включенными в цепь. Проследите по схеме, какой путь открывается при этом для электрического тока? Из главного провода $ГП$ ток проходит через катушку $ЭМ1$, потом по дополнительному проводу $ДП1$ и поступает в дугу трамвая $Д$. Здесь возможные пути его расходятся: ток может пройти через электродвигатели трамвая $ЭД$ или по второму дополнительному проводу $ДП2$ и катушке $ЭМ2$. Но катушка эта имеет большое число витков и сопротивление ее значительно

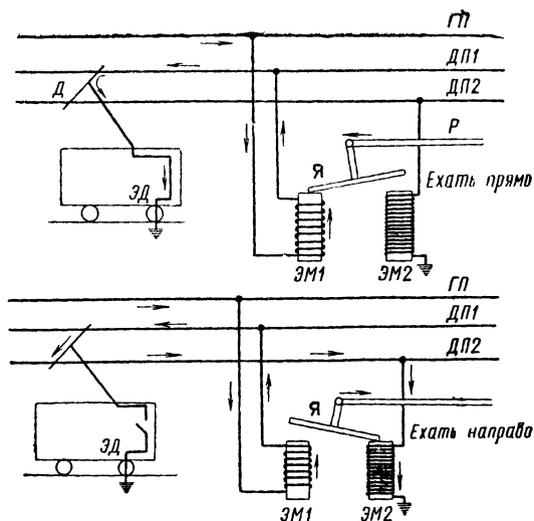


Рис. 29. Умная трамвайная стрелка

выше, чем у обмоток электродвигателя. Поэтому большая часть тока пройдет по пути с меньшим сопротивлением — через электродвигатель; катушка же ЭМ2 остается почти без тока. Значит, из двух электромагнитов притягивает якорь только электромагнит ЭМ1, и рычаг Р переводит стрелку в положение «Ехать прямо».

Но вот к стрелке подъезжает другой трамвай, которому надо ехать направо. На этот раз, проезжая под дополнительными проводами, водитель выключает электродвигатели. Каков теперь путь тока в цепи стрелки? Ток проходит из главного провода ГП через катушку ЭМ1 в дополнительный провод ДП1 и дугу трамвая Д. Так как цепь электродвигателей разомкнута, то дальше перед током открывается лишь один путь — по второму дополнительному проводу ДП2 и через катушку ЭМ2. Ток теперь последовательно проходит через катушки ЭМ1 и ЭМ2, и оба электромагнита притягивают якорь. Но так как катушка электромагнита ЭМ2 имеет большее число витков, электромагнит ЭМ2 притягивает сильнее. Поэтому якорь наклоняется в его сторону, и рычаг Р переводит стрелку в положение «Ехать направо».

На этом простом примере можно видеть, как строятся электрические схемы автоматических устройств. Нужна была техническая изобретательность, чтобы построить такую сложную цепь, продумать в ней электрические соединения и наилучшим образом использовать свойства различных приборов, в данном случае катушек с большим и с меньшим числом витков. Рассмотрим еще пример.

Один за другим мчатся по нашим железным дорогам пассажирские и товарные поезда. Пройдет поезд, и за ним сами включаются красные сигналы светофоров. Но отъедет поезд немного дальше, и красные сигналы сами отключаются, а вместо них появляется желтый сигнал. Отойдет поезд еще дальше, и желтый сигнал сменяется зеленым. Красный свет означает, что путь для следующего поезда закрыт; желтый — «Ехать медленно», так как предыдущий поезд еще недалеко; зеленый — «Путь свободен». Такая автоматическая сигнализация и блокировка во много раз увеличила пропускную способность железных дорог и обеспечила безопасность движения поездов. В область истории отошли времена, когда дежурный по станции выдавал машинисту «жезл», разрешающий выехать на перегон. Автоблокировка работает без участия человека. Но как она действует?

И здесь надо было разработать «умную» схему электрической цепи. Постарайтесь разобраться в этой более сложной схеме автоматики (рис. 30). Перегон между станциями разделен на несколько блок-участков длиной от 800 до 2500 м. У въезда на каждый участок установлен светофор. Сами рельсы *P* превратились в электрические провода, в часть цепи, причем рельсы каждого участка изолированы от соседних. В конце каждого блок-участка рельсы соединены с путевой батареей *ПБ*. В начале же участка рельсы связаны с цепью автоматических устройств, управляющих светофорами. Кроме рельсовой цепи от одного участка к другому идет линия проводов *Л* с линейными батареями *ЛБ* и линейными реле *ЛР*. Проследим действие автоблокировки в трех положениях: при включении зеленого, желтого и красного сигналов. Поезда на нашей схеме движутся справа налево.

Начнем с *I* положения — путь свободен и должен быть включен зеленый сигнал. На участке *1* ток из путевой батареи *ПБ1* проходит по рельсам и поступает в электромагнит путевого реле *ПР1*, который притягивает свой якорь и замыкает верхний контакт. В это время на следующем участке *2* ток из путевой батареи *ПБ2* через рельсы поступает в путевое реле *ПР2*, которое тоже замыкает свой верхний контакт. А что происходит с током от линейной батареи *ЛБ2* участка *2*? Он проходит через замкнутые верхние контакты путевого реле *ПР2*, затем вдоль линии, идущей от участка *2* к участку *1*, и поступает в линейное реле *ЛР1*. Это реле притягивает свой якорь и замыкает верхний контакт. В результате открывается путь для тока из линейной батареи *ЛБ1* через замкнутые контакты реле *ПР1* и *ЛР1* к зеленому сигналу. Включается сигнал «Путь свободен».

Но вот на участок *1* выехал поезд. Рассмотрим *II* положение (красный сигнал). Какие изменения произошли на нашей схеме? Колеса поезда *КП* замкнули рельсовую цепь, и ток из путевой батареи *ПБ1* уже не может попасть в путевое реле *ПР1*. Поэтому его электромагнит отпускает свой якорь, который размыкает верхний контакт и замыкает нижний. Посмотрите, какой путь от-

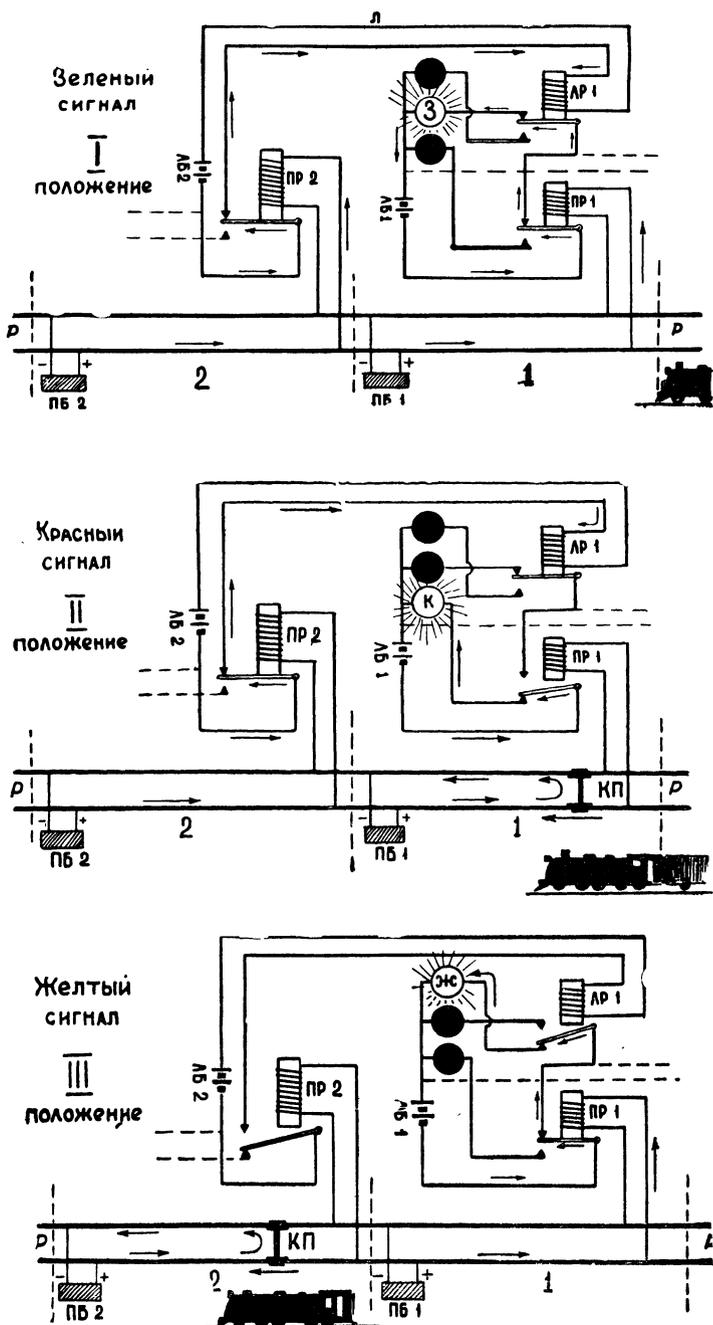


Рис. 30. Как сами зажигаются светофоры

крывается теперь для тока из линейной батареи *ЛБ1*. Ток проходит через якорь и нижний контакт реле *ПР1* к красному сигналу. Включается сигнал «Путь занят». (Заметьте, что положение на участке 2, а также в реле *ЛР1* остается прежним, но на путь тока к сигналам это теперь не влияет).

Тем временем поезд проезжает дальше и с участка 1 переходит на участок 2. Теперь перед участком 1 должен зажечься желтый сигнал. Какие изменения произошли в III положении на нашей схеме? Они прежде всего наступили на участке 2, где колеса поезда замкнули рельсовую цепь и преградили путь току из путевой батареи *ПБ2* к реле *ПР2*. Электромагнит реле *ПР2* отпустил свой якорь и разомкнул цепь. Поэтому ток из линейной батареи *ЛБ2* уже не может пройти на участок 1 к его линейному реле *ЛР1*. Оно отпускает якорь и от этого размыкается его верхний контакт, но зато замыкается нижний. В это же время в рельсовой цепи участка 1 ток от путевой батареи *ПБ1* через рельсы снова получает доступ в реле *ПР1*. Электромагнит этого реле притягивает якорь, который замыкает верхний контакт и размыкает нижний. Каков же теперь путь тока из линейной батареи *ЛБ1* к сигналам светофора? К зеленому и к красному сигналу он прерван. Зато ток из линейной батареи *ЛБ1* проходит через верхний контакт *ПР1*, затем через нижний контакт *ЛР1* и поступает в желтый сигнал. Зажигается сигнал «Тихий ход».

Как тщательно продумано и целесообразно использовано в этой сложной автоматической схеме различное сочетание нескольких батарей, электромагнитов, контактов, а также рельсов и даже колес проходящих поездов!

«ГЛАЗА И УШИ» ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОМАТОВ (как и чем замыкаются контакты)

Что это за странные часы? Узнать по ним который час нельзя, да и не для этого они служат. Но почему подрывник, работающий на новостройке, так тщательно устанавливает их стрелку и какой-то рычажок на циферблате? Пройдет в точности нужное время — 15—30—45 мин., и как только стрелка дойдет до определенного места циферблата и коснется электрического контакта — раздастся оглушительный взрыв, и огромные тучи земли взлетят в воздух.

Во многих случаях в технике большое значение имеет время — соблюдение точного промежутка времени. На фабрике-кухне различные кушанья бывают готовы через большее или меньшее время после того, как они были поставлены на плиту или в духовку. Тепловая обработка металла в печи или процесс в химическом аппарате тоже совершаются в течение строго определенного времени. Через заданное время должны взрываться заряженные заряды взрывчатки при прокладке туннелей или в зем-

ляных работах на гигантских стройках. Многие точные автоматические устройства должны включаться или выключаться через то или иное заданное время.

Для точного отсчета времени существуют различные приборы. Но прежде всего приходит в голову воспользоваться механизмом часов. Когда стрелка часов дойдет до того места, на котором установлен рычажок звонка, зазвонит будильник. А что если вместо механизма звонка установить контакты электрической цепи автоматического устройства? Тогда, дойдя до них, часовой механизм замкнет контакты, и автомат сработает точно в заданное время. Можно установить механизм по времени дня, и тогда уличные фонари на улицах или бакены на реке зажгутся ровно в 19 час. или в 19 час. 20 мин. Но можно за исходное положение контактных часов принять начало любого процесса независимо от времени дня, и автомат сработает точно в установленный срок, считая от времени начала действия. К часовому механизму можно подвести и несколько контактов от разных электрических цепей, расположив их в нужных местах на циферблате. В этом случае контактные часы будут через определенные промежутки времени включать и выключать различные автоматические устройства.

* * *

Несложное казалось бы дело — замкнуть или разомкнуть контакты электрической цепи. А как важно оно бывает в разнообразных случаях практики. Ведь с этого начинается действие многих «умных» автоматических устройств.

Но кто или что замыкает контакты цепей? Это может сделать человек. Рабочий нажимает кнопку и от прикосновения его пальца пускается в ход мощный подъемный кран или целая линия станков. Но это еще не автоматика. Надо, чтобы контакты замкнулись самими движущимися частями машины, самим давлением пара в котле или температурой печи, самой обработанной на станке деталью или движущимся по рельсам поездом и т. д., причем без всякого участия человека.

Вот движется по рельсам маневровый состав (рис. 31). Дойдя до определенного места, вагоны должны сами зажечь путевой сигнал или послать сведение диспетчеру, руководящему маневрами. В этом месте под рельсом или около него устанавливается особый контактный башмак. Вагон своей тяжестью нажимает на башмак и тем самым замыкает контакты. Цепь сигнализации замыкается и на пульте диспетчера, на плане станционных путей, включается сигнальная лампа.

Для автоматизации работы станков надо было найти другой способ. На станине станка, в определенных местах хода стола или суппорта устанавливаются путевые выключатели и переключатели (рис. 32). Для замыкания их контактов на движущейся части станка сделан выступающий в сторону палец. Дойдя до

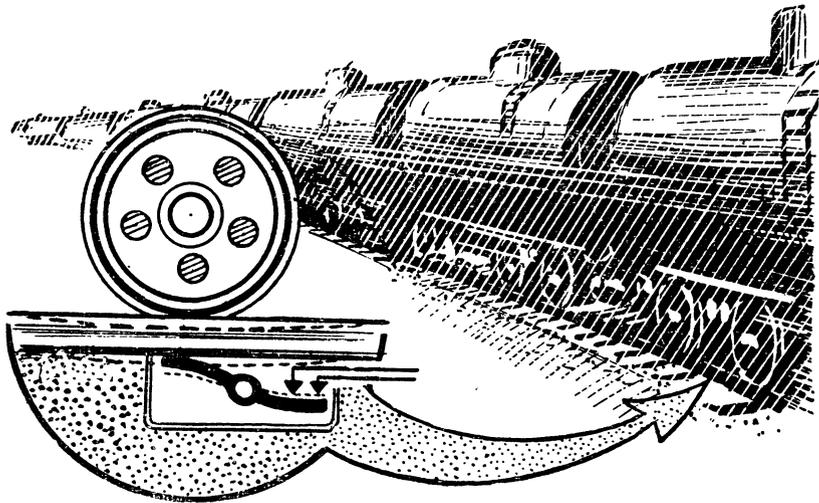


Рис. 31. Как вагоны сами замыкают контакты

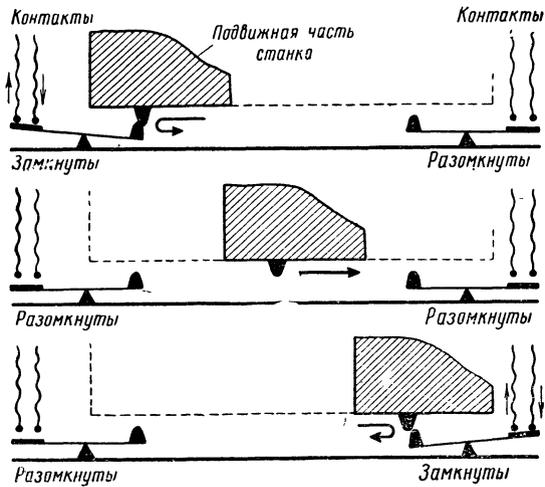


Рис. 32. Путьевые выключатели на станках

контактного устройства, стол с изделием или суппорт с инструментом нажимает своим пальцем и замыкает или размыкает ту или иную автоматическую цепь. Тотчас же либо стол, либо суппорт останавливаются, изменяют скорость или начинают двигаться в обратную сторону. Можно установить несколько путевых переключателей в разных участках хода.

Суппорт с инструментом на большой скорости подходит к изделию. Подойдя к нему, он нажимает на первый переключатель, в результате скорость холостого хода суппорта автоматически сменяется значительно меньшей рабочей скоростью. Но как только инструмент прошел вдоль всего изделия, суппорт нажимает на второй переключатель — и инструмент быстро отводится от изделия.

Производства очень разнообразны и электрическая автоматика проникла всюду: в работу станков, металлургических печей, химических аппаратов, на стройки, в подземные шахты и т. д. И в каждом случае перед изобретателями встает задача: найти такие способы, чтобы по ходу процесса того или другого производства сами замыкались сигнальные контакты в цепях автоматических устройств. При этом приходится тщательно учитывать особенности данного производства и то, как приспособить к ним работу автоматов.

Сигнальные контакты — это как бы «органы чувств», «глаза и уши» «умных» автоматических устройств. И надо, чтобы они действительно «видели и слышали» то, что происходит в производстве, что важно в нем и чем необходимо управлять.

Например, в работе машин большое значение имеет скорость их вращающихся частей. Ее часто приходится регулировать. Давно были известны центробежные регуляторы скорости. Два тяжелых шара на стержнях вращаются вокруг вала и от действия центробежной силы расходятся в стороны. Когда у тракторного двигателя скорость вала становится слишком большой, шары регулятора раздвигаются на определенное расстояние от оси, и

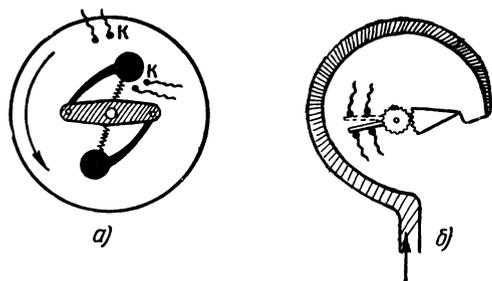


Рис. 33. Как автоматические устройства замыкают контакты:

а — центробежное устройство, б — манометр

тогда механические тяги поворачивают заслонку и уменьшают приток горючего газа в цилиндр двигателя. Теперь многие центробежные регуляторы электрифицированы. Механические тяги заменяются в них электрическим устройством, замыкающим контакты цепей (рис. 33, а). Контакты *K* устанавливают на определенном расстоянии от оси

регулятора. Если скорость вращения механизма станет чрезмерно большой, шары раздвинутся и замкнут контакты — электрический регулятор автоматически уменьшит скорость.

Если же, наоборот, скорость станет слишком мала, шары сблизятся и замкнут другие контакты, расположенные ближе к оси. В ответ на это автомат вызовет увеличение скорости частей машин. Устанавливая контакты на разных расстояниях от оси, можно точнее отрегулировать нужную скорость — уменьшить отклонения от нее.

В машинах контакты электрических цепей могут замыкаться воздействием механического движения их частей. Но во многих производствах приходится иметь дело с различными другими немеханическими процессами — тепловыми или химическими, а также со свойствами газов или жидкостей. И их тоже надо суметь «научить» замыкать и размыкать контакты электрических цепей. Изобретатели создали и для этого много интересных и подчас оригинальных способов.

В паровых котлах и в резервуарах со сжатыми газами необходимо внимательно следить за давлением. Ведь если давление пара или газа станет слишком большим, может произойти страшная авария — разрушительный взрыв котла или резервуара, от которого погибнут люди и пострадает производство. Давно уже известны манометры, измеряющие давление (рис. 33, б). Пар или газ поступает внутрь изогнутой металлической трубки и разгибает ее. Чем выше давление пара, тем больше разогнется упругая трубка. Но в обычных прежних манометрах конец трубки связан со стрелкой, которая поворачивается по окружности шкалы, и рабочий все время следит за показаниями прибора. Теперь же и этот «старый знакомый» электрифицирован. В контактном манометре конец трубки связан с электрическими контактами. Когда давление в котле или резервуаре становится слишком большим и опасным, разогнувшаяся трубка своим концом замыкает контакты и посылает сигнал в систему автоматического управления. Опасное давление уменьшается.

В глубокие подземные шахты все время просачивается и протекает грунтовая вода. Она может принести немалые беды шахтерам, и ее необходимо время от времени откачивать.

Когда воды набирается слишком много, сами (автоматически) начинают работать насосы. Для контроля уровня воды устраивают специальные измерительные колодцы (рис. 34). Здесь используется принцип обыкновенного поплавка, хорошо знакомого каждому рыбаков. Большой поплавок плавает на поверхности воды в колодце. От этого поплавок *П* протянут шнур, который перекинут через блоки и натягивается грузом. Шнур связан также с рычажками, замыкающими или размыкающими контакты *К* электрической цепи, управляющей включением или выключением электродвигателя насоса. Пока уровень воды не высок, контакты разомкнуты и насос не работает. Но вот уровень воды

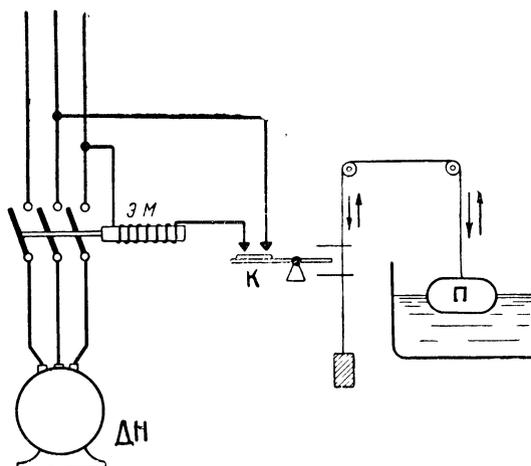


Рис. 34. Поплавок управляет насосом:
 П — поплавок, К — контакты, ЭМ — электромагнит, ДН —
 двигатель насоса

поднялся выше дозволенного — поднялся и поплавок, шнур передвинулся и замкнул контакты. В тот же момент автоматически заработал насос. Но как только уровень воды понизится до нормы, а вместе с ним опустится и поплавок, контакты разомкнутся и насос сам перестанет работать.

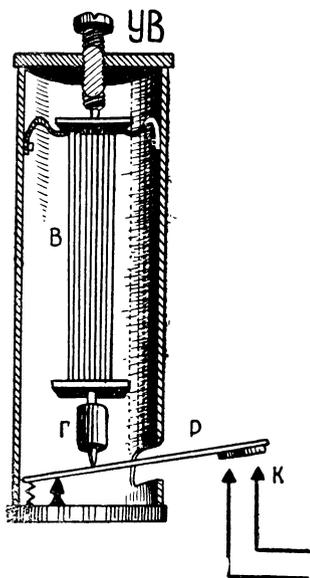
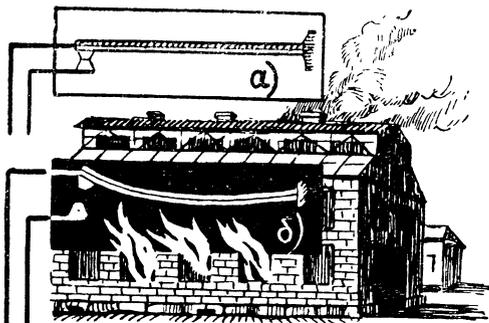


Рис. 35. Волос на службе у автоматики

В электрической автоматике нашел применение обыкновенный человеческий волос. Знаете ли вы, что длина ваших волос зависит от влажности воздуха? При увеличении влажности волосы немного удлиняются. Это свойство волоса и использовали изобретатели для устройства своеобразного прибора (рис. 35), реагирующего на изменение влажности воздуха. Такие приборы применяются, например, на складах продуктов питания. Прядь волос *В* натягивается подвешенной снизу гирькой *Г*. С гирькой связан чувствительный рычажок *Р*, размыкающий или замыкающий контакты электрической цепи *К*. Пока влажность воздуха не слишком велика, натянутые волосы короче определенной длины и удерживают рычажок *Р* в поднятом положении. Поэтому контакты разомкнуты. Когда же влажность стано-



вится большей, чем нужно, волосы удлиняются настолько, что рычажок, опускаемый гирькой, замыкает контакты, и автоматическое устройство срабатывает. С помощью установочного винта *УВ* можно изменять длину волос, при которой замыкаются контакты, т. е. отрегулировать прибор на

нужную влажность воздуха.

Тепло и холод — какое большое значение имеют они в нашей жизни и в технике! При плавке металлов, при закалке стали, в химических аппаратах, на фабриках-кухнях и в других производствах нужно самым внимательным образом следить за температурой и тщательно ее регулировать. Немного перегреются или недогреются детали в закалочной печи — и производство понесет убытки. В подшипниках и других трущихся частях машин нагревание вредно и за ним тоже приходится следить.

Вот почему так важно заставить теплоту приводить в действие автоматические устройства. Но как это сделать?

Когда вы заболеваете, вам ставят под мышку термометр. Нельзя ли электрифицировать и этого нашего старого знакомого — ртутный термометр — и ставить его «под мышку» печам, машинам и аппаратам для контроля их температуры?

Ртуть — жидкий металл, хорошо проводящий электрический ток. Один контакт электрической цепи вводится в трубку термометра внизу, в столбик ртути. Другой же контакт

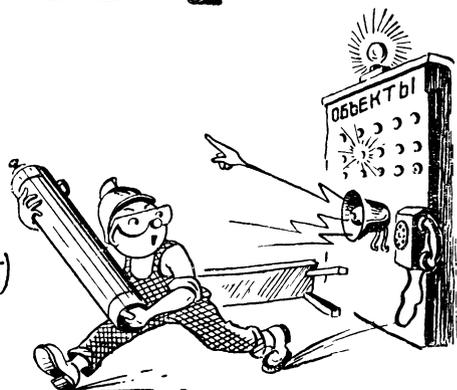


Рис. 36. Как работала пожарная сигнализация: а — пластина в холодном состоянии, б — пластина в нагретом состоянии

впаивается в трубку выше ртутного столбика, в определенном месте температурной шкалы. В таком состоянии цепь разомкнута. Когда же температура повысится до соответствующего значения, ртуть в трубке поднимется, достигнет верхнего контакта и цепь через проводящий столбик ртути замкнется. Автоматическое устройство сработает — отключатся электрические нагреватели и температура дальше повышаться не будет.

На фабриках-кухнях регуляторы с такими контактными термометрами поддерживают нужную температуру в духовках и плитах и помогают поварам не пережаривать и не оставлять недожаренными кушанья. Термометры эти ставятся «под мышки» и многим машинам, они закладываются около их подшипников и в других местах, где важно не допустить опасное перегревание.

На складе или в цехе возник пожар. И тотчас в помещении пожарной охраны, находящемся на значительном расстоянии, зазвонил звонок или загудела сирена — сработала автоматическая пожарная сигнализация (рис. 36). Как она действует? Как замыкается в ней электрическая цепь? Здесь использовано свойство разных металлов неодинаково увеличиваться в размере от нагревания. Соединяют вместе две металлические пластинки, одна из которых при нагревании удлиняется больше, а другая меньше, например железная и из сплава инвара. Такая биметаллическая пластинка отличается интересным свойством. В холодном состоянии (рис. 36, а) она остается прямой. Но как только пластинка нагреется (рис. 36, б), например при начавшемся пожаре, она изгибается в сторону менее удлинившегося слоя. Один конец пластинки закрепляется неподвижно, а другой остается свободным. Пока она остается холодной и прямой, свободный конец касается электрического контакта; цепь автомата замкнута. Когда же пластинка нагреется и изогнется, конец ее отойдет от контакта и цепь разомкнется. А от этого сработает автоматическое устройство сигнализации, зазвонят тревожные звонки и пожарная охрана немедленно узнает о начавшемся пожаре. «Умные» приборы с биметаллическими пластинками различного устройства применяются и для многих технических целей.

КАК ПЕРЕВЕСТИ С «НЕЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЯЗЫКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ»?

Вы берете телефонную трубку и разговариваете с вашим приятелем. На другом конце города, а то и в другом городе, он хорошо слышит каждое ваше слово. Конечно, по телефонному проводу сами звуки не передаются — передается электрический ток, какие-то его изменения, соответствующие звукам. Но как звуки голоса или музыки превращаются в эти изменения электрического тока? Что происходит в небольшом приборе — микрофоне (рис. 37), вделанном в телефонную трубку или стоящем перед певцом, когда его голос передается по радио?

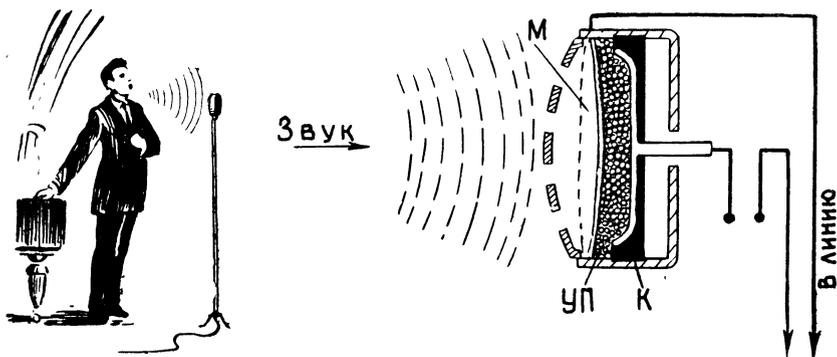


Рис. 37. Как работает микрофон

Маленькая металлическая коробка *К* заполнена порошком из толченого угля *УП*. Сверху она покрыта упругой пластинкой — мембраной *М*, слабо прижатой к угольному порошку. Пластинка и дно коробки, а значит и угольный порошок между ними, включен в общую электрическую цепь, уходящую вдаль в виде линии телефонных проводов.

Оказалось, что угольный порошок обладает одним замечательным свойством. Чем сильнее он сжат, чем плотнее прижата одна к другой его крупинки, тем меньше становится его электрическое сопротивление. Поэтому при постоянном напряжении через линию проходит более сильный ток. Упругая пластинка — мембрана — воспринимает звуки вашего голоса. Ведь звук — это колебания воздуха. И когда говорят в телефонную трубку, волны звуковых колебаний воздуха заставляют мембрану совершать в точности такие же колебания. От этого пластинка сжимает угольные крупинки в коробке то с большей, то с меньшей силой. Соответственно изменяется (уменьшается или увеличивается) сопротивление порошка, а поэтому увеличивается или уменьшается величина тока, проходящего через порошок и поступающего в телефонный провод. Эти изменения тока в точности соответствуют звуковым колебаниям так точно, что передают тончайшие оттенки вашего голоса или музыки. А на противоположном конце телефонной линии другое электрическое устройство, о котором мы узнаем несколько позже, снова превращает изменения тока в колебания воздуха — в звуки.

Такая задача — выразить какой-нибудь неэлектрический про-



цесс электрическим, перевести его, так сказать, «на язык электричества» — часто встает перед электротехникой, в особенности в автоматике. Ведь автоматизировать приходится разные производства и различные процессы: механические, тепловые, химические. Мы видели, как можно заставить эти процессы замыкать или размыкать контакты электрических цепей. Но этого мало. Нередко бывает нужно измерить величину этих неэлектрических процессов: их большую или меньшую скорость, давление, температуру и т. д., причем измерять часто приходится на расстоянии. Сам измерительный прибор установлен в цехе, в недоступном для человека месте, например внутри раскаленной печи, а результат измерения передается в кабинет диспетчера. Даже с искусственных спутников земли показания различных научных приборов успешно передаются на Землю. В ответ на данные, полученные с измерительных приборов, автоматические устройства сами регулируют работу машин, нагрев печей и другие процессы. Вот для чего важно переводить измерения с неэлектрического языка на электрический. Это делают специальные приборы — переводчики. Их называют датчиками.

Перед нами токарный или строгальный станок. С большей или меньшей силой давит его резец на обрабатываемую деталь, снимая с нее толстый слой стружки. Какова эта сила? Как измерить ее, не останавливая станок?

В авиации важно определять еще большие силы, например силу, с которой тяжелый самолет давит на свое шасси при посадке на землю. Но на каких «весах» можно взвесить эту громадину, да еще во время посадки?

В части машины, в которых нужно контролировать усилия, вставляют своеобразные приборы (рис. 38). Их главная часть —

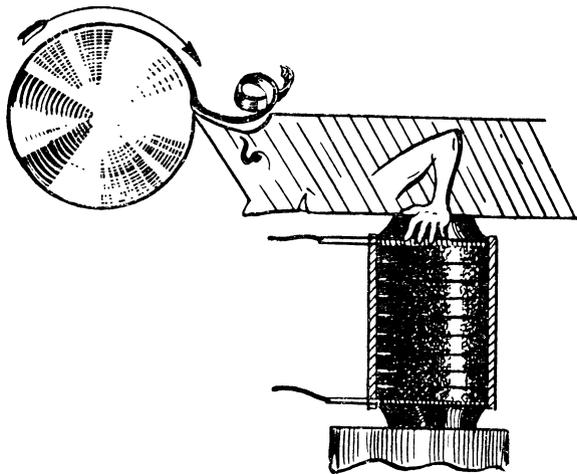


Рис. 38. Угольный столбик сопротивления

столбик, собранный из нескольких угольных или графитовых кружков. Его электрические свойства похожи, пожалуй, на свойства порошка в микрофоне. Угольные диски соприкасаются своими шероховатыми поверхностями (небольшими выступами). И чем сильнее сжать угольный столбик и плотнее прижать его диски один к другому, тем большей будет площадь соприкосновений их шероховатых поверхностей. С увеличением площади соприкосновения уменьшится электрическое сопротивление столбика, и, если он включен в цепь автоматического измерительного устройства, через него пройдет более сильный ток. Измеряя величину тока или сопротивление столбика, определяют действующую на него сжимающую силу, а значит, и силу, с которой резец давит на изделие или самолет на свое шасси. Мы переводим измерение этих сил в электрические величины, причем стрелка электрического прибора сразу показывает на шкале величину силы, действующей в машине.

Самолет летит в воздухе. Нужно измерить силы, возникающие в его крыльях, и деформации — растяжение, сжатие, изгиб, — которые испытывают части самолета от действия этих сил. Самолет делает развороты, крены и даже фигуры высшего пилотажа, а в кабине летчика-испытателя, перед его глазами, целый ряд приборов все время показывает силы и деформации, происходящие в различных частях самолета. Для этого тоже служат датчики, приборы-переводчики неэлектрических величин в электрические.

Из курса физики вы, вероятно, знаете, что сопротивление проводника тем больше, чем больше его длина, и тем меньше, чем больше его поперечное сечение.

В приборе, измеряющем усилие и деформацию, находится тонкая проволока из особого сплава с большим сопротивлением (рис. 39). Если действием какой-нибудь силы растянуть ее, то длина проволоки увеличится, а толщина уменьшится. Благодаря этому увеличится сопротивление проволоки и при постоянном питающем напряжении уменьшится величина проходящего через нее тока. Чтобы удлинение проволоки было больше, ее изгибают в виде нескольких параллельных колен или петель, каждая из которых испытывает растяжение. Проволочка наклеивается на бумагу, и такой датчик — тензометр — плотно прикрепляется к крылу самолета. Чем значительнее деформируется в этом месте крыло, тем больше растянутся петли проволочки и увеличится ее электрическое сопротивление. А для более полной картины сложной деформации крыла и действующих в нем сил проволочные датчики прикрепляются во многих местах крыла. Причем, для лучшего определения направления этих напряжений и изменений формы датчики размещаются перпендикулярно один другому. Такие же проволочные датчики устанавливаются на различных станках и машинах в тех местах, где надо измерить их деформацию.



Рис. 39

Изобретатели работают над созданием разнообразных, соответствующих особенностям каждого производства способов перевода неэлектрических величин в электрические. При изготовлении проволоки важно, чтобы она по всей своей длине имела строго одинаковую толщину. Но не легкой задачей было бы проверять обычными механическими способами измерения, если завод каждый день выпускает многие километры этой проволоки. Для измерения толщины проволоки также использовали сопротивление электрическому току. Проволоку быстро перематывают с одного барабана на другой. Между барабанами она проходит через два контакта с жидкой ртутью. Участок проволоки, движущейся между этими контактами и имеющий постоянную длину, включается в электрическую цепь. Все время измеряется его сопротивление. И если оно не изменяется — значит толщина проволоки везде одинакова. Если же сопротивление проволоки местами уменьшается или увеличивается, значит, проволока в этих местах оказывается толще или тоньше нормальной. Этот способ столь чувствителен, что им можно контролировать тончайшую проволоку диаметром в сотые доли миллиметра с точностью до одной тысячной миллиметра.

На помощь автоматике часто приходит реостат, позволяющий увеличивать или уменьшать сопротивление цепи, для чего в цепь вводится большее или меньшее число витков проволоки. А это, в свою очередь, дает возможность влиять на силу тока в цепи.

В автоматических устройствах движок реостата переводится

не рукой человека, а каким-нибудь приводным устройством, связанным с контролем того или другого производственного процесса. Такие реостаты часто дают возможность измерять различные неэлектрические величины и переводить их в электрические.

Реостат может, например, контролировать уровень жидкости. Вспомните интересные устройства с поплавками. Они могут не только замыкать или размыкать контакты, но и непрерывно измерять и контролировать уровень жидкостей в различных резервуарах и аппаратах. Диспетчер на химическом заводе все время получает сведения об уровне жидкостей в аппаратах, расположенных по всей территории большого завода. В каждом из них плавает поплавок (рис. 40, а). При изменении уровня жидкости поплавок *П* поднимается или опускается, а от этого идущий от него шнур поворачивает блок *Б* в ту или другую сторону на больший или меньший угол. Вместе с блоком поворачивается и движок *Д* круглого реостата *Р*. Контакт движка движется по виткам, расположенным по окружности. Чем ниже опустится или чем выше поднимется уровень жидкости, а с ним и поплавок, тем большее или меньшее число витков реостата *Р* будет введено в цепь электроизмерительного прибора. Увеличится или уменьшится сопротивление в цепи — уменьшится или увеличится величина тока. Таким же способом и летчик получает сведения об уровне жидкости в бензиновых и масляных баках самолета.

По трубам течет жидкость: вода, нефть или бензин. Как измерить скорость ее течения и выразить в электрических величинах (рис. 40, б). Для этого внутри трубы сделана подвижная заслонка *З*, которая в зависимости от скорости течения жидкости поворачивается на некоторый угол *У*. А вместе с заслонкой поворачивается и движок *Д* реостата *Р*. Если скорость течения жидкости в трубе станет больше или меньше, то уве-

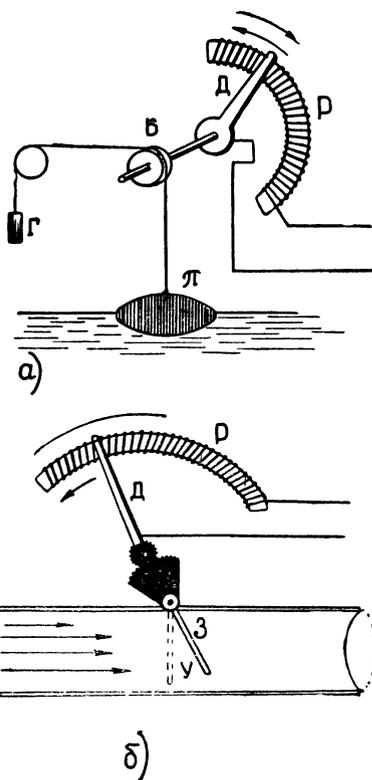


Рис. 40. Реостат на службе у автоматики:
 а — измерение уровня жидкости, б — измерение скорости течения жидкости

личится или уменьшится угол, на который повернется заслонка, а с ней и движок реостата — в цепь измерительного прибора будет введено большее или меньшее сопротивление.

На электрифицированной фабрике-кухне стоит целый ряд духовых шкафов, в которых готовятся вкусные кушанья. Не открывая дверцы, повар хорошо знает какова температура в каждой духовке, так как ее точно показывают стрелки электроизмерительных приборов. По таким же приборам летчик получает сведения о температуре внутри моторов самолета. Прибор для измерения температуры устроен сравнительно просто. Из физики известно, что при нагревании металлической проволоки сопротивление ее увеличивается. Если намотать медную или железную проволоку на изолирующий каркас и ввести ее внутрь печи или двигателя, а концы проволоки включить в цепь, получится своеобразный электрический термометр. Чем выше будет температура, тем большим станет сопротивление проволоки и менее сильным проходящий через нее ток, что и покажет электроизмерительный прибор.

Металлургам приходится измерять очень высокие температуры. Расплавленный металл в печи, вытекающий из нее в виде огненно-жидкой струи, имеет температуру 1200—1500° и выше. Для контроля таких температур и для перевода их на «язык электричества» пользуются особым способом. Берется спай двух различных металлов, например платины и ее сплава с родием. Такой спай обладает очень важным свойством. Если нагреть его, то между металлическими стержнями возникает электрическое напряжение. По величине напряжения можно точно измерить температуру нагрева спая. Прибор называется термопарой или термоэлементом. Он столь чувствителен, что астрономы пользуются им для определения температуры на Марсе и на других планетах, удаленных от Земли на десятки миллионов километров. Для этих измерений прибор устанавливают в фокусе телескопа, где собираются лучи, нагревающие спай металлов.

Металлурги вводят такие термопары в горячую камеру печи, а провода от них подключают к электроизмерительным приборам, измеряющим напряжение и показывающим температуру печи.

Не заметили ли вы одну характерную особенность работы этого прибора, отличающую его от всех рассмотренных нами раньше? Все они включались в электрическую цепь с независимым от них источником питания. Здесь же никакого другого источника питания нет, и сам измерительный прибор представляет собой как бы крошечную электростанцию, установленную внутри печи и производящую ток.

Нельзя ли усовершенствовать этот способ превращения теплоты в электричество и с его помощью создать источник электроэнергии совершенно нового типа? Об этом мы поговорим позже.

«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОЗГ»

Вы нечаянно коснулись рукой горячего предмета, почувствовали резкую боль, и, не успев подумать, быстро отдернули руку. Что произошло в вашей нервной системе? От пальцев руки по чувствительным нервам раздражение передалось в ваш мозг, а от него по двигательным нервам — к мышцам руки. Такой процесс называется рефлексом, а путь, по которому он проходит, — рефлекторной дугой. Вы увидели неполадку в машине. У вас возник ряд мыслей об этом; вы сообразили, что надо делать, и только после этого приняли нужное решение. Здесь между восприятием и ответным действием произошел ряд сложных процессов в мозге, в центральной нервной системе. Но основная последовательность процессов остается такой же: восприятие — работа мозга — действие.

А вот работает электрический автомат. Контакты его воспринимающего органа замкнулись от высокой температуры в печи или иного воздействия производственного процесса. Возникший при этом сигнал по проводу передан в центральную часть автомата, в котором произошли сложные переключения в электрических цепях. И в ответ на это по другому проводу послан ток, от действия которого изменилось нагревание печи или заработали электродвигатели.

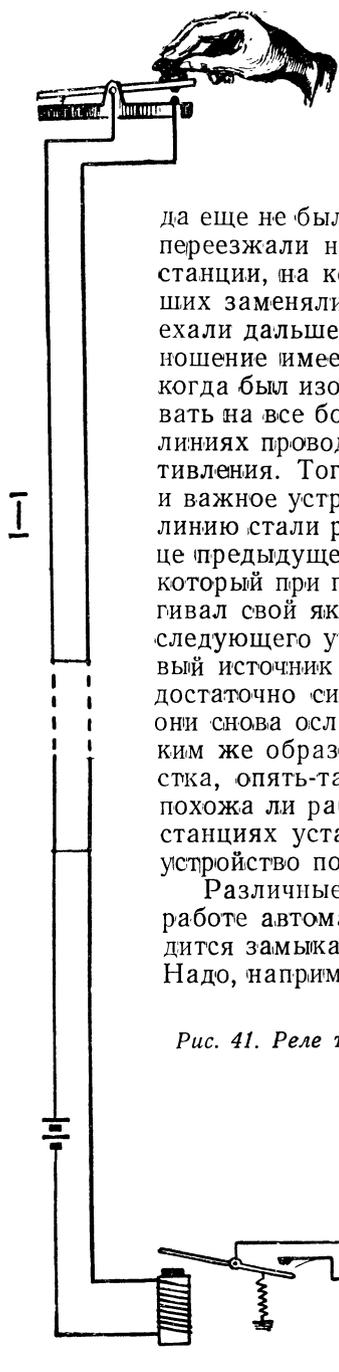
Не замечаете ли вы сходства между работой нервной системы и электрического автомата? В то же время между ними есть и очень большие различия. Ни один, даже самый совершенный автомат, не может сравниться с мышлением человека. Но во многих автоматических устройствах можно найти эти три основных звена, образующие нечто подобное «рефлекторной дуге»:

1) воспринимающие органы — «глаза и уши» автомата. Они или замыкают контакты электрических цепей и пускают в ход автоматическое устройство, или измеряют и контролируют производственные процессы: движение машин, температуру и т. д. и переводят их на «язык электричества»;

2) центральное устройство автомата — его «электрический мозг». В нем происходит дальнейшая обработка полученных сигналов. «Электрический мозг», если нужно, усиливает их, устанавливает между ними связь, сравнивает и сочетает разные сигналы, распределяет их по разным цепям, управляет последовательными действиями во времени и т. д. В новейших автоматических устройствах их центральные органы производят даже сложные математические расчеты;

3) исполнительные органы — «руки» автомата: электрические двигатели, электромагниты и другие устройства. В них поступают готовые приказы, и исполнительные органы приводят в действие машины и механизмы, регулируют работу печей или химических аппаратов.

Рассмотрим работу «электрического мозга» автоматов. Она



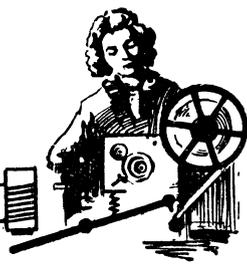
очень разнообразна и бывает более простой или более сложной.

Вы, вероятно, слышали об аппаратах, носящих название реле. Старое французское слово «реле» когда-то значило перепряжка лошадей. В далекие времена, когда

еще не было железных дорог и из города в город переезжали на лошадях, существовали релейные станции, на которых перепрягали лошадей — уставших заменяли отдохнувшими, и с новыми силами ехали дальше. Позвольте, скажете вы, какое же отношение имеет это к электротехнике? А вот какое: когда был изобретен телеграф и стали телеграфировать на все большее расстояние, сигналы в длинных линиях проводов ослабевали от их большого сопротивления. Тогда было изобретено одно интересное и важное устройство — реле (рис. 41). Телеграфную линию разделять на отдельные участки, в конце предыдущего участка I ставили электромагнит, который при передаче телеграфных сигналов притягивал свой якорь и этим замыкал контакты цепи следующего участка II. Участок этот имел свой новый источник энергии. Поэтому по нему опять шли достаточно сильные сигналы. Но к концу участка они снова ослабевали и там, чтобы усилить их, таким же образом замыкалась цепь следующего участка, опять-таки с новым источником энергии. Не похожа ли работа этих приборов на перепряжку на станциях уставших лошадей? По аналогии такое устройство получило название электрического реле.

Различные реле приобрели большое значение в работе автоматических устройств. Им часто приходится замыкать новые цепи с более сильным током. Надо, например, пустить в ход мощный электродви-

Рис. 41. Реле телеграфной линии



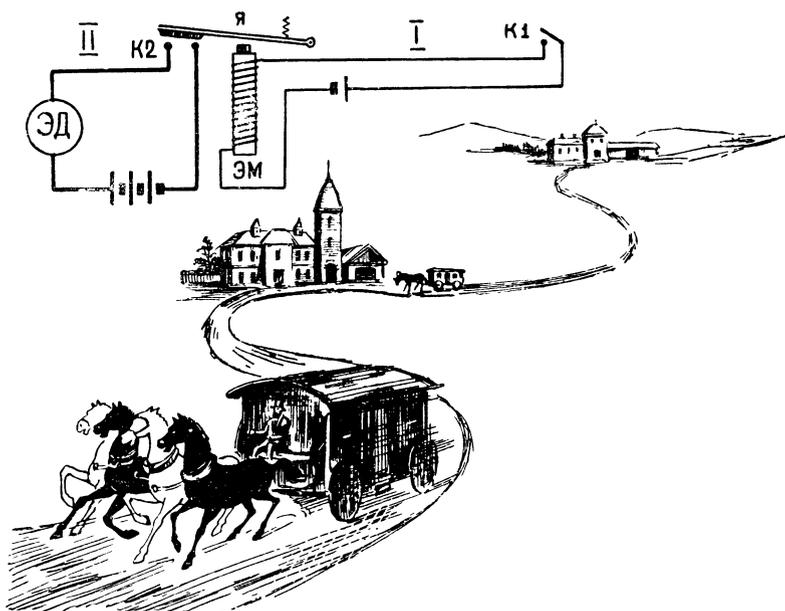


Рис. 42. Общий принцип реле (простейшая схема)

гатель. Он потребляет из сети большой ток. Поэтому цепь, питающую двигатель, делают из проводов, имеющих большое поперечное сечение, а включение двигателя производят сильными контактными устройствами. Но подводить такую цепь непосредственно к слабым контактам пусковой кнопки или автоматического датчика нельзя.

Поэтому делают вторую специальную цепь управления с тонкими проводами и облегченными чувствительными контактами. Получается устройство (рис. 42), состоящее из двух цепей: управляющей цепи *I* и управляемой питающей цепи *II*. Но как с помощью слабых токов, протекающих в цепи управления, управлять во много раз более сильным током питающей цепи? Вот тут-то и приходит на помощь реле. Палец рабочего или сами движущиеся части машины, температура печи или поплавков, контролирующей уровень воды в шахте, замыкают контакты *K1* первой управляющей цепи слабого тока. В эту цепь включена обмотка электромагнита *ЭМ*, который приходит в действие и притягивает свой якорь *Я*. А уже якорь магнита замыкает контакты *K2* второй управляемой цепи, питающей электродвигатель *ЭД*. Так происходит «перепряжка лошадей» — электрических цепей с маломощной цепи управления на мощную питающую.

В автоматических устройствах реле применяются не только для усиления, но и для разнообразных переключений, в большом количестве производимых в сложных схемах автоматики. Вспомните, как работают путевые и линейные реле в автоблокировке на железных дорогах. Переключая различные цепи, прокладывают они путь току то к красным, то к желтым, то к зеленым сигналам.

На кожевнном заводе вращается большой барабан, наполненный сырыми кожами и дубильной жидкостью. Он несколько минут вертится в одну сторону, затем останавливается, выстоит ровно одну минуту, а затем вертится в другую сторону.

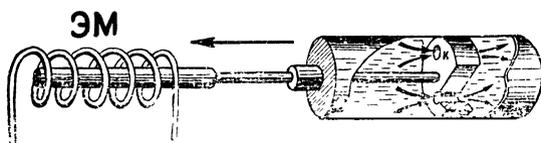


Рис. 43. Как масло замедляет работу реле

Автоматам нередко приходится регулировать работу во времени. Часто бывает нужным, чтобы в ответ на полученный сигнал механизм начал действовать не сразу, а спустя некоторое определенное время или чтобы между разными операциями выдерживались нужные промежутки времени. В этих случаях применяют различные реле времени, срабатывающие не мгновенно, а с некоторой задержкой. Мы скоро увидим, что такие реле нужны и для управления машинами на расстоянии: для посылки им электрических приказов — сигналов различной длительности.

Возьмите густое, вязкое масло. Попробуйте вылить его через узкое отверстие или трубку. Оно проходит через него медленно, испытывая большое сопротивление от трения. Изобретателям пришла мысль: нельзя ли использовать это свойство вязкой жидкости для задержки действия автоматических устройств? В электромагнит ЭМ реле пускается ток (рис. 43). Он втягивает якорь. Но якорь тянет за собой поршень небольшого цилиндра, наполненного маслом. В поршне сделаны узкие отверстия или каналы *K*, по которым масло перетекает из одной части цилиндра в другую. Но течет оно в них медленно, в течение нескольких секунд и даже десятков секунд. И лишь когда перетечет все масло, поршень дойдет до конца цилиндра, а якорь электромагнита — до контактов электрической цепи. И только тогда, т. е. через определенный промежуток времени, контакты будут замкнуты и сработает автоматическое устройство. Изменяя диаметр отверстий в поршне, можно регулировать задержку времени — делать ее большей или меньшей.

Автоматическими устройствами решаются самые различные задачи.

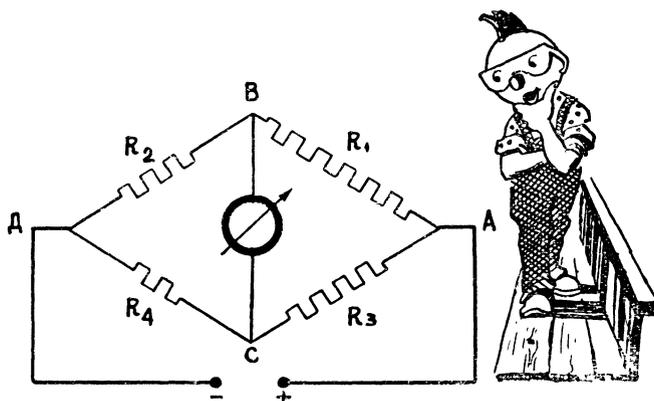


Рис. 44. Мост сопротивлений

При решении многих из них используется изменение сопротивления. Вспомните, например, как толщину изготавливаемой проволоки можно проверить по изменению ее электрического сопротивления. Мы видели, что многое из того, что приходится измерять в разных производствах — движение, действие сил, температура и т. д. — тоже часто сводится к измерению сопротивления электрическому току. Но как измерить изменения сопротивления, как точно разобраться в этих сведениях, поступающих от «органов чувств» автомата?

В автоматических устройствах часто встречается характерная схема. Что это за четырехугольник из сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 и R_4 (рис. 44), в котором два противоположных угла B и C соединены чем-то вроде моста с включенным в него электрическим прибором? Такие мостики сопротивлений нередко помогают автоматам точно измерять сопротивления, поступающие от датчиков. Постоянный ток от источника подводится к точкам A и D и идет между ними по двум ветвям: через R_1 и R_2 и через R_3 и R_4 . Эти четыре сопротивления подобраны в определенном соотношении. Если, например R_1 в два или в десять раз больше R_2 , то во столько же раз R_3 больше R_4 . При этом условии мост находится в равновесии, и в диагонали BC четырехугольника тока нет — измерительный прибор показывает «ноль». Если же соотношение сопротивлений четырех плеч нарушится, — в диагонали появится ток.

Посмотрите теперь, как включается измеряемое сопротивление, скажем участок проволоки, движущейся между двумя контактами K (рис. 45). Это сопротивление заменяет одно из плечей моста R_1 . Сопротивление плечей R_3 и R_4 , а значит, и соотношение между ними все время остаются неизменными. Сопротивление же плеча R_2 можно изменять, вводя с помощью движка

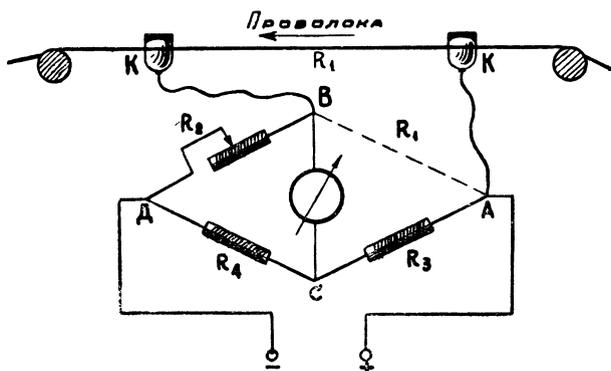


Рис. 45. Применение моста сопротивления

большее или меньшее число витков. Величина этого сопротивления подбирается так, чтобы в мостике установилось равновесие, и измерительный прибор в диагонали показывал отсутствие тока. Тогда легко определить измеряемое сопротивление проволоки R_1 . Оно будет во столько же раз больше R_2 , во сколько R_3 больше R_4 . Значит,

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}.$$

Однако производить эти расчеты не приходится. В диагональ вводится автоматический регулятор. Пока толщина проволоки правильна, мост остается в равновесии. Но как только она станет больше или меньше нормы, изменится сопротивление R_1 , а следовательно, равновесие моста нарушится, в диагонали пойдет ток в том или другом направлении. И «руки автомата», его исполнительные органы, сами отрегулируют работу машины так, что она опять будет производить проволоку правильного диаметра.

Отправимся теперь на завод, изготовляющий подшипники. В его цехах можно увидеть контролер — автомат, проверяющий правильность размера шариков или роликов (рис. 46). Они один за другим проходят под его щупом $Ш$, а от него чувствительный рычаг P передает давление на угольный столбик $УС$. В зависимости от размера шариков он с большей или меньшей силой сжимает неровные поверхности угольных дисков, а от этого уменьшается или увеличивается сопротивление столбика. Угольный столбик включен в одно из плечей (R_1) мостика сопротивления, построенного в «электрическом мозге» автоматического контролера. А в диагональ моста включено реле, посылающее приказы «рукам контролера» — его исполнительным органам, которые направляют шарики правильного размера в один ящик,

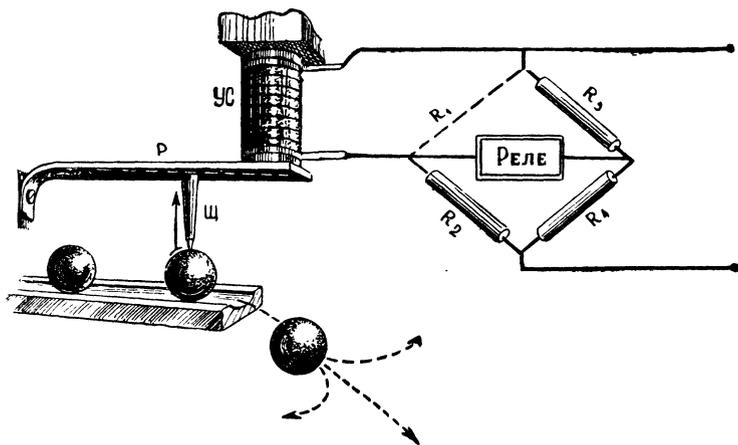


Рис. 46. Как контролировать размер шариков для подшипников

а забракованные — в другой. Автомат, построенный по схеме мостика сопротивлений, измеряет шарики очень быстро и с большой точностью.

Но вот другая более сложная схема работы «электрического мозга» (рис. 47). Устройство, измеряющее величину шариков, для чего-то имеет не один, а целых два угольных столбика сопротивления $УС1$ и $УС2$. Рычажок P прибора действует так, что, усиливая давление на один столбик, он в то же время ослабляет давление на другой. Следовательно, сопротивление одного столбика уменьшается, а сопротивление другого — увеличивается. Для чего это нужно? «Электрический мозг» устроен так, что улавливает разность между двумя изменениями сопротивлений. Он как бы вычитает одно из другого, что дает возможность еще чувствительнее уловить и точнее измерить малейшее перемещение и отклонение в размере шариков.

Присмотритесь внимательно к работе такого автоматического устройства с двумя изменяющимися сопротивлениями. Его схема состоит из двух цепей или, как говорят, контуров I и II , в каждом из которых существует свой отдельный источник тока. Но эти две цепи как бы срослись вместе и

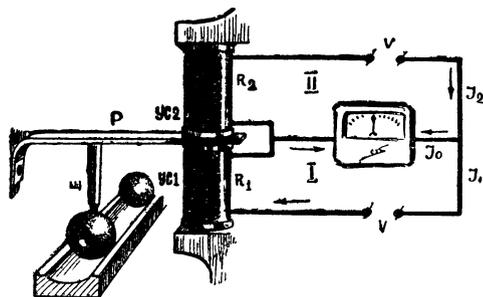


Рис. 47. Устройство дифференциального действия

имеют общую среднюю ветвь. В нее включен прибор, показывающий наличие или отсутствие тока. В обоих контурах циркулируют токи I_1 и I_2 , направленные навстречу один другому. Что же происходит в общей, средней ветви — какой получается в ней ток? Встречные токи I_1 и I_2 как бы вычитаются здесь один из другого. И если они по своей величине в точности равны, то в средней общей ветви тока не будет вовсе. Измерительный прибор покажет в ней нуль. А это будет в том случае, если сопротивления R_1 и R_2 в обоих контурах вполне одинаковы. Если же одно из них станет хотя бы чуть-чуть больше или меньше другого, токи I_1 и I_2 тоже окажутся неодинаковыми по величине. И тогда в средней ветви, где они вычитаются один из другого, будет протекать очень слабый ток I_0 , равный разности токов I_1 и I_2 . Его-то и покажет точный измерительный прибор. Такое автоматическое устройство очень чувствительно: оно улавливает малейшую разность токов, выражающую очень малое отклонение в величине измеряемых шариков. Подобные приборы, отвечающие на разность двух величин, часто применяются в автоматике, когда необходимо более точно измерять очень малые величины. Мы с вами еще встретимся с ними. Устройство их бывает различным. Они называются дифференциальными.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АРИФМЕТИКА

Расчеты, математические операции — какое огромное значение имеют они в технике! Как часто приходится производить их каждому инженеру, решая те или другие производственные задачи. А нельзя ли и их передать автоматическим устройствам — научить их складывать, вычитать, умножать и делить. Ведь автоматические устройства выполняют все более сложную работу. Им стали доступны многие математические операции. Познакомимся пока лишь с наиболее простыми способами электрической арифметики.

Летчику, например, постоянно надо знать, какова путевая скорость его самолета $v_{пут}$, т. е. скорость полета по отношению к поверхности земли. Она равна сумме двух скоростей — воздушной скорости самолета по отношению к окружающему воздуху ($v_{возд}$) и скорости попутного ветра по отношению к земле ($v_{вет}$).

$$v_{пут} = v_{возд} + v_{вет}.$$

Если же ветер дует навстречу самолету, то надо взять разность:

$$v_{пут} = v_{возд} - v_{вет}.$$

Скорость самолета относительно воздуха и скорость ветра измеряются датчиками, а их сложение или вычитание производится автоматически.

Арифметические действия сложения, вычитания, умножения и деления приходится производить и во многих других случаях техники и производства. Познакомимся с простейшими принципами действия некоторых устройств такой электрической арифметики. Вы уже знаете, как различные измеряемые величины: перемещение, скорость, сила, температура и др., переводятся на язык электричества и могут быть выражены, например, большим или меньшим сопротивлением. Теперь перед автоматом встает задача сложить два или несколько таких полученных сопротивлений и этим выразить сумму измеренных величин (скоростей, сил и др.).

В схеме такого устройства (рис. 48) две цепи *I* и *II* с самостоятельными источниками тока одинакового напряжения. В каждую из них включен прибор, похожий на реостат. Это делитель напряжения. Движок разделяет его общее сопротивление на две части, а тем самым делит и общее напряжение между его концами. При этом падение напряжения в каждой части, справа и слева от движка, пропорционально их сопротивлениям. Движок в каждой цепи автоматически перемещается слева направо от действия измеряемой величины: в одной цепи, например, от действия первого слагаемого, а в другой от действия второго. Величины этих слагаемых выражаются сопротивлениями слева от движков, а также падениями напряжения, пропорциональными этим сопротивлениям. Задача автомата — сложить эти два напряжения. Как же он это делает?

В работе автомата использованы законы электрических цепей. Общее падение напряжения во всей цепи V равно сумме падений напряжения $V_1 + V_2$ в ее отдельных последовательных участках. Значит, для решения поставленной задачи надо соединить последовательно левые части двух делителей напряжения с сопротивлениями R_1 и R_2 и напряжениями V_1 и V_2 . И тогда вольтметр, включенный между концами обоих соединенных сопротивлений, выразит нужную нам сумму двух слагаемых — скоростей, сил и пр. Начертите сами схему аналогичного электрического сложения не двух, а трех или больше измеренных величин.

В других случаях приходится производить арифметическое действие вычитания.

Как может «электрический мозг» вычесть одну величину из другой? Рассмотрим простейший принцип такого устройства.

Делитель напряжения делается с двумя движками (рис. 49). Оба они движутся слева направо. Движок *1* перемещается от воздействия измеряемого процесса, и его путь соответствует той величине, из которой надо вычесть (уменьшаемому). А перемещение движка *2* выражает величину, которую надо вычесть (вычитаемое). Первый движок отделяет от левого края сопротивление R_1 и соответствующее ему падение напряжения V_1 . Они-то и выражают величину уменьшаемого. Второй же движок — тоже

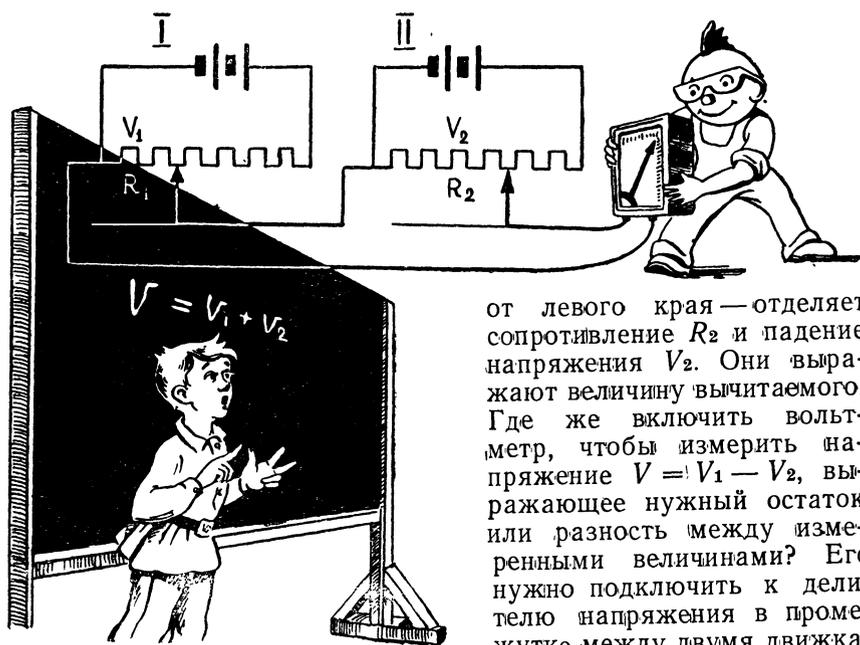


Рис. 48. Электрическое сложение

от левого края — отделяет сопротивление R_2 и падение напряжения V_2 . Они выражают величину вычитаемого. Где же включить вольтметр, чтобы измерить напряжение $V = V_1 - V_2$, выражающее нужный остаток или разность между измеренными величинами? Его нужно подключить к делителю напряжения в промежутке между двумя движками. Сопротивление этого промежутка R и будет равно $R_1 - R_2$.

Автоматические вычислительные устройства производят и более сложные действия: умножения и деления.

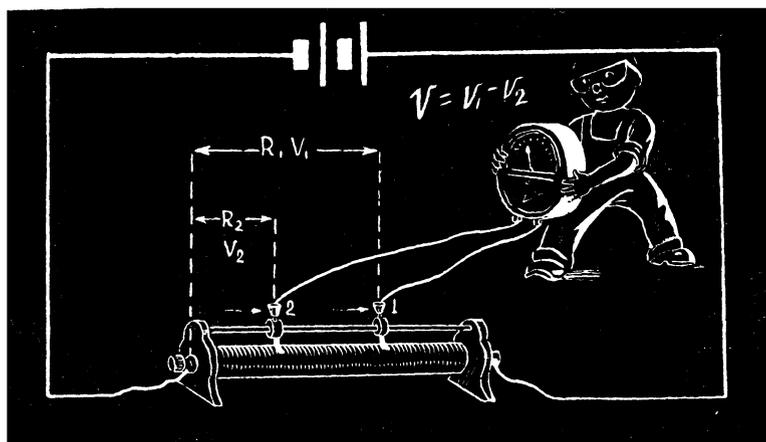


Рис. 49. Электрическое вычитание

Чтобы перемножить две измеренные величины, можно воспользоваться обыкновенным ваттметром — прибором, которым обычно измеряют мощность тока (рис. 50). Электродинамический ваттметр имеет две рамки с витками: одну неподвижную *НР*, а другую *ПР*, поворачивающуюся по отношению к первой. Если по обеим рамкам пропустить токи, то от взаимодействия тока одной из них с магнитным полем другая подвижная рамка повернется на определенный угол, причем угол ее поворота будет соответствовать произведению величины токов в обеих рамках $I_1 \cdot I_2$. Это и используется для электрического умножения. Пусть надо, например, перемножить скорость v равномерного движения на время t и получить пройденный путь S . Путь, как вы знаете, равен скорости, умноженной на время ($S = v \cdot t$). Одна из измеренных величин — скорость — выражается перемещением движка первого реостата, который вводит в цепь сопротивление R_1 , другая величина — время — выражается перемещением движка второго реостата, который вводит сопротивление R_2 . Рассмотрите на схеме, как соединены эти сопротивления с обмотками неподвижной рамки *НР* и подвижной *ПР*. В рамки поступают токи I_1 и I_2 , величина которых соответствует двум измеренным и перемножаемым величинам — скорости и времени. Угол же поворота рамки (и связанной с ней стрелки прибора) соответствует произведению обоих токов $I_1 \cdot I_2$. Поэтому стрелка показывает на шкале пройденный путь.

Может понадобиться также произвести деление одной измеренной величины на другую, например разделить длину пройденного пути S на время движения t , и таким образом узнать скорость:

$$v = \frac{S}{t}.$$

В автоматических устройствах для деления используется еще один прибор — логометр (рис. 51). Он имеет две подвижные рамки с витками, причем они жестко скреплены между собой и поворачиваются вместе. Рамки находятся между полюсами постоянного магнита. Когда обе рамки питаются током,

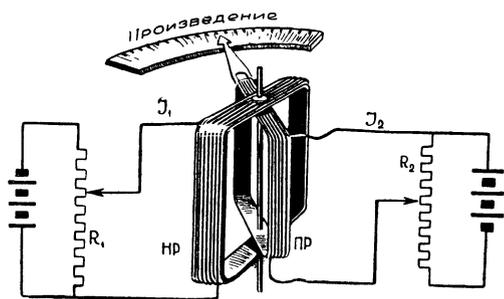


Рис. 50. Электрическое умножение

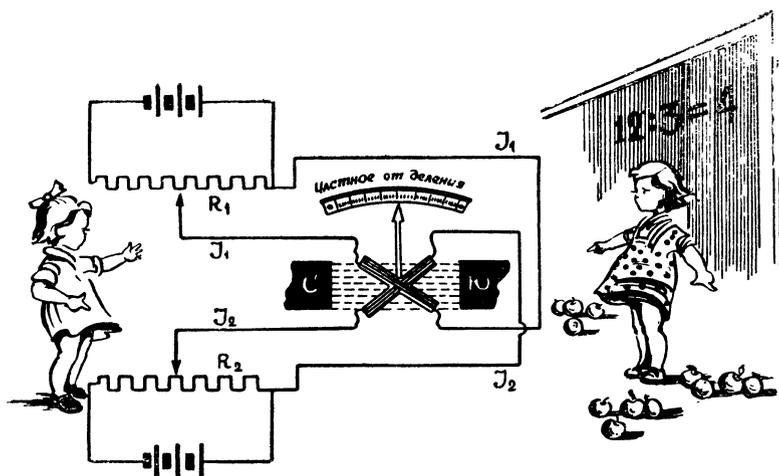


Рис. 51. Электрическое деление

происходит взаимодействие между ними и полем магнита, и от этого рамки поворачиваются на определенный угол, причем этот угол зависит от отношения величин обоих токов, т. е. от $I_1 : I_2$.

Следовательно, таким прибором можно воспользоваться для электрического деления двух контролируемых величин. Для этого нужно делимое, например пройденный путь, выразить величиной тока I_1 , а делитель, например время, — величиной тока I_2 . Эти два тока надо подать в витки обеих рамок прибора. Тогда угол поворота рамок и связанной с ними стрелки прибора выразит частное от деления $I_1 : I_2$, в данном случае скорость движения.

В роли электрического математика, производящего умножение и деление, нередко выступает и знакомый уже нам электрический мост сопротивлений (см. рис. 44 на стр. 79). Запомните соотношение сопротивлений четырех его плечей:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ или иначе } R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3.$$

Пусть надо перемножить две величины в каких-нибудь производственных процессах. Обозначим их a и b . Преобразуем эти величины в сопротивления R_1 и R_4 двух противоположных плечей моста. Сопротивление плеча R_2 пусть будет постоянным. Посмотрим, чему равно сопротивление плеча R_3 , когда мост находится в состоянии равновесия, т. е. в его диагонали нет тока.

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2}.$$

А так как R_2 постоянно, то R_3 выразит произведение величин $a \cdot b$.

А как с помощью моста произвести деление величины a на величину b ? Для этого преобразуем делимое a в сопротивление плеча R_1 , а делитель b в сопротивление плеча R_2 . Сопротивление плеча R_4 пусть остается теперь неизменным. Тогда частное от деления выразится сопротивлением плеча R_3 .

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2}.$$

При постоянном R_4 по этой формуле найдем частное от деления a на b .

Мы познакомились лишь с самыми простыми способами арифметических действий в работе автоматических устройств.

Современная техника создала несравненно более сложные и совершенные математические машины. Эти замечательные быстродействующие электронные счетные машины производят сложнейшие расчеты, заменяя работу квалифицированных математиков, причем выполняют их с поразительной скоростью. Но о них мы расскажем в конце этой книги.

РЕГУЛЯТОРЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПО ЗАДАННОЙ ПРОГРАММЕ

Высоко в небе летают вокруг Земли советские искусственные спутники. Сложное дело запустить искусственное небесное тело! Необходима исключительная точность запуска. Ракета-носитель состоит из нескольких ступеней, и в каждой из них автоматическое управление работает по определенной, заранее заданной программе. Программа точно определяет скорость и направление движения каждой ступени ракеты так, чтобы к концу запуска спутник или космическая ракета полетели по строго рассчитанной траектории.

Но вот спутник запущен и обращается вокруг Земли. Его автоматическая радиостанция опять-таки по заданной программе в определенной последовательности посылает на землю показания многих научных приборов: о плотности воздуха, о его заряженных частицах, об излучении Солнца, о дыхании и работе сердца собаки Лайки. Программное устройство по очереди подключает научные приборы — и все это в течение долей секунды. Космическая ракета фотографирует невидимую нами сторону Луны. И здесь все происходит по заданной программе — автомат ориентирует ракету по отношению к направлению лучей Солнца и освещенной ими Луне, производит фотографирование, а затем проявляет пленку, сушит ее и, наконец, по телевидению передает на Землю. Программная автоматика приобретает все большее значение в технике.

По заданной и подчас весьма сложной программе работают

и многие автоматы на производстве. Один за другим приближаются к изделию различные инструменты автоматического станка, и каждый из них производит свою работу: обтачивает ту или другую часть детали, нарезает на ней резьбу; за обдирочными резцами вступают в действие чистовые. Выполнив свою работу, инструмент отходит от изделия и вместо него приближается другой. Операции следуют одна за другой в строгой последовательности, каждая начинается точно в установленный момент и длится в течение нужного времени. И вся эта сложная программа выполняется самой машиной без прямого участия человека. Человек задает машине программу работы, а она в точности ее выполняет.

Как это делается? С одним из способов мы с вами уже знакомы — это применение командоконтроллеров. Вспомните, как контактные пластины, расположенные на поверхности вращающегося барабана, по очереди замыкают скользящие контакты различных цепей. В нужной последовательности и в определенное время приводятся в действие части машины, которые одна за другой производят операции сложного рабочего цикла. И все это осуществляется по строго продуманной, наперед заданной программе. Командоконтроллер порой бывает главной частью автоматического устройства такого программного типа.

Но есть и другие способы программного управления и регулирования в автоматике. Перед нами печь, в которой надо по заданной программе регулировать изменение температуры. Находящиеся в ней изделия должны быть сперва нагреты до температуры предварительного подогрева, например до 500° , выдержаны нужное время при этой температуре, затем нагреты до окончательной температуры (850°) и находиться при ней в печи заданное время. После этого их надо медленно охлаждать до 400° , снова выдержать при этой температуре и, наконец, охладить окончательно.

И вся эта программа выполняется самой автоматической печью.

Как работает ее программное устройство? Ограничимся менее сложным случаем — пусть программа работы печи состоит из трех операций: 1) постепенное повышение температуры в течение 15 мин.; 2) выдерживание при наибольшей температуре 20 мин. и 3) остывание — 15 мин. Весь процесс работы печи длится 50 мин., причем на разогревание приходится 0,3, на выдерживание 0,4 и на остывание 0,3 от общего времени всего процесса. Изобразим изменение температуры печи в виде кривой. Ее поднимающаяся часть соответствует повышению температуры, горизонтальная часть — неизменной температуре, а опускающаяся часть — остыванию.

Можно вырезать металлический шаблон (рис. 52) такой же формы. Пусть сверху к нему пружиной *Пр* прижимается ролик толкателя, передвигающего движок реостата. Шаблон движет-

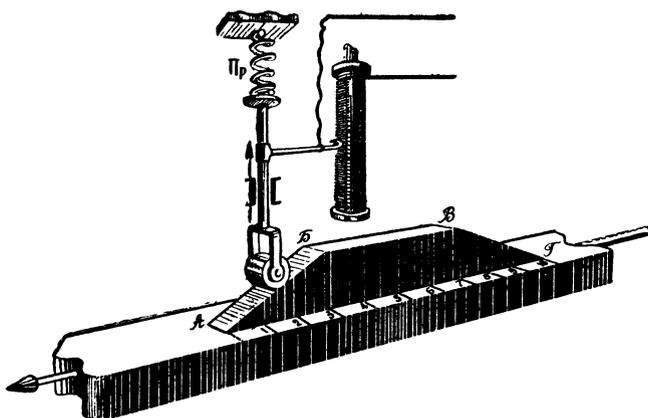


Рис. 52. Как регулировать температуру по заданной программе

ся справа налево; толкатель же движется вверх или вниз. В первой части программы, когда температура должна повышаться на участке шаблона от *А* до *Б*, ролик толкателя отжимается вверх и движок выключает витки реостата, отчего в нагреватели печи поступает все более сильный ток. На горизонтальном участке шаблона, от *Б* до *В*, когда температура в печи должна быть неизменной, ролик толкателя остается на одинаковой высоте, движок реостата тоже не передвигается, и нагреватели печи получают наиболее сильный ток. Наконец, на опускающейся части шаблона, от *В* до *Г*, толкатель движется вниз, движок включает все большее сопротивление и питание печи током уменьшается — температура в ней понижается. Как видите, все это происходит в полном соответствии с заданной программой. Однако это лишь простейшая схема, поясняющая принцип; на практике программные устройства бывают куда сложнее.

Более совершенны вращающиеся программные устройства (рис. 53). Представьте себе, что нарисованная нами кривая вырезана на ободе круглого вращающегося диска (ряд *I*). Такой диск приобретает сложную форму фигурной шайбы или кулачка. Его радиусы в одних местах больше, а в других меньше, т. е. край такого кулачка то удаляется от его оси, то, наоборот, приближается к ней. У кулачка, изготовленного для данной программы регулирования температуры (ряд *II*), край удаляется от оси в части от *А* до *Б*, которая соответствует повышению температуры. Поворот этой части занимает 0,3 полного оборота. В следующей части от *Б* до *В*, при повороте которой должно происходить выдерживание наибольшей (неизменной) температуры, край кулачка остается на одинаковом расстоянии от оси. Эта часть поворачивается за 0,4 полного оборота. Наконец, в

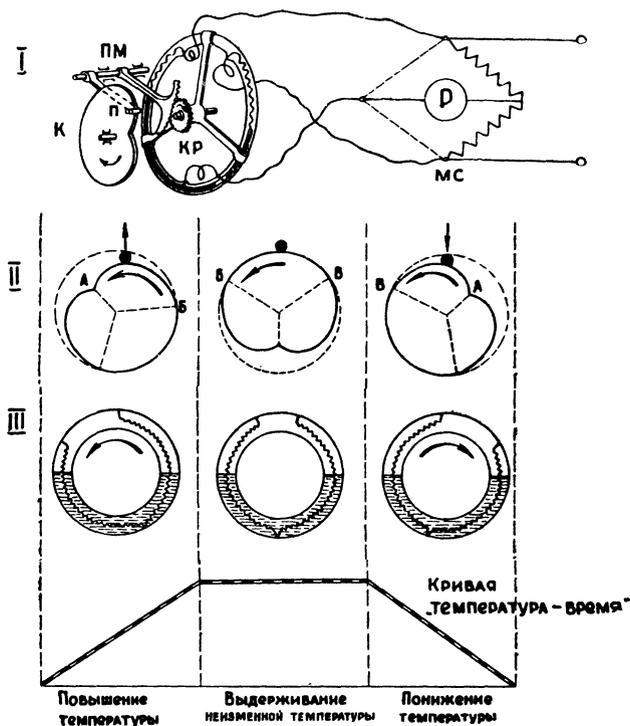


Рис. 53. Как устроен программный регулятор:
I, II, III — ряды

третьей части от В до А, соответствующей остыванию печи, край кулачка снова приближается к оси. Поворот этой части происходит за 0,3 оборота. Вращается кулачок очень медленно, делая один оборот за все время рабочего цикла печи.

Поверхности кулачка касается палец П (ряд I) механизма, передающего движение дальнейшим частям автомата. Следуя за профилем кулачка, этот палец то приближается к его оси, то удаляется от нее. А от этого передающий механизм ПМ поворачивается то в одну, то в другую сторону.

Что происходит дальше? Движение передается своеобразному реостату КР. Посмотрите, как он устроен. Это кольцевая трубка, в нижней части которой налита ртуть. Внутри трубки находится проволоочная спираль (сопротивление), нижняя часть которой погружена в ртуть, а два верхних конца выступают из нее наружу. При включении в цепь ток проходит через эти концы и через ртуть. Но ртуть — хороший проводник электричества. Поэтому сопротивление, включенное в цепь, зависит лишь от

длины концов спирали, выступающих над ртутью. Что происходит, когда эта кольцевая трубка поворачивается направо или налево (ряд III)? Ртуть переливается в ней, оставаясь внизу. А с обеих сторон над ртутью оказываются большие или меньшие сопротивления, включенные в цепь.

Обе половины кольцевого реостата включены в два плеча моста сопротивлений MC . А в диагональ моста включено реле P , управляющее нагревателями печи. И когда реостат поворачивается, нарушается равновесие моста, и автоматическое регулирующее устройство увеличивает или уменьшает электрическое нагревание печи.

Но как температура печи регулируется по заданной программе? Мы уже знаем, что программа эта как бы записана на окружности профильного кулачка. Рассмотрите ряд II и III на рис. 53, какие положения кольцевого реостата соответствуют движениям кулачка. Когда внешний край кулачка удаляется от его оси и отводит палец передающего механизма, трубка реостата наклоняется влево, от этого сопротивление в правой части трубки становится больше, чем сопротивление в ее левой части, равновесие моста нарушается, и регулятор вызывает большее образование тепла в печи. В дальнейшем край кулачка остается на одинаковом расстоянии от оси, палец и весь передающий механизм перестают двигаться, и реостат принимает среднее положение, в котором сопротивления над ртутью с обеих сторон одинаковы. В это время мост находится в равновесии, и автоматическое устройство поддерживает неизменный нагрев печи. Когда же край кулачка приближается к оси, передающий механизм движется в обратную сторону и вызывает наклон реостата вправо. Теперь уже левое сопротивление, находящееся над ртутью, становится больше, чем правое, — равновесие моста нарушается в противоположном направлении и автоматическое устройство вызывает уменьшение нагревания печи. Это устройство отрегулировано так, что профиль кулачка, наклоны реостата, изменения равновесия моста и регулирование нагрева печи с большой точностью соответствуют заданной программе изменений температуры.

Зайдем снова в механический цех. В нем невольно привлекает внимание странная автоматическая машина. Что это за бумажная лента с большим числом пробитых в ней отверстий, которая движется в управляющем органе машины? Как ни странно, но с помощью такой, казалось бы слабой и ненадежной вещи, как полоса бумаги, можно управлять могучими машинами и огромными заводскими агрегатами. Они послушно выполняют сложную программу действий, записанную на бумажной ленте.

Рассмотрим получше эту необыкновенную ленту. В несколько рядов расположены вдоль нее небольшие вырезы различной длины и на разных расстояниях один от другого. Ими-то и записана вся сложная программа работы, заданная машине. Такая

лента называется перфорированной. Она движется через электрическое «читающее» устройство. Под лентой, под каждым рядом ее отверстий, расположены контакты электрических цепей. А сверху над ними закреплены контактные штифты.

Когда под штифтом проходит очередное отверстие ленты, контактный штифт через отверстие соприкасается с нижним контактом и замыкает соответствующую цепь, включающую или выключающую автоматический механизм.

Каждый ряд отверстий, идущий вдоль ленты, управляет тем или другим механизмом машины. Имеет значение как длина отверстий, так и промежутки между ними. Чем длиннее отверстие, тем большее время будут замкнуты контакты и дольше включен данный механизм. А чем больше промежутков на ленте до следующего отверстия, тем дольше механизм останется выключенным и пройдет больше времени до его следующего включения. Послушно повинаясь бумажной ленте, в нужной последовательности или одновременно, в точно заданные моменты подходят к изделию различные инструменты (резцы, сверла и пр.), производят свою работу, отходят в сторону, меняется скорость или направление движения частей машины и т. д.

КАК УПРАВЛЯЮТ МАШИНАМИ С БОЛЬШОГО РАССТОЯНИЯ

Еще Петр Великий мечтал о том, чтобы соединить каналом две могучие реки — Волгу и Дон. Но лишь по воле советских людей старая мечта стала былью — сооружена сложная система Волго-Донского судоходного канала им. Ленина. Это — гигантская «водяная лестница», каждой ступенью которой является шлюз. По ступеням этой лестницы большие, тяжело груженные суда с обеих сторон поднимаются до водораздела, затем опускаются и переходят таким образом из одной реки в другую. Шлюз представляет собой громадную железобетонную камеру высотой в многоэтажный дом. На обоих концах ее, для прохода судов, открываются, а затем плотно закрываются огромные стальные ворота. Мощные насосы быстро наполняют шлюзы водой, и вместе с уровнем воды в шлюзах на десятки метров поднимаются суда.

Ворота всех 13 шлюзов, насосные станции и другие сложные механизмы канала приводятся в действие из центрального пункта управления, расположенного в высокой башне (рис. 54). Отсюда, с пульта управления, диспетчер по проводам электрические приказы — сигналы, приводящие в действие электродвигатели шлюзовых ворот и насосов. Он поворачивает первый рычаг, посылает сигнал — и послушно открываются тяжелые нижние ворота первого шлюза, пропуская в него суда, плывущие из Волги; поворачивает второй рычаг управления, посылает

другой электрический приказ — и ворота за судами плотно закрываются; третий приказ — и начинают работать насосы, вода в шлюзе поднимается все выше; еще один сигнал — приказ — и насосы перестают нагнетать воду в заполненный шлюз, а перед судами открываются верхние ворота, и так далее.

На пульте центрального поста управления автоматически подаются сведения о состоянии всех шлюзов канала и сигналы об исполнении приказов. Перед глазами диспетчера, на наглядном плане канала, вспыхивают разноцветные электрические лампочки, по которым он ясно видит, как продвигаются суда по каналу, до какого уровня наполнен тот или другой шлюз, открыты или закрыты его ворота. Это помогает ему в нужной последовательности и в определенное время посылать очередные приказы.

На канале, соединяющем



Рис. 54. Управление шлюзом

Москву-реку с Волгой, все шлюзы и насосные станции управляются с еще большего расстояния в десятки километров (рис. 55). А бывают и такие объекты, например электростанции, которыми приходится управлять с расстояний в сотни километров. Это стало возможным только благодаря электричеству, которое помогло человеку победить расстояние.

В нашей стране по завету В. И. Ленина впервые в мире применяется подземная газификация угля. Вместо того чтобы вырубать уголь в глубоких забоях и извлекать его на поверхность, угольные пласты поджигают под землей. Из них при неполном сгорании образуется отличный горючий газ, который по трубам удобно передавать к местам потребления. Под землей создается громадный пожар. Но им нужно управлять. Понятно, что подойти к нему близко, спуститься в пылающую шахту нельзя. Поэтому подземным пожаром управляют издали, с поверхности земли, с помощью электрических приказов. Диспетчер посылает по проводам командные сигналы, и глубоко под землей открываются и закрываются заслонки и клапаны трубопроводов. От этого в те или другие места горящих угольных пластов подается больше или меньше воздуха или парокислородной смеси, регулирующих горение. А по другим трубам отводится наверх готовый газ.

На наших великих стройках работают гигантские землеройные машины — шагающие экскаваторы — гордость передовой советской техники. Огромный стальной ковш экскаватора вмещает 14 м³ вырытой земли, а 65-метровая стрела переносит ее далеко в сторону, в отвал. Машина похожа на большой дом, поворачивающийся в стороны и переходящий с места на место.

Всеми сложными механизмами и электрическими устройствами экскаватора-колосса управляет один человек — квалифицированный инженер, из высоко расположенной центральной рубки. Через ее стеклянные стены хорошо виден весь участок работы. Командир экскаватора сидит в удобном кресле и держит в руках рычаги электрического управления. Поворот рукоятки, и командоконтроллер посылает приказ, включающий электродвигатель тяговой лебедки. Прочные стальные канаты толщиной в руку тянут огромный ковш, и он с большой силой врывается в землю. За 15 сек. ковш пропахивает огромную 12-метровую борозду, вынимая по 1 м³/сек.

Но как только ковш наполняется землей, машинист переводит рукоятку в другое положение, и командоаппарат посылает новый электрический приказ двигателю подъемной лебедки. Ее барабан начинает вращаться, наматывая канат подъема, и подвешенный на нем тяжелый наполненный ковш быстро поднимается вверх. Нажимая ногой педаль, машинист посылает приказ, включающий электродвигатель поворотного механизма. При этом стрела быстро поворачивается в сторону, и ковш описывает большую дугу, неся землю к месту выгрузки (отвалу).

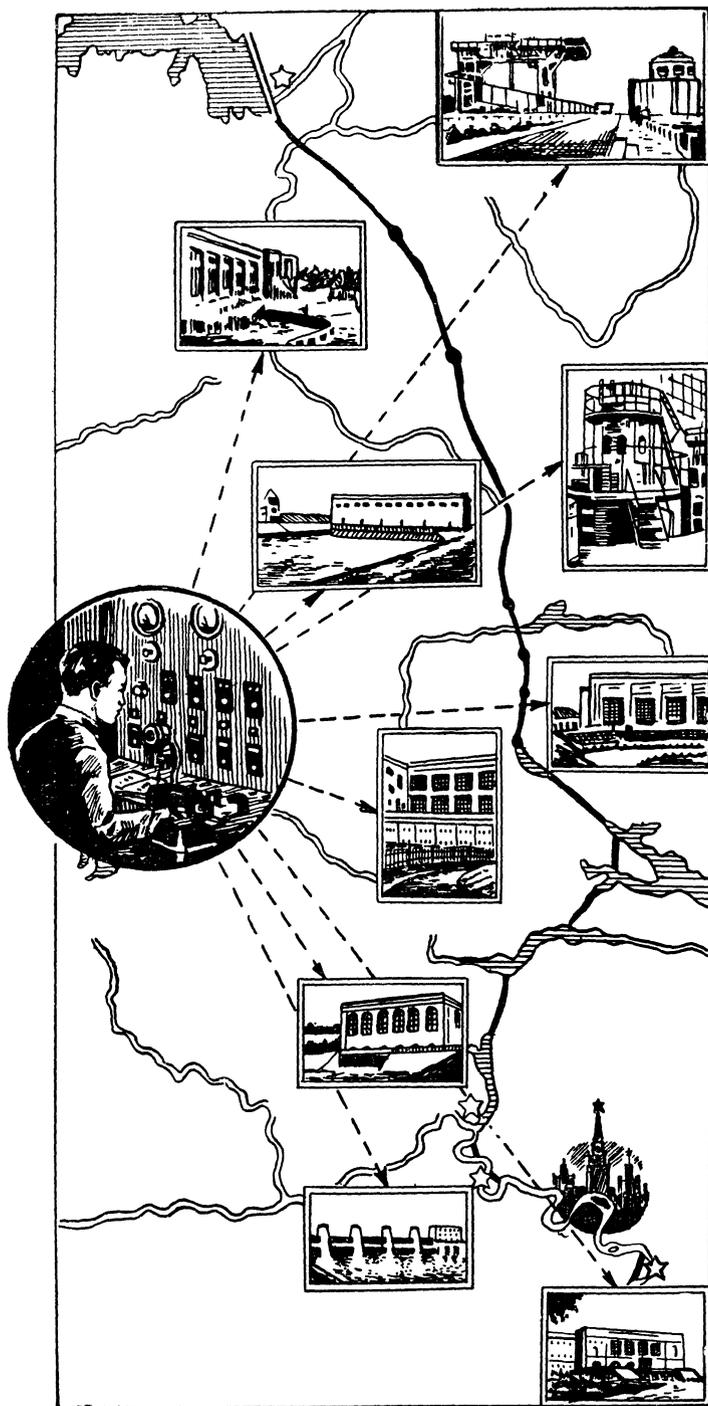


Рис. 55. Централизованное управление каналом Москва—Волга

Для передвижения всего экскаватора посылаются электрические приказы мощным масляным насосам, поднимающим и опускающим огромные 16-метровые стальные лыжи шагающего устройства. По телефону машинист держит связь со всем обслуживающим персоналом.

Управление на расстоянии, или телемеханика, — родная сестра автоматики. В цехах, на электростанциях, железных дорогах, боевых кораблях работают многочисленные автоматические

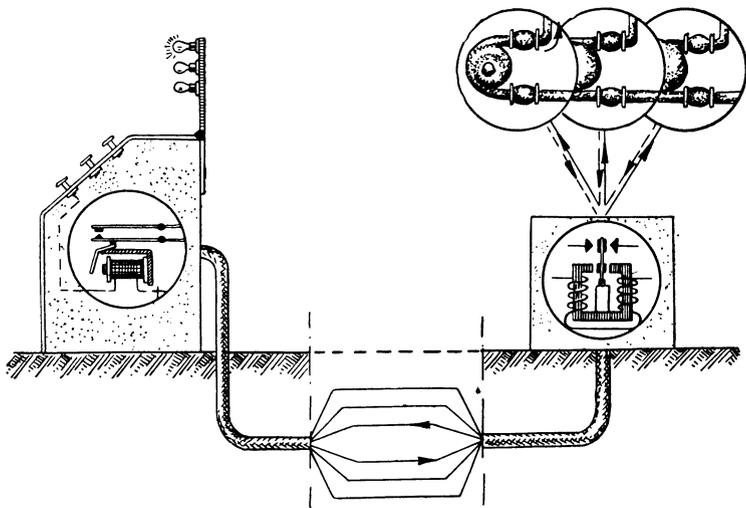


Рис. 56. Управление и контроль с большого расстояния

устройства. Но высшее, объединяющее управление остается за человеком. С центрального поста он контролирует и электрическими приказами направляет работу всего сложного целого (рис. 56).

Вот огромная доменная печь, выплавляющая в сутки более 1500 т чугуна. Новые советские домы автоматизированы и оснащены разнообразным сложным оборудованием. Управление же всей работой печи производится с центрального поста, расположенного на некотором расстоянии. Стрелки измерительных приборов и сигнальные лампы дают возможность все время видеть, что происходит внутри печи. Один из приборов показывает, как из верхней части в нижнюю опускается засыпанная в печь шихта (руда, уголь и флюс). Опускается ли она равномерно или где-нибудь застыла? В последнем случае раздается тревожный гудок, и на щите управления вспыхивает мигающая красная лампочка. Требуется немедленное вмешательство человека. Правда, умные автоматические устройства и сами быстро примутся за устранение каждой неполадки. Но в

более сложных и ответственных случаях им помогает человек, причем делает это с центрального поста управления электрическими приказами.

Очень важно точно регулировать температуру дутья — воздуха, вдуваемого в печь для горения угля. Еще недавно процесс дутья с большим трудом регулировали люди. Теперь же их заменили приборы-автоматы, а человек, наблюдая за ними, управляет всем производственным процессом. Производительность печей от этого намного повысилась.

Ярко сияют огни большой электростанции. В ее машинном зале выстроились в ряд огромные генераторы, производящие электроэнергию и приводимые в движение паровыми или водяными турбинами. Мощные трансформаторы повышают напряжение полученного тока, чтобы передать его на десятки и сотни километров. Огромные масляные выключатели соединяют и разъединяют части сложной электрической системы станции. На современной электростанции работают сотни различных приборов и аппаратов. И управление всем этим сложнейшим «хозяйством» производится из одного места, с центрального поста, одним человеком.

Сюда, в этот «мозг» электростанции, ведут линии управления от всех турбин, генераторов, трансформаторов, выключателей и множества других устройств. На панели перед глазами дежурного инженера наглядная схема всей станции — мнемоническая схема. Различными знаками изображены на ней машины и аппараты-генераторы в виде цветных кружков, выключатели в виде квадратов, шины и фидеры, по которым идет ток, в виде сложно соединяющихся линий. Стрелки на циферблатах приборов показывают скорости, напряжение, ток, мощность и другие измеряемые величины в различных агрегатах станции. Белые, зеленые, красные сигнальные лампы, вспыхивая на схеме, говорят о нормальной работе или предупреждают о неполадках в различных участках станции.

Зорко следит за всеми приборами и сигналами дежурный инженер, управляющий работой всего сложного оборудования. Поворачивая рычаги и нажимая кнопки на пульте управления, он пускает или останавливает гигантские турбины и генераторы, регулирует их скорость, напряжение, частоту, делает нужные переключения в схеме станции, отключает аварийные участки или вводит дополнительные мощности.

Советские электростанции все более автоматизируются. Автоматические устройства регулируют работу машин и аппаратов, устраняют неполадки и предотвращают аварии гораздо лучше, быстрее и надежнее, чем это доступно человеку. Но управление всей электростанцией и здесь остается за человеком.

Успехи автоматики позволили вынести управление гидроэлектростанциями на большое расстояние — подчас на десятки и сотни километров. Работа такой станции во многом автомати-

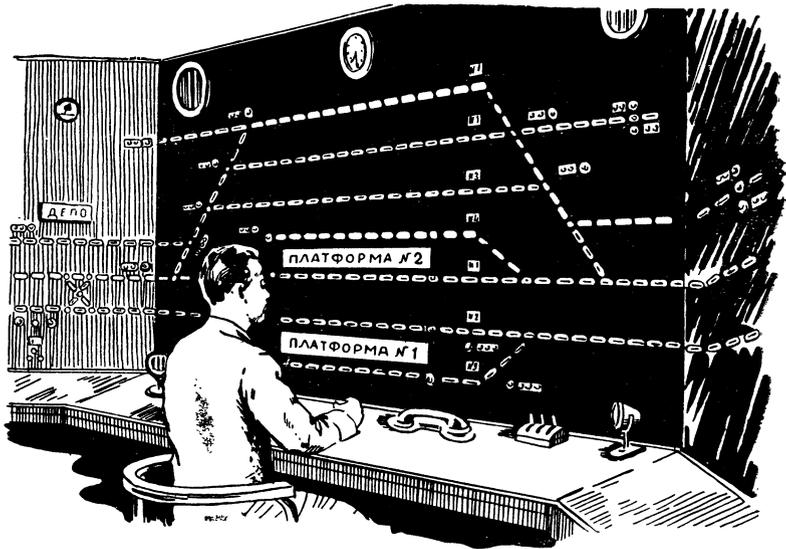


Рис. 57. Наглядный контроль на железной дороге

зирована, и в обычное время на ее двери снаружи висит замок — значит на станции нет ни одного человека. Персонал приходит лишь время от времени для осмотра оборудования и ремонта. А все текущее управление и контроль за работой ведется с другой электростанции или даже с центрального диспетчерского пункта, управляющего несколькими электростанциями и целой энергосистемой. Туда поступают показания контрольных приборов, а из центрального диспетчерского пункта, по проводам, подаются электрические приказы. Диспетчер, когда нужно, пускает в ход и останавливает станции в целом или отдельные их агрегаты, регулирует снабжение энергией городов и заводов, делает переключения в передающей и распределяющей сети, согласует работу различных станций. В нашей стране по решениям партии и правительства осуществляется все большая автоматизация электростанций и управление ими на расстоянии.

Перед глазами диспетчера схема всей системы станций и соединяющих их линий электропередачи. Он нажимает кнопку и на далекой гидростанции поднимаются щиты, пропуская воду к турбинам, раскрываются лопасти направляющих аппаратов, готовятся к работе генераторы и трансформаторы. На схеме вспыхивает лампочка, говорящая, что, «приказ принят», а еще через несколько минут другая лампочка сообщает о том, что станция уже работает полным ходом. Автоматический пуск происходит во много раз быстрее, чем при ручном управлении.

Управляя на расстоянии, надо все время хорошо знать о том,

что делается на управляемом объекте. На большой железнодорожной станции диспетчер управляет движением поездов по многочисленным станционным путям. Он на расстоянии переводит стрелки и управляет сложной сигнализацией. Перед ним на панели наглядная схема всей станции, всех ее путей (рис. 57). Светящиеся сигналы ясно показывают положение стрелок, соединяющих пути, места, где на путях находятся сейчас поезда и как они по ним движутся. Небольшие лампочки повторяют сигналы светофоров: зеленые, желтые, красные. На такой мнемонической схеме диспетчер видит, какие пути свободны, а какие заняты, куда можно, а куда нельзя принять приближающийся поезд. И в соответствии с этим он посылает электрические приказы, переводящие стрелки и зажигающие сигналы, нужные для того, чтобы принять поезд.

Контроль на расстоянии начинает осуществляться новым интересным способом — говорящими автоматами. Диспетчер по телефону соединяется с нужным объектом и слышит голос автомата, рапортующий ему о том, каково напряжение на шинах электростанции или сколь высок уровень воды перед плотиной, сколько электроэнергии выработал тот или другой генератор и т. д. Звуковые записи этих сообщений были заранее приготовлены на лентах. А автомат выбирает и подключает к телефону ту из них, которая соответствует данным измерительных приборов.

ЯЗЫК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИКАЗОВ

Как же производится управление на расстоянии. И каковы те электрические приказы, которыми можно издали приводить в действие механизмы и управлять их работой?

Задача решается сравнительно проще, если механизмы, которыми надо управлять, находятся недалеко: в том же цехе или на той же электростанции. К каждому из них можно подвести свой отдельный провод и посылать по нему электрические сигналы — приказы. Вот несколько упрощенная схема такого дистанционного управления (рис. 58). С распорядительного поста с помощью выключателей $B1$, $B2$ и т. д. пускают в ход или останавливают управляемые объекты ($УО1$, $УО2$ и др.). Выключатели замыкают отдельные управляющие цепи этих объектов. Для каждого из них нужна своя линия связи. Правда, обратный провод можно делать общим для всех.

Чем больше управляемых объектов, тем больше приходится проводить проводов линий связи. При дистанционном управлении на небольших расстояниях с этим можно мириться. Но при больших расстояниях приходится затрачивать очень много проводов, и управление становится слишком сложным, неудобным и дорогим. Поэтому перед изобретателями встала задача: как по возможности уменьшить число линий связи и в то же время

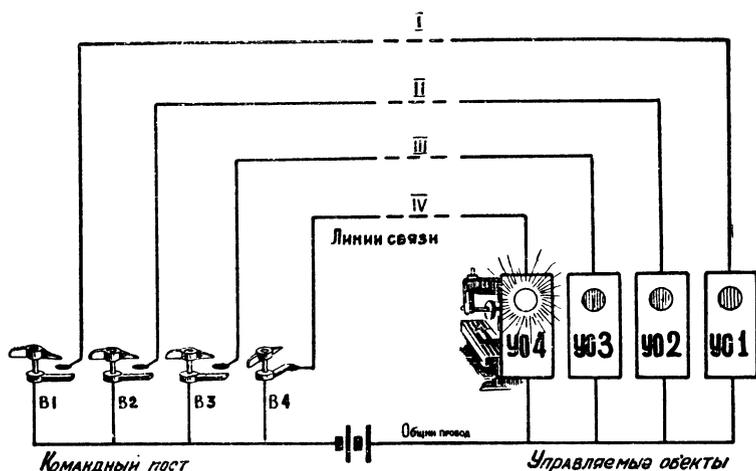


Рис. 58. Управление по нескольким линиям

передавать по ним больше различных приказов. Были созданы разные интересные способы и системы управления на расстоянии (телемеханики).

Знаете ли вы, как передаются телеграммы по телеграфной азбуке Морзе? Каждая буква в слове передается условными знаками: сочетанием очень коротких электрических токов — точек и несколько более продолжительных токов — тире. Например, две точки (..) означают букву «п»; точка, тире и точка (.—) — «р»; две точки, тире и точка (..—) — «ф» и т. д.

В телемеханике тоже употребляются различные условные сигналы для тех или других электрических приказов. В одной из телемеханических систем используется различная длительность посылаемых токов. Управляя, например, насосной станцией канала, чтобы пустить в ход первый водяной насос, посылают ток продолжительностью 0,05 сек. Чтобы открыть задвижку трубопровода, посылается ток, длящийся одну десятую секунды — вдвое дольше предыдущего. Ток — приказ для пуска второго насоса — длится еще в 5 раз дольше — пять десятых секунды и т. д. На командном посту есть аппарат, который автоматический и очень точно отмеряет длительности посылаемых сигналов и промежутков между ними. Это реле замедленного действия или даже система из нескольких таких реле, которые замыкают и размыкают свои контакты на определенный, отрегулированный промежуток времени. Диспетчер лишь нажимает ту или другую кнопку, а реле сами посылают в линию нужные приказы — более короткие или продолжительные импульсы тока. На исполнительном же посту находится избиратель команд, который в зависимости от длительности полученного сигнала,

посылает его в цепь управляемого механизма — первого или второго насоса, заслонок трубопровода и др.

Различную продолжительность токов-сигналов можно использовать и для измерений на расстоянии. В этом случае большая или меньшая продолжительность тока будет соответствовать измеряемой величине. При повороте стрелки измерительного прибора на 15° в линию связи посылается ток, длящийся одну секунду. Если же на посту управления получен ток продолжительностью 2 сек., значит, стрелка далекого измеряющего прибора повернулась на 30° , и высота уровня воды перед плотиной электростанции изменилась в два раза больше.

«Электрический язык» телемеханики очень богат и разнообразен. В нем используются разные свойства постоянного и переменного токов: в одних системах — число посылаемых импульсов, в других — их неодинаковая продолжительность, в третьих — направление постоянного тока, в четвертых — частота переменного тока (большее или меньшее число периодов в секунду), в пятых — большая или меньшая амплитуда колебаний переменного тока и др. Применяются и более сложные комбинации различных электрических свойств посылаемых сигналов, от чего язык телемеханики становится еще богаче.

Во всех этих системах на управляющем посту работает устройство, которое как бы зашифровывает электрические приказы. На исполнительном же посту другие сложные автоматические устройства расшифровывают их и распределяют между управляемыми механизмами, замыкают цепь нужного объекта и направляют в нее приказ. На обоих постах работают нередко сложные системы реле.

Рассмотрим, например, действие таких систем, в которых используется то или другое направление постоянного тока. Ток в одном направлении означает один приказ, скажем пуск первого электродвигателя, а ток в противоположном направлении — другой приказ — пуск второго двигателя. Вот простейшая схема такого устройства (рис. 59). Рассмотрите сперва, что происходит на его распорядительном посту *РП*? Рычаг управления *Р* может замыкать контакты *К1* или *К2*. Важно, как сделано подключение положительного и отрицательного полюсов питающих батарей *Б1* и *Б2*. При правом положении рычага линия через контакт *К1* присоединяется к положительному полюсу батареи *Б1*, и ток в линии идет в направлении, показанном сплошными стрелками. Но вот рычаг управления переведен в левое положение. Теперь линия через контакт *К2* соединяется с отрицательным полюсом батареи *Б2*. Поэтому ток на исполнительный пост *ИП* посылается в противоположном направлении, показанном пунктирными стрелками.

Что же происходит на далеком исполнительном посту? Как исполнительные реле управляемых механизмов *ИР1* и *ИР2* выйдут относящиеся к ним приказы — ток того или другого

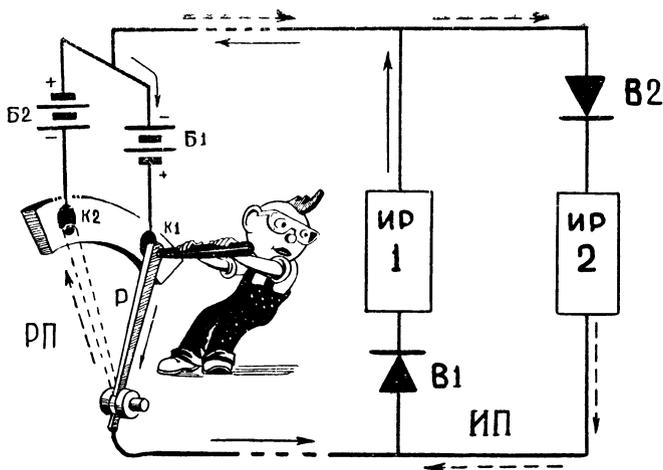


Рис. 59. Управление постоянным током разного направления

направления? В параллельных ветвях цепи, в которые включены эти реле, поставлены электрические вентили $V1$ и $V2$ — приборы, пропускающие ток лишь в одном направлении и не пропускающие его в другом противоположном направлении. Эти направления показаны на схеме острием зачерненного треугольника. Поэтому ток — приказ одного направления — идет лишь в реле первого механизма $ИР1$ и включает его. А приказ, посланный током другого направления, попадает лишь в реле второго механизма $ИР2$ и воздействует на него.

А вот более сложная система выбора и распределения приказов на исполнительном посту (рис. 60). Она тоже основана на посылке сигналов постоянного тока различного направления. С помощью этого простого принципа можно управлять не двумя, а многими, например восемью, различными объектами. Здесь применяются особые поляризованные реле, которые в зависимости от направления постоянного тока замыкают ту или другую из двух электрических цепей. Подробнее с действием таких реле мы познакомимся в главе «Необыкновенные электромагниты».

С командного поста на исполнительный по одной и той же линии связи посылаются три сигнала — один за другим. Каждый из них имеет то или другое направление тока. Первый сигнал действует на первое поляризованное реле $ПР1$. В зависимости от направления тока оно перебрасывает свой якорь вправо или влево и замыкает правую или левую из идущих от него цепей. Второй сигнал проходит по цепи дальше и действует на одно из двух поляризованных реле $ПР2$, которое производит

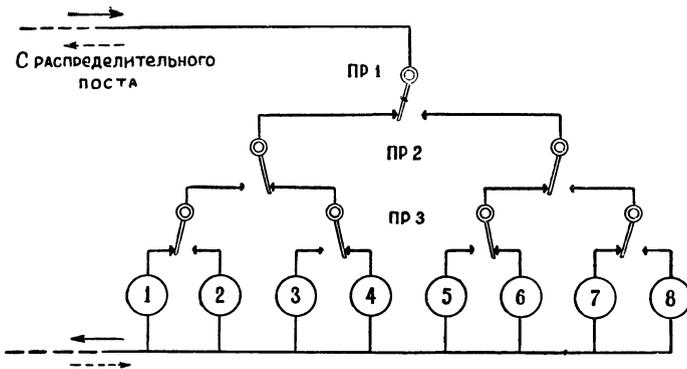


Рис. 60. Управление несколькими объектами с помощью токов разного направления
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 — механизмы

дальнейшее переключение цепей, замыкая правую или левую ветвь в зависимости от направления тока второго сигнала. Третий сигнал проходит по проложенному пути еще дальше и действует на одно из четырех поляризованных реле *ПРЗ*. В зависимости от направления тока этого сигнала сработавшее реле производит последнее переключение в цепи управления: замыкает идущую от него правую или левую ветвь и, наконец, доводит приказ до исполнительного реле нужного объекта. Получается целая пирамида из нескольких ступеней реле, действующих одно за другим.

Пусть надо, например, послать приказ механизму 4. Первый сигнал дается током прямого направления, и реле *ПР1* включает при этом левую ветвь дальнейшей цепи. Второй приказ посылается током обратного направления, и левое реле *ПР2* направляет его в свою правую ветвь. Третий сигнал дается током того же обратного направления, и реле *ПР3*, в которое он попадет, направляет его дальше по своей правой ветви. В результате управляющему сигналу прокладывается путь к нужному исполнительному реле четвертого механизма. Если же надо послать приказ механизму 6, то первый сигнал дается током обратного направления, второй — прямого, а третий — обратного. Подумайте и разберитесь сами, каково должно быть направление тока первого, второго и третьего сигналов, чтобы распределительное устройство направило приказ в 1, 2, 3, 5, 7 или 8 механизмы.

В системах телемеханики, работающих на переменном токе, удобно использовать различную частоту тока — число его периодов в секунду. Приказы, предназначенные для разных объектов, посылаются по одной и той же линии связи в виде переменных токов различной частоты. На управляемом объекте, например

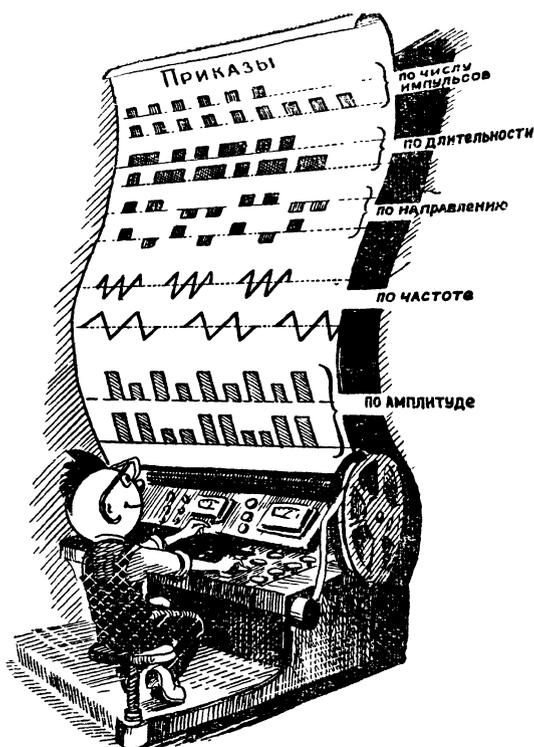


Рис. 61. Разные системы управляющих приказов

ветви каждого из них находится фильтр, пропускающий сигнал лишь определенной нужной частоты и задерживающий сигналы всех других частот. Поступает, например, ток с частотой 10 тыс. *пер/сек*. Его пропустит лишь фильтр в ветви, пускающей в ход двигатель первого насоса, — и приказ этот будет выполнен. А фильтры в ветвях всех других насосов его не пропустят. Зато сигнал с частотой 20 тыс. *пер/сек* пройдет только через фильтр в ветви третьего насоса.

В более сложных системах телемеханики применяются целые коды сигналов, в которых каждый сигнал состоит из нескольких импульсов различного свойства и представляет своего рода зашифрованную телеграмму. Рассмотрите их на рис. 61. Первые два кода различаются по числу импульсов тока, вторые два — по их длительности, третьи — по направлению, четвертые — по частоте, пятые — по амплитуде. Каждый код посылается определенному объекту и имеет свое значение. Коды зашифровываются на посту управления, а на исполнительном посту расшифровываются и распределяются по управляемым объектам.

на насосной станции канала, приказ для пуска первого насоса может подаваться током частотой 10 тыс. *пер/сек*, приказ для пуска второго насоса — 15 тыс. *пер/сек* и т. д. Современные электротехнические и радиотехнические аппараты дают возможность производить переменные токи различной нужной частоты и посылать их с распорядительного поста в виде условных сигналов-приказов.

А на исполнительном посту работают другие приборы — электрические фильтры, которые рассортировывают полученные сигналы по их различной частоте и направляют к нужным объектам. Линия разветвляется здесь к различным управляемым механизмам, и в

И здесь применяются сочетания из нескольких, подчас даже из многих реле, соединенных между собой по сложным схемам. На посту управления эти реле, вступая в действие одно за другим, набирают и посылают в линию целые наборы сигналов из импульсов различной продолжительности, направления и пр. При нажатии одного ключа посылается, например, сигнал $++--$, а при нажатии другого посылается сигнал $+--+$. А на исполнительном посту система реле расшифровывает эти сигналы и направляет приказы соответствующим объектам. Контакты этих реле, замыкаясь между собой в сложные комбинации, создают различные ветви цепи, по которым сигналы достигают нужных объектов, как мы это видели, например, в пирамиде из поляризованных реле.

Есть еще одна своеобразная система телемеханики (рис. 62). В ней на посту управления и на исполнительном посту находятся два круглых распределителя, по контактам которых вращаются контактные планки $KУ$ и $KИ$. Вращаются эти планки синхронно и синфазно, т. е. обе с точно одинаковой скоростью, и поворачиваются на один и тот же угол, что обеспечивается специальным дополнительным устройством. К контактам распределителя на командном посту подведены цепи от выключателей управления $P1, P2, P3, P4$ и др. А от распределителя на исполнительном посту отходят цепи к реле, управляющим соответствующими объектами $1, 2, 3, 4$ и т. д.

Пусть контакт на планке $KУ$ на посту управления повернется настолько, что замкнет цепь первого выключателя $P1$. Планка $KИ$ на исполнительном посту повернется на такой же угол и замкнет цепь реле первого управляемого объекта 1 . На некоторое короткое время образуется сплошная непрерывная цепь от выключателя $P1$ через общую линию связи к управляемому объекту. И если в это время замкнут выключатель $P1$, приказ беспрепятственно дойдет до объекта 1 и включит его. Когда контактные планки $KУ$ и $KИ$ повернутся еще на некоторый угол, они подойдут к контактам следующей цепи, и такая же сплош-

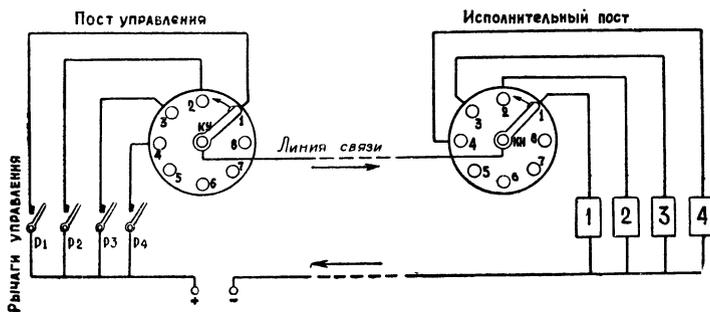


Рис. 62. Управление с помощью вращающихся распределителей

ная цепь управления образуется от выключателя $P2$ до управляемого объекта 2. В это время ему может быть послан электрический приказ. Так вращающиеся контактные планки по очереди образуют сплошные управляющие цепи от выключателей $P1, P2, P3, P4$ и др. к соответствующим управляемым объектам 1, 2, 3, 4 и др. И хотя линией связи служит один и тот же провод, он поочередно становится частью различных управляющих цепей. Конечно, управляющий сигнал будет передан лишь в том случае, если при образовании сплошной линии связи повернуть соответствующий выключатель и этим замкнуть нужную цепь. Повернуть выключатель можно и раньше, но цепь замкнется и ток пойдет лишь тогда, когда обе части нужной цепи соединятся через контактные планки и линию связи. При этом посланный сигнал может привести в действие только свой объект, а не другие, так как ток даже не попадет в них.

Однако в ответственных случаях стоит позаботиться о еще большей безошибочности управления и, чтобы лучше гарантировать его правильность, посылать разным объектам неодинаковые электрические приказы, скажем, токи, различные по длительности или по другим свойствам.





ГЛАВА IV

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО НАГРЕВАЕТ

ПЕЧИ БЕЗ ТОПЛИВА И БЕЗ ОГНЯ

Домашняя хозяйка приготовила продукты для обеда, положила их в кастрюлю, поставила ее в шкаф кухонной электрической печи, включила ток и... спокойно занялась другими делами. Но перед этим она установила регуляторы температуры и времени. Хозяйка может быть уверена в том, что электричество нагреет кастрюлю до нужной температуры; нагревание продлится ровно столько времени, сколько требуется, чтобы обед был хорошо сварен. И тогда звонок сигнализирует ей, что обед готов, ток в печи будет автоматически выключен и нагревание прекратится. Можно «заказать» автоматической кухне и такую «программу», чтобы через определенное время, когда обед будет сварен, сильное нагревание сменилось более слабым, и готовое кушанье на тихом «электрическом огне» оставалось горячим до возвращения всей семьи с работы.

На многих производствах отлично работают электрические печи и другие нагревательные аппараты разнообразного устройства и назначения. Зайдем на фабрику-кухню. Кругом различные плиты, шкафы, котлы для варки и жарения тех или других блюд. И все они нагреваются электричеством. Вот жарочные плиты разной формы большие и маленькие; электрические кастрюли, сковороды, фритюрницы для жарения в масле пирожков, специальные сосисоварки, яйцеварки; вот особые шкафы для варки овощей на пару, грили для поджаривания мяса не снизу, а сверху (чтобы оно не подгорало и не воспламенился жир), кондитерские печи. Вот автоклавы — плотно закрытые котлы для выварки бульона из костей при высоком давлении и температуре. И всюду точно поддерживается определенная температура, нужная для приготовления того или иного блюда.

Отправимся теперь в термический цех машиностроительного завода и посмотрим, как закаляется сталь. И здесь наилучшее качество и наибольшую производительность имеют электрические печи. Конечно, температура в них куда выше, чем в печах для приготовления пищи. Стальные изделия сперва закаляют, чтобы сделать их прочными и твердыми, — нагревают до 750—850° и быстро охлаждают, а затем отпускают при температуре 300—400°, чтобы они стали менее хрупкими. В термическом цехе можно увидеть закалочные электропечи разнообразных конструкций. Вот, например, печи-ванны (рис. 63). Детали погружаются в них в расплавленные соли или даже в жидкий свинец. Электрические нагревательные элементы находятся в стенках и под дном ванны и поддерживают в ней температуру до 900°.

Одно из ценных качеств электрического нагрева состоит в том, что он дает возможность легко поддерживать определенную температуру. Ведь если для закалки данного сорта стали нужна температура 800°, то перегрев до 820° или недогрев до 780° может испортить партию дорогих изделий. Другое замечательное свойство электронагрева — его идеальная чистота. В электрической печи нет топочных газов, нет дыма, которые в обыкновенных топливных печах загрязняют продукт. Эту чистоту электрического нагревания ценят как повара на фабриках-кухнях, так и машиностроители в термических цехах или химиках на химических заводах.

На заводе, где делают галоши, с помощью электрического нагрева производят вулканизацию резины, добавляя к ней серу и другие примеси, нагревают сырую липкую массу и прокатывают из нее прочные резиновые листы. А затем в особых прессах тоже с помощью электрического нагрева формуют детали галош, соединяют их, прикрепляют подошвы... Как видите, электрический нагрев — мастер на все руки.

Побываем и на колхозной ферме — электронагрев проникает и сюда. Было бы только побольше дешевой электроэнергии!

Что это за странный шкаф? Заглянем в его смотровое окно: на мягкой подстилке лежит только что родившийся теленок, он весь еще мокрый и его надо осторожно обсушить. Это делает

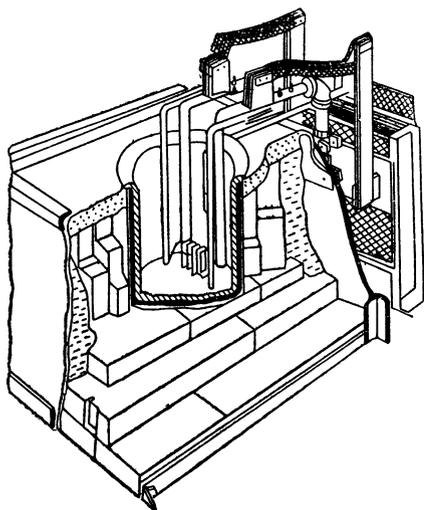


Рис. 63. Печь-ванна для закалки стальных изделий

специальный аппарат, в котором электрические нагреватели поддерживают температуру, наилучшую для нежных, только что родившихся живых существ.

Рядом на птицеферме работает инкубатор. В нем из яиц выводятся сотни и тысячи цыплят. И в этой «электрической насадке» с большой точностью поддерживается определенная температура (около 38°), наиболее благоприятная для развития зародышей в яйцах. А специальный механизм время от времени переворачивает яйца, чтобы они равномернее прогревались со всех сторон. Но вылупившиеся птенцы бывают еще очень слабы, и после инкубатора их отправляют под особый широкий зонт, где сильные электрические лампы дают им живительное тепло и свет.

Электрические печи и нагреватели бывают очень разнообразны и подчас оригинальны по своему устройству и действию. Например, своеобразный прибор для подогревания воды надевается прямо на водопроводный кран и, так сказать, на ходу нагревает струю воды, протекающую через его спираль. В поставленное под кран ведро льется горячая вода. Можно надеть этот нагреватель и на душ в ванне.

Пройдем еще раз по заводским цехам. Вот длинные печитуннели (рис. 64). Длина их достигает порой нескольких десятков метров. Изделия медленно движутся вдоль этого туннеля. В начале печи они постепенно нагреваются до нужной температуры; потом в средней части выдерживаются при ней в течение заданного времени; и, наконец, в последней части печи постепенно охлаждаются. Для этого в разных частях туннеля поддерживается более или менее высокая температура. Регулируется и скорость, с которой изделия движутся по туннелю.

Но какими способами вводятся изделия в печь, движутся вдоль нее и выходят наружу? Понятно, что люди внутри печи работать не могут и для движения нагреваемых изделий надо было создать специальные механизмы и приспособления.

Таковыми приспособлениями во многих случаях служат толкатели — стержни с головкой на конце, которые вталкивают в печь

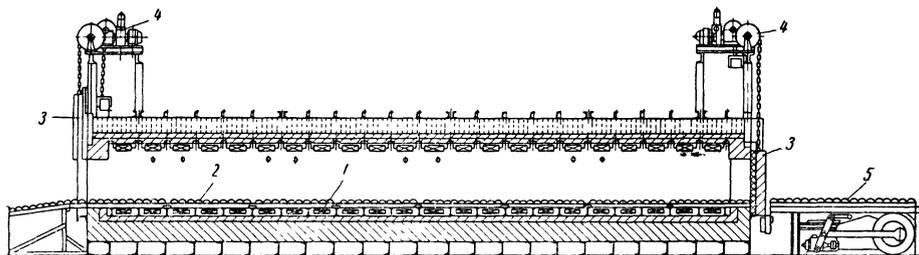


Рис. 64. Печь-туннель с конвейером:

1 — нагревательные элементы, 2 — роликовый под, 3 — дверцы, 4 — механизм для подъема дверцы, 5 — механизм толкателя

изделия или груженые ими вагонетки. В длинных туннельных печах вдоль всего пода устраивают рельсовый путь, дорогу из роликов или просто желобы, по которым изделия движутся на листах или тележках. Через определенные промежутки времени толкатель вдвигает в печь новые изделия, те передают толчок следующим и т. д., до последнего изделия, которое выходит из печи на другом разгрузочном конце.

Мы встретим и конвейерные печи, через которые изделия проходят на медленно движущихся цепях, металлических лентах или по подвесной рельсовой дороге. Одна за другой движутся вдоль печи закаливаемые стальные детали или выпекаемые кондитерские изделия.

Однако часто бывает удобнее, чтобы изделия двигались не вдоль длинной печи-туннеля, а по кругу. Перед нами еще один интересный тип электрических печей — вращающиеся печи-карусели. Их можно встретить на хлебозаводе. Приготовленные куски сырого теста подаются транспортером и один за другим автоматически загружаются на медленно вращающийся под печи, сделанный в виде круглого стола. Его скорость и время оборота строго рассчитаны: за один полный оборот пода хлеб выходит хорошо выпеченным — не перепеченным, но и не сыроватым. Пройдя свой круговой путь, готовые румяные булки одна за другой сами выгружаются на принимающий их транспортер. Печи-карусели бывают разными. В одних из них вращается нижняя часть — под печи или кольцеобразный стол, на котором устанавливаются изделия; верхняя же часть печи остается неподвижной. В других, наоборот, вращается верхняя часть — свод печи, к которому подвешиваются нагреваемые изделия. Подвижная часть вращается на роликах, катящихся по кольцевому рельсу. Изделия загружаются и выгружаются через специальные окна в боковой стенке.

А вот своеобразная барабанная печь — в ней вращается горизонтально лежащий барабан, а мелкие изделия проталкиваются вдоль него широким винтом — шнеком, подобно мясу в мясорубке.

Внутри электрической печи, если это необходимо, можно создать искусственную атмосферу с нужным составом газов. Обработка в такой печи производится не только с помощью электротехники и теплотехники, но и химии, так как важно, чтобы нагреваемые изделия подвергались нужному химическому влиянию окружающих горячих газов или, наоборот, не оказались под их вредным воздействием.

Металлические изделия необходимо защищать от окисления, от образования на их поверхности вредной окалины. Для этого в камере печи создается атмосфера из газов, не содержащих кислорода. Машиностроители одновременно с тепловой обработкой производят химическое изменение поверхностного слоя металлов — цементацию или азотирование, для чего внутри печи

нужна специальная атмосфера из азота или других газов, содержащих действующие вещества.

Вы, вероятно, видели, как в парикмахерских сушат вымытые волосы. Электрофен подает струю теплого и сухого воздуха — электрического ветра, быстро испаряющего воду. Действие электрического нагревателя сочетается здесь с работой вентилятора, вращаемого электродвигателем. Этот принцип применяется и на производстве, в сушильных печах, например для сушки искусственной кожи, изделий, покрытых лаком или масляной краской, и т. д. Вентилятор с электронагревателем обдувает их теплым, сухим воздухом.

Механизаторы сельского хозяйства тоже нашли применение этого принципа для сушки стогов смоченного дождем сена (рис. 65). Струя нагретого воздуха от вентилятора и нагревателя подводится по трубе снизу в самую середину стога и быстро подсушивает его. Благодаря этому скот получает вкусный душистый корм.

Бывают и передвижные нагревательные устройства — печи на колесах. Так в авиации применяются электроводогрейки и маслогрейки для заправки самолетов подогретой водой и маслом. Они особенно нужны зимой при низкой температуре воздуха или в холодных странах. Резервуар с электрическим нагревателем установлен на тележке и легко и быстро подкатывается к самолету.

Передвижные воздуходувки на колесах подают теплую струю воздуха. Железнодорожники применяют их для оттаивания стрелок; электрики — для просушки обмоток трансформаторов, электродвигателей. Но существуют и большие, многотонные электрические печи на колесах, с которыми мы встретимся немного позже.

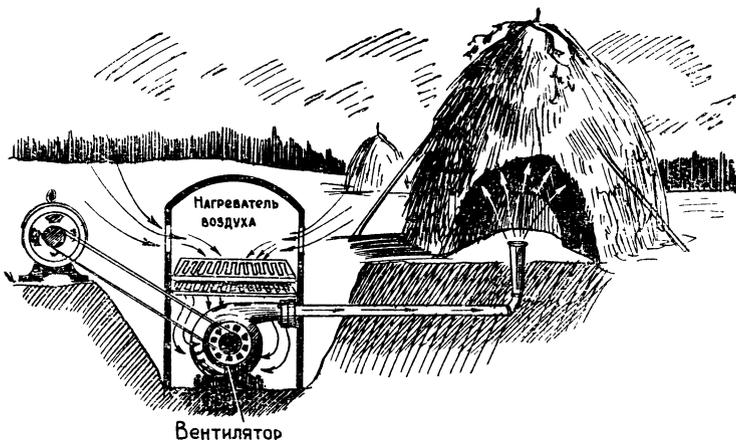


Рис. 65. Как просушить стог сена?

КАК ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ВСЕ ГЛУБЖЕ ПРОНИКАЕТ В ПРОИЗВОДСТВО

Самолет летит в зимнюю стужу или над ледяными просторами Арктики. Вот он влетел в большое облако — кругом холодный и насыщенный влагой воздух. На фюзеляже, на крыльях, особенно на их передней кромке образуется корка льда. Она становится все толще. Крылатая машина стала гораздо тяжелее; ей грозит авария...

Но электротехника нашла надежный способ борьбы с обледенением самолетов. На поверхности передней части крыльев наносится тонкий слой графита толщиной в десятую долю миллиметра. Такой слой графита проводит ток, однако оказывает ему значительное сопротивление и от этого выделяется тепло — получается своеобразный электрический нагреватель. Ток подводится через медные пластинки, проложенные по краю графитового слоя; а от металлического крыла этот слой отделен изолирующей подкладкой. Поверхность крыла нагревается, и это избавляет ее от образования ледяной корки. Самолет безопасно летит через холодные облака.

Заглянем в кабину самолета. На большой высоте очень холодно, и летчик одет в одежду из какой-то странной ткани. Кроме шерстяной или другой обычной пряжи в нее вплетены тонкие металлические проволоочки. По ним пропускается электрический ток, и внутри самой ткани выделяется тепло. Это, пожалуй, первая в истории одежды ткань, которая действительно греет! (Ведь шуба или свитер в сущности не «греют», а только препятствуют потере вашего собственного тепла.) Кто знает, может быть, одежда из такой электротермоткани окажет не малую услугу будущим путешественникам на Луну и другие планеты.

Мы убеждаемся здесь еще в одном ценном свойстве электрического нагрева: его можно производить точно в нужном месте печи или нагреваемого предмета. В обычных печах этого сделать нельзя — пламя или горячие газы нагревают все изделие и даже всю печь. Ток же можно подвести в любое место и именно в нем создать тепло. Электронагрев широко используется непосредственно в самих производственных процессах.

Мы в литейном цехе. Как важно в нем облегчить и ускорить тяжелую работу формовщика, изготовляющего земляные формы для отливок! Электронагрев помогает ему быстрее и лучше сушить формы, причем ток нагревает только определенные места сложной формы там, где особенно важно просушить ее. В эти места закладываются проволоочные спирали, обмазанные глиной, к ним подводится ток, и именно здесь выделяется тепло. При этом форма нагреваемых спиралей и их расположение соответствуют особенностям будущей отливки. Электричество

нагревает литейные стержни или шишки, изготовление которых в особенности затрудняет формовщика. Такая сушка форм происходит быстрее; земля не прилипает к модели, и качество литья значительно повышается.

Электрический нагрев проникает и внутрь машины. Вот, например, пресс-формы, в которых изготовляют изделия из пластмасс (рис. 66). Пластмасы — это новый материал, созданный химией. Они обладают многими ценными свойствами и находят все более разнообразное применение в современной технике. Из них штампуют разнообразные предметы сложной формы. Для этого пластмассу нагревают, делают мягкой, податливой и пластичной. Электрические нагревательные элементы *НЭ* встраиваются внутрь самой пресс-формы как в ее верхнюю часть (пуансон), так и в нижнюю (матрицу). Они закладываются в прорезанные пазы или каналы. Поэтому пресс-форма нагревается изнутри, а от нее тепло проходит в штампуемое изделие *ШИ*. Нагревание происходит одновременно с штамповкой — тепловая и механическая обработка соединились в единый неразрывный процесс и совершаются очень быстро и производительно.

В других машинах применяются вращающиеся валки или цилиндры (каландры), между которыми проходит изготавливаемая бумажная лента, резина или текстильный материал (рис. 66, б). Их тоже надо подогреть и сочетать механическую обработку с тепловой. Электрические нагревательные элементы *НЭ* заложены здесь под поверхность полых цилиндров и нагревают их изнутри. В прачечных по этому же принципу работают машины для глаженья белья. В листопрокатных станах нагревать могучие валки изнутри неудобно и для прогрева их применяют съемные хомуты или кожухи с нагревателями, которые временно надевают на валки перед началом работы.

Электрический нагрев все чаще внедряется внутрь производственных процессов и органически сливается с работой машин. Наши заводы оснащаются новейшим кузнечным оборудованием — ковочными машинами. Раньше поковки сначала нагревали в отдельном горне, а потом переносили на наковальню молота или под пресс. В новой технике появилась электровысадочная машина (рис. 67). Ее задача — сделать утолщение на конце прутка или трубы. Конец холодной трубы включают в электрическую цепь между двумя электродами. Проходящий по цепи

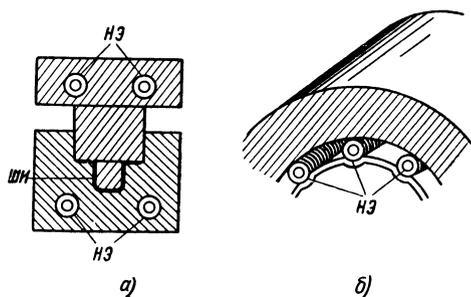


Рис. 66. Электрический нагрев:

а — пресс-форм, б — каландров

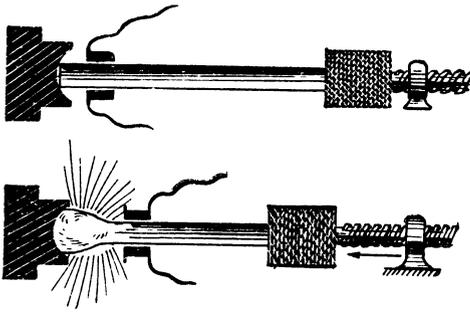


Рис. 67. Как работает электровысадочная машина

сильный ток быстро нагревает конец трубы до высокой температуры. И в это же время мощные механизмы сильно сжимают трубу вдоль ее оси, отчего раскаленный конец расплющивается и расширяется. Есть и электрогибочные машины, в которых заготовка, нагретая электрическим током, изгибается и принимает нужную форму. Производительность труда на ко-

точных машинах, работающих со встроенным электрическим нагревом, значительно увеличивается.

Из заводской кузницы перейдем в типографию, оборудованную новейшими печатными машинами. Отсюда выходят готовые газеты и книги.

Шрифт отливается из типографского металла, расплавленно в самой машине электрическим нагревом. После печати шрифт в машине плавится, и из того же металла вновь отливается новый шрифт.

Но ток может нагревать и без всякой печи или других закрытых нагревательных устройств, как говорится, под открытым небом, причем нагревается непосредственно сам обрабатываемый материал.

На стройках домов и электростанций укладывают огромные массы бетона. Чтобы ускорить его твердение, а зимой предохранить бетон от замерзания, его полезно подогреть. И тут тоже обратились к электрическому способу нагрева. Свежеуложенный, еще влажный бетон проводит ток, хотя и со значительным сопротивлением. Электроды вводятся внутрь заложеного бетона или прикладываются к нему снаружи, и по всей массе бетона протекают нагревающие ее токи.

Изготовленную проволоку тоже полезно нагреть, чтобы улучшить ее механические свойства. Для этого проволоку перематывают с одного барабана на другой. Между барабанами установлены на определенном участке две пары роликов. Это контактные ролики. При перематке проволока касается этих роликов, и по ней проходит ток, который нагревает ее. Проволока движется непрерывно и нагревается на ходу — ток проходит через все новые ее участки и последовательно их нагревает. Изменяя скорость движения проволоки, можно регулировать время, в течение которого нагревается участок проволоки между роликами.

Применяется и специальный аппарат для нагревания заклепок. Заклепки зажимаются между двумя электродами, и через

них проходит нагревающий ток. Аппарат на колесах подкатывается к нужному месту конструкции и сразу нагревает большое число заклепок.

Можно ли электрическим током непосредственно нагреть воду? Обычная неидеально чистая вода проводит ток и может нагреваться им. Существуют электрические котлы такого прямого действия тока. Они применяются на фабриках-кухнях, в животноводстве для запарки кормов. Присмотримся к работе этого необыкновенного котла. Электроды погружены в воду. Ток проходит через нее между электродами или между ними и корпусом котла. Проходя через воду, он нагревает ее и даже доводит до кипения. Но как регулировать нагрев? Для этого электроды окружены особыми экранами из изолирующего материала. Экраны передвигают или поворачивают и этим изменяют действие тока, проходящего через толщу воды. Конечно, такой котел должен быть хорошо изолирован от земли и защищен от прикосновения людей.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА СОРЕВНУЕТСЯ С СОЛНЦЕМ

Это было около 160 лет назад — в 1802 г. Выдающийся русский ученый В. В. Петров в тиши своей лаборатории производил интересные опыты над электричеством. Он располагал в то время самым мощным в мире источником тока — батареей, состоявшей более чем из двух тысяч элементов! Петров пропускал сильный ток через два сдвинутых вплотную угля. Однажды он немного раздвинул эти угли, и перед его глазами предстала изумительная, никем еще не виданная картина, — между концами углей засияло ослепительно яркое электрическое пламя. Это было важнейшим научным открытием. Ученый прозорливо предсказал, что открытая им электрическая дуга получит важнейшее применение в технике для освещения и для нагревания.

Что же происходит в электрической дуге Петрова и почему она так сильно разогревается? Из отрицательного полюса (катода) вылетают мельчайшие заряженные частицы (электроны). Они сталкиваются с атомами воздуха и ионизируют их, т. е. отрывают от них электроны. Образуются электрически заряженные частицы — свободные электроны и остатки атомов (ионы). Отрицательно заряженные электроны движутся к положительному полюсу, а положительно заряженные ионы — к отрицательному. На своем пути они сталкиваются с новыми частицами воздуха и ионизируют их. Заряженных частиц становится все больше. Все чаще происходят столкновения между летящими частицами. В результате столкновений выделяется очень много тепла — развивается огромная температура и излучается яркий свет. Температура положительного полюса — анода (того места на нем, в которое ударяют летящие электроны) достигает 4000° , а в столбе самой дуги — даже более 5000° .

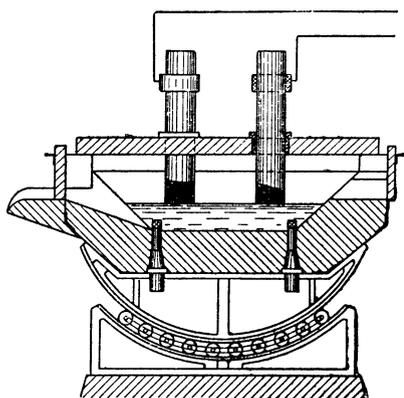


Рис. 68. Печь с электрической дугой
Петрова

Знаете ли вы, какова температура Солнца? На его ярко светящейся поверхности она около 6000° . При такой высокой температуре все вещества на солнце находятся в состоянии раскаленных газов. Ведь железо, например, плавится при 1520° , а при 2500° жидкое железо кипит, как вода в чайнике, и превращается в пар. В электрической дуге температура приближается к солнечной — это при обыкновенном атмосферном давлении. Если же поместить дугу в закрытый аппарат под давлением 40 атм, температура ее достигнет 8000° . А это уже жарче поверхности

Солнца. Так техника соревнуется с природой.

Невольно приходит мысль: где и как можно использовать такую высокую температуру электрической дуги? В технике — металлургии, в химических производствах — порой бывает нужно нагревать материалы до $2000\text{--}3000^{\circ}$ и выше. Металл вольфрам, например, плавится лишь при температуре около 3000° . Здесь-то и нашла применение электрическая дуга.

Вот электрическая дуговая печь (рис. 68), в которой сталевары — эти повара металла — варят лучшие сорта стали. Над расплавленным кипящим металлом свисают с потолка печи или выступают из ее боковых стенок огромные, в рост человека, угольные или графитовые электроды. Толщина их порой достигает полуметра. Между электродами и металлом или между самими электродами горит мощная электрическая дуга. Разберитесь, как дуга нагревает металл в каждом из трех типов печей, показанных на рис. 69. В таких дуговых печах можно плавить самые тугоплавкие материалы. Разумеется, сама печь должна быть сло-

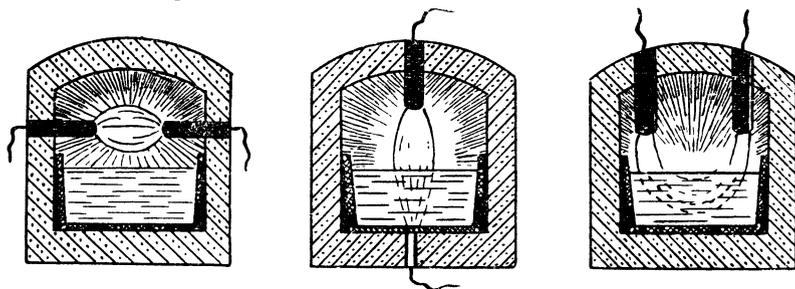


Рис. 69. Разные типы дуговых печей

жена из огнеупорного кирпича и окружена прочным стальным кожухом.

В дуговой электропечи можно сварить легированную сталь различного точно заданного состава с примесью хрома, никеля, марганца, молибдена и вольфрама. Сталь при этом получается с теми именно свойствами, которые нужны для тех или других технических целей. Сталевары изготавливают в электрических печах специальные стали: инструментальные, нержавеющей, жаростойкие, особопрочные, устойчивые против химических воздействий и др. Плавка отличается чистотой: в металл не попадают вредные примеси. Электрическую дугу можно регулировать и этим поддерживать в печи определенную температуру, нужную для данной плавки. Сталь изготавливают быстро. Время плавки невелико. Некоторые печи для загрузки откатываются на колесах.

Чтобы загрузить печь, ее верхнюю часть (свод) отделяют подъемным устройством. Во время плавки печь можно наклонять то в одну сторону, чтобы слить образующийся шлак, то в другую, чтобы выпустить из печи ярко-белую струю готовой стали.

Новые советские дуговые печи полностью механизированы; управляют ими на расстоянии. С пульта управления посылаются электрические приказы: «Загрузить шихту», «Наклонить печь», «Слить шлак», «Выпустить готовый металл». Так как электроды постепенно обгорают и укорачиваются, особое автоматическое устройство передвигает их и все время поддерживает нужное расстояние между ними (длину дуги).

Важно перемешивать жидкий металл, чтобы он быстрее и равномернее прогревался и во всем объеме печи получался одинакового состава и качества. Применяется оригинальный способ магнитного перемешивания. Под ванной печи сделано электромагнитное устройство, создающее в расплавленном металле перемещающееся магнитное поле. Этим полем управляют так, чтобы от взаимодействия его с электрической дугой последняя быстро вращалась. В такой печи с вращающейся дугой происходят явления, напоминающие вращение ротора электродвигателя. Ведь канал электрической дуги представляет собой нечто вроде гибкого газового проводника с током. А проводник с током, помещенный в магнитное поле, приходит в движение. Вместе с дугой в печи движется и перемешивается расплавленный металл.

Оправдалось и другое предсказание В. В. Петрова — его дуга стала мощным источником света. Высоко в ночное небо проникают лучи прожекторов в памятные дни победы. Еще дальше, на десятки километров бороздят горизонт могучие прожекторы морских судов. Сила света больших прожекторов достигает нескольких сот миллионов свечей. Электрическая дуга горит в фокусе большого вогнутого зеркала особой параболической формы. Зеркало отражает световые лучи и направляет их в виде почти параллельного луча. Но для этого надо, чтобы источник света был сосредоточен в строго определенной точке — в фокусе зеркала.

Малейшее смещение в сторону значительно ослабит луч прожектора. В этой точке должно находиться наиболее ярко светящееся место положительного электрода — углубление (кратер), в которое ударяет поток электронов. В средней части анодного угла делают сердцевину из вещества, дающего более яркий свет. Можно добавить к сердцевине и такие вещества, от которых электрическая дуга получит ту или другую окраску.

Но электрическая дуга не всегда бывает другом техники. Она может быть и ее врагом и тогда с ней приходится вести упорную борьбу. Вы подходите к рубильнику и откидываете его рукоятку, чтобы выключить ток. Но в момент размыкания контактов между ними проскакивает яркая искра. Эта искра — начало образования дуги, которая может разгореться. Из-за своей высокой температуры дуга разрушает контакты. Чем выше напряжение и сильнее ток, тем большей становится опасность возникновения дуги. В рубильниках делают рычажное устройство с пружинами, которое быстрее размыкает контакты, чтобы не успела образоваться дуга. В более сложных аппаратах — контакторах — мы найдем специальное электромагнитное устройство для магнитного выдувания и гашения дуги (рис. 70). Ведь электрическая дуга — это особый вид электрического тока в воздухе, и на нее, как и на всякий ток, действуют силы магнитного поля. Они смещают ее в определенном направлении. Магнитное поле катушки контактора действует на дугу, как некий магнитный ветер. И хотя в

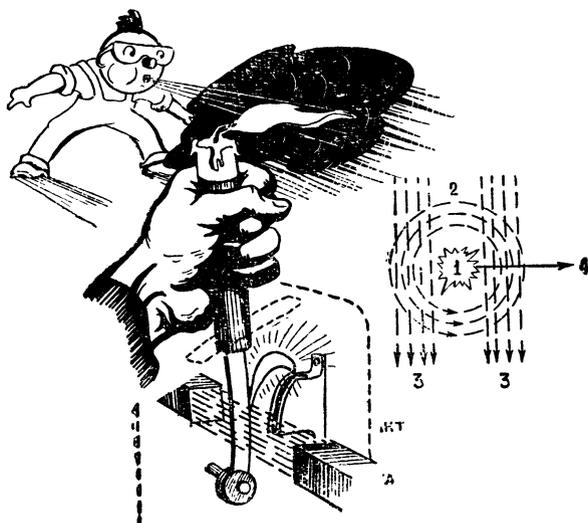


Рис. 70. Магнитное гашение электрической дуги:
 1 — электрическая дуга (в сечении), 2 — магнитное поле дуги, 3 — магнитный поток электрогасительной катушки, 4 — направление выдувающих сил, действующих на дугу

Примечание. Контакты и дуга ограждены защитным кожухом.

этом ветре нет никакого механического движения воздуха, дуга все же выдувается им вдоль контактов, имеющих форму расходящихся рогов. От этого дуга растягивается, быстро разрывается и гаснет.

На электростанциях приходится раз-
единять цепи огромной мощности с на-
пряжением, скажем, 6—10 тыс. в и вели-
чиной тока в несколько тысяч ампер.
Понятно, что и электрические дуги могут
возникнуть здесь огромной разрушаю-
щей силы. Как бороться с ними? Как
предотвратить их возникновение? Вспом-
ните те огромные масляные выключатели
(рис. 71) электростанций и подстанций,
в которых контакты, размыкающие цепи,
погружены в жидкое минеральное масло.

Оно является хорошим изолятором. При-
смотримся к тому, что в них происходит.
При размыкании контактов загорается
дуга. Но от ее высокой температуры мас-
ло вокруг контактов сильно нагревается
и испаряется — образуется большой га-
зовый пузырь, внутри которого горит дуга. Высокое давление
газа в таком пузыре ускоряет гашение дуги, а окружающее
масло хорошо отводит тепло и способствует остыванию.

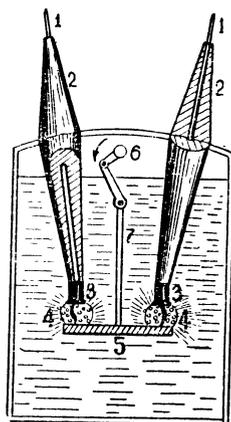


Рис. 71. Масляный вы-
ключатель:

- 1 — токоведущие стержни,
- 2 — проходные изоляторы,
- 3 — неподвижные контакты,
- 4 — электрическая дуга и га-
зовые пузыри, 5 — траверса
с подвижными контактами,
- 6 — привод, 7 — штанга

ЭЛЕКТРОСВАРЩИК ПРОНИКАЕТ ВСЮДУ

Строилось высотное 32-этажное здание Московского универси-
тета. На его еще обнаженном металлическом остоле, устремлен-
ном вверх над многомиллионным городом, мелькали голубова-
тые вспышки электрического пламени. Это электрическая дуга
Петрова, крепко, на века, сваривала стальные конструкции Двор-
ца русской культуры и науки.

Куда только не проникает электросварщик со своей дугой!
Его можно видеть при сооружении железнодорожных мостов
и решетчатых мачт для линий высоковольтных электропередач,
гигантских доменных печей и огромных резервуаров для неф-
ти или химических продуктов. Доменные печи высотой в 15-этаж-
ный дом делаются теперь с цельносварным кожухом. Раньше его
листы соединяли заклепками и это было одной из наиболее тру-
доемких частей работы, значительно задерживавшей сооружение
печи. На заводах тяжелого машиностроения электросварщик
соединяет части котлов, турбин и генераторов для новых элект-
ростанций, цельносварных вагонов, тракторов для колхозных по-

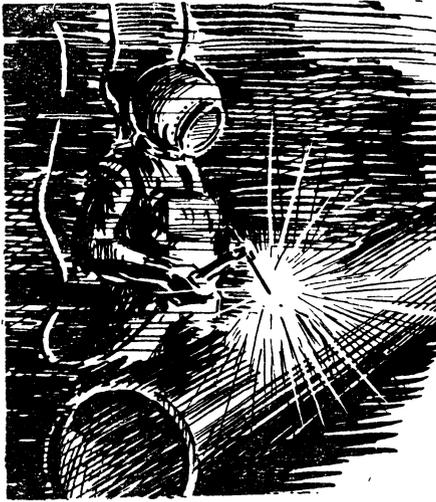
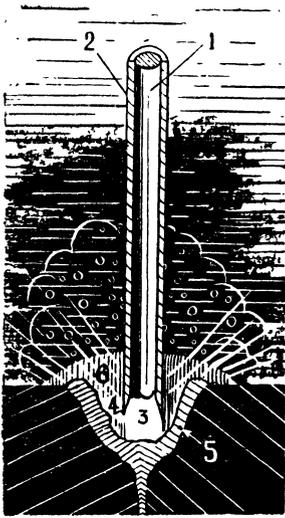


Рис. 72. Электрическая сварка под водой:

1 — стальной электрод, 2 — водонепроницаемая корочка, 3 — дуга, 4 — кольцеобразный выступ, 5 — расплавленный металл, 6 — газовый пузырь

лей, подъемных кранов для строек. На сотни километров прокладывают трубопроводы, по которым потечет нефть или пойдет природный горючий газ. Части труб одну за другой прочно соединяет все тот же сварщик с помощью электрической дуги. Участие электросварщика незаменимо и в ремонтном деле, где он не только соединяет поломанные части, но и заваривает трещины или накладывает стальные заплатки на котлы и резервуары не хуже портного, латающего ваши прорванные тужурки и брюки.

Перед изобретателями встал вопрос, нельзя ли вооружить электрической дугой водолаза и сваривать металлические части под водой? Электрическое пламя и расплавленная сталь,

окруженные холодной водой, — это может показаться невероятным! Но советский ученый-новатор К. К. Хренов изобрел способ, при помощи которого водолазы-сварщики на большой глубине режут и сваривают затонувшие корабли, ремонтируют устои мостов, соединяют трубы.

Для этого стальной электрод 1 (рис. 72) обмазывается специальным составом, из которого образуется водонепроницаемая корочка 2. И когда сварщик зажигает дугу, корочка плавится медленнее, чем сам электрод, и от этого вокруг дуги 3 образуется кольцеобразный выступ 4 — козырек. Он ограждает дугу от соприкосновения с окружающей

водой. Кроме того, из паров и газов, образующихся из раскаленного металла и вещества обмазки, а также от разложения воды вокруг дуги и расплавленного металла 5 возникает газовый пузырь 6, который тоже защищает дугу от проникновения воды. Бла-

годаря этому электрическая дуга прекрасно работает в руках водолаза.

Что вообще происходит при электрической сварке в том месте, где между металлическим электродом и изделием, включенными в электрическую цепь, образуется яркая электрическая дуга? От ее громадной температуры металл размягчается и даже плавится, заполняет шов, а остывая, крепко схватывает соединенные части, превращая их в одно целое. Сваренная часть нередко бывает более прочной, чем другие места конструкции.

Если металл в шве нагрет лишь до размягченного, пластического состояния, сваренные части надо с силой прижать одну к другой. Получается что-то вроде кузницы в миниатюре — крошечный кузнечный горн и пресс, уместившиеся внутри изделия, в самом сварочном шве. Если же металл в шве довести до расплавленного, жидкого состояния, он сам, затвердевая, надежно соединяет части изделия, не требуя никакого механического сжатия. Это уже миниатюрная литейная, уместившаяся в сварочном шве. В работе электросварщика действие электрического нагревания тоже сосредоточивается точно в нужных местах изделий. Оно глубоко электрифицирует технологию производственного процесса. Электросварка — передовой метод современной техники. В сравнении со старыми способами клепки или кузнечной сварки она значительно ускоряет работу, повышает ее производительность, улучшает качество и дает возможность делать облегченные и очень прочные конструкции.

А можно ли способом электросварки изготавливать небольшие изделия, например части автомобилей и других машин? Электрическая сварка от сборки крупных строительных конструкций и из тяжелого машиностроения все больше проникает в область более тонких работ. Сваривают, например, ступицы и ободы шкивов и шестерен. Из заготовленных деталей свариваются будущие части машин разнообразной и подчас сложной формы.

Как и во всех областях техники в электросварке тяжелый ручной труд сварщика постепенно заменяется сложными механизмами и самодействующими автоматами. Вот работает электросварочный автомат. Изделие и сварочная головка установлены на специальной раме или станине. Головка сама движется по изделию вдоль свариваемого шва — по прямой линии, по кругу или по сложной кривой — с помощью направляющего шаблона. Сварочная головка сама зажигает дугу и подает металлический электрод по мере того, как конец его плавится и укорачивается. Она поддерживает нужную длину дуги, регулирует силу тока и напряжение. Существуют и самоходные сварочные тракторы (рис. 73) — тележка с электродвигателем и автоматически сваривающим устройством, движущаяся вдоль длинного шва при сборке больших конструкций.

Познакомимся с новым и очень важным способом автомати-

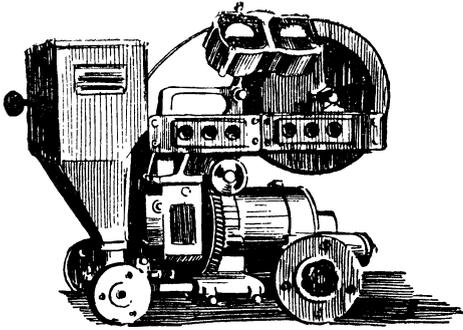


Рис. 73. Электросварочный трактор

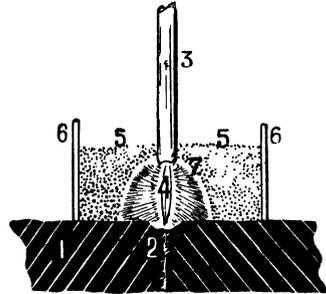


Рис. 74. Электросварка под слоем флюса:

1 — свариваемая конструкция, 2 — шов, 3 — электрод, 4 — дуга, 5 — флюс, 6 — пластина для удержания флюса, 7 — расплавленный флюс

ческой сварки. Рассмотрим рис. 74. Почему свариваемое место изделия, нижняя часть электрода и сама дуга засыпаны каким-то порошком — флюсом, через который почти не видно даже яркой электрической дуги? Этот очень важный способ электросварки под слоем флюса разработан украинским ученым акад. Е. О. Патоном. Слой флюса отделяет расплавленный металл и образующийся шов от окружающего воздуха — препятствует вредному химическому влиянию газов воздуха на раскаленный металл. Под слоем флюса лучше концентрируется тепло, глубже прогревается изделие, а после сварки медленнее происходит остывание шва. От всего этого улучшается качество шва: его плотность, однородность, прочность, химический состав.

А вот еще один новый и необычный способ сварки. Электрическая дуга и место сварки обдуваются газом — аргоном. Для чего это делается? Аргон обладает особым свойством: он не вступает в химические соединения с другими веществами. (Такой газ называют химически инертным.) Это свойство его и использовали сварщики. Аргон не только сам не вступает в химическое взаимодействие с раскаленным свариваемым металлом, но и защищает его от химического влияния окружающего воздуха, его кислорода и азота.

Разработана и специальная горелка для аргоно-дуговой сварки.

Электрическая дуга горит между изделием и электродом, сделанным из очень тугоплавкого металла — вольфрама. Сам электрод не плавится, а материал для заполнения шва получается от присадочного прутка нужного состава. Вольфрамовый электрод окружен мундштуком, из которого вытекает струя ар-

гона. Она окружает и защищает «ванночку» расплавленного металла в шве и конец присадочного прутка. Газ подается из баллона через редуктор, понижающий давление. Сам аргон добывают из воздуха, в котором его содержится около 1%.

Этот способ оказался полезным для сварки нержавеющей, жаропрочных и других специальных сталей, в которых важно сохранить точный состав и защитить их от влияния воздуха. Применяют способ аргоно-дуговой сварки и для соединения алюминевых и магниевых сплавов.

Мы живем в век расцвета химии. Наука эта, изучающая состав веществ, все более проникает во все области техники. Не малое значение приобрела она и в работе электросварщика. Ученые внимательно изучают химические изменения состава металла, которые происходят в сварочном шве. Ведь в нем одни вещества выгорают, а другие добавляются из электрода, из его обмазки, из воздуха. А вместе с составом изменяются и важные технические свойства шва. Значит в местах сварки перед нами не только миниатюрная кузница или литейная, но и карликовая металлургическая печь. Такие химические изменения особенно важны, когда свариваются изделия из легированной стали со сложным и точным составом. Большое значение имеет состав электрода, из которого расплавленный металл переходит в шов. В сварочном шве возникает и миниатюрный термический цех, в котором происходит закалка, отпуск шва и другие процессы, влияющие на структуру металла и на его свойства.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИСКРА ВМЕСТО РЕЗЦОВ И СВЕРЛ

Что это за странный станок? На установленных на нем изделиях появляются отверстия. Но на станке нигде не видно сверл; нет обычных быстродвижущихся механизмов, нет и стружки, которая всегда образуется при резании металлов. Присмотримся к нему. Вместо режущего инструмента над изделием свисает какая-то небольшая трубка, свернутая из тонкого латунного листа. Она постепенно углубляется в изделие, сделанное из очень твердого сплава и без всякого резания, без нажима, даже почти не прикасаясь к детали, прошивает в ней глубокое отверстие. Изделие для чего-то погружено в ванну с водой или керосином. Но смотрите, к этому своеобразному инструменту и к изделию подведены провода электрической цепи. Вот в чем секрет — между инструментом и изделием совершается какой-то невидимый электрический процесс. Здесь работают мельчайшие электрические искры. Они-то и прошивают отверстие, заменяя резание и прочные режущие инструменты (рис. 75).

Этот новый способ электроискровой обработки металлов создан талантливыми советскими изобретателями Б. Р. и Н. И. Лазаренко. Ученые тщательно изучают сложные физические явле-

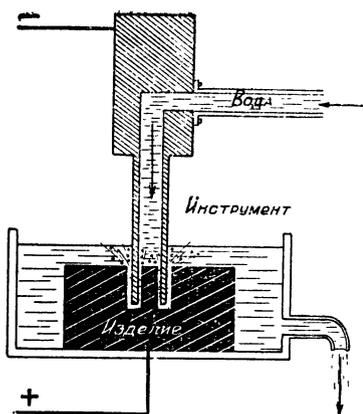


Рис. 75. Обработка металла электрической искрой

ния, происходящие при обработке металла электрическими искрами. В электрическую цепь, в которую включены изделие и инструмент, подаются прерывистые, очень кратковременные электрические импульсы. Они повторяются сотни и тысячи раз в секунду. Во время импульсов между отдельными мельчайшими выступами поверхностей электрода и изделия возникают электрические разряды — искры, которые продолжаются лишь стотысячные доли секунды и происходят на микроскопически малых участках поверхности. В разрядах концентрируется огромная сила тока (до нескольких тысяч ампер) и в канале

искры развивается температура в $6000\text{--}10\,000^\circ$. Процессы носят характер крошечных взрывов. Происходит не только плавление и испарение металла, но с его поверхности отрываються и выбрасываются мельчайшие частицы.

Процессом этим надо управлять — важно сосредоточить его в нужных местах обрабатываемых изделий. В руках человека электрическое разрушение металла стало созданием нужной формы частей машин. Искровые разряды и связанное с этим удаление металла происходят там, где создано электрическое поле — между изделием и инструментом. Поэтому форма инструмента должна соответствовать той части поверхности изделия, с которой надо снять металл. Если, например, требуется сделать отверстие не круглого, а овального или яйцевидного, квадратного или иного сечения, то такую же форму должен иметь инструмент. Когда инструмент-электрод приблизится к изделию, такой же формы возникнет между ними и электрическое поле, в котором будут происходить разряды и с изделия начнет удаляться металл.

Оказалось, что сильней разрушается положительный полюс. Поэтому применяется постоянный ток, и изделие включается как анод, а инструмент как катод. Пространство между ними должно быть заполнено жидкостью, в которую и выбрасываются частицы металла. А чтобы они не накопились в ней, жидкость все время протекает через ванну. Жидкость, в которой происходит обработка, может подаваться и через трубчатый инструмент. Для изделий из легированной стали применяется вода, а для изделий из углеродистой стали — керосин. Изделие можно не погружать в ванну, а только поливать струей жидкости.

Электроискровая обработка металла — передовой, прогрес-

сивный метод советской техники. Электрификация производства еще глубже проникла здесь в технологические процессы и привела в них целую революцию — создала совершенно новый вид обработки. Если электросварщик лишь соединяет детали, обработанные механическим способом, то тут уже сама основная обработка — придание изделию нужной формы — производится электричеством.

Этот новый метод, созданный на основе данных современной науки, находит все более широкое и разнообразное применение в технике. Начав с прошивки отверстий, он распространился на обработку изделий различной сложной формы. Его применяют при изготовлении штампов, которые вначале вырезают на фрезерном станке, а потом доводят до нужной формы и точных размеров способом электроискровой обработки. Ее применяют и для заточки инструментов из очень твердых сплавов. Электрической искрой прошивают тончайшие отверстия диаметром в десятые доли миллиметра, недоступные никакому сверлу. Если придать инструменту — катоду — форму особой гребенки, им можно нарезать винтовую резьбу. Тонкой проволокой — катодом — гравировать надписи на металле. Но все это только начало, первые шаги нового прогрессивного метода. Несомненно, что в будущем электрообработка металлов будет все больше заменять механическую работу резцов, фрез, шлифовальных кругов.

Ценное свойство искрового метода состоит в том, что им можно легко обрабатывать очень твердые металлы и сплавы, трудно поддающиеся резанию, причем обрабатываются они мягкой латунной трубкой. Механическая твердость инструмента и изделия для этих электрических процессов не имеет значения.

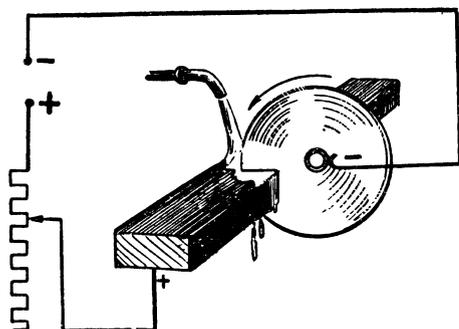
А вот еще один способ электрической обработки металлов. Инструмент движется вдоль поверхности стального изделия. Как инструмент, так и изделие включены в электрическую цепь, и между ними проскакивают мельчайшие искорки. Однако разрушается не поверхность изделия, а инструмент. Уж не перепутали ли полюса при включении в цепь? Анодом при этом способе почему-то включен инструмент, а катодом — изделие. Но такая перестановка полюсов сделана сознательно с определенной целью. Частицы металла при искровых разрядах отрываются от инструмента, выбрасываются им и обстреливают поверхность изделия — катода. Они остаются на ней и производят важные изменения — на поверхности стального изделия образуется очень прочный и твердый слой.

Этот способ электроискрового упрочнения поверхности стальных изделий — еще одно завоевание прогрессивной электрической технологии. Ведь современная техника во многих случаях требует, чтобы поверхность деталей и инструментов была особенно прочной, твердой и не изнашивалась от трения. Этим требованиям удовлетворяет электрическая искра. На мельчайших участках обрабатываемой поверхности на мгновение возникают

микроскопические термические и металлургические «печи», в которых изменяется структура мельчайших частиц и происходит легирование поверхности — добавление в нее различных веществ. Конечно, для этого нужен определенный состав инструмента — анода, выбрасывающего частицы веществ.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО-ХИМИК ТОЖЕ ЗАМЕНЯЕТ РЕЗЕЦ

Изобретатели создают все новые оригинальные способы электрической обработки металлических изделий. Посмотрите, что происходит на этом своеобразном станке (рис. 76). На его столе закреплен толстый брусок из очень твердой стали. Поперек бруска вращается тонкий металлический диск с совершенно гладкой поверхностью, без всяких зубцов или острых граней и других режущих частей. Диск медленно приблизился к бру-



ску и, как это ни удивительно, погружается в него, будто в мягкое масло, и, наконец, перерезает пополам... В щель, которую диск прорезает в изделии, из трубки все время льется какая-то жидкость. Однако никакого резания не происходит: прочный и твердый материал изделия как бы сам отступает перед надвигающимся диском — инструментом.

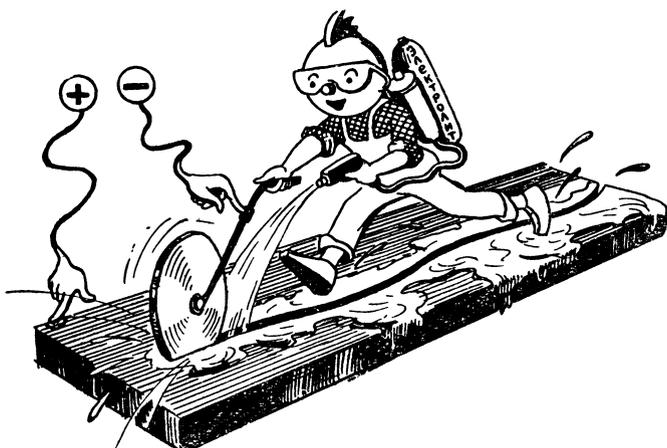


Рис. 76. Новый способ анодно-механической обработки металла

Это новый и многообещающий анодно-механический способ обработки металла. При этом способе происходят не только тепловые, искровые, но и электрохимические процессы. На поверхности изделия от действия электрического тока совершается сложное изменение состава веществ. В этом методе обработки металлов электричество выступает уже в роли химика.

Изделие и инструмент включены в электрическую цепь, причем изделие является анодом, а диск — катодом. Большое значение имеет жидкость, наливаемая в щель. Это электролит особого состава — вязкий раствор различных солей, так называемое жидкое стекло. Когда проходит ток, между жидкостью и поверхностью изделия происходит электрохимическое взаимодействие. От этого изделие (анод) покрывается особой пленкой, довольно прочной и не проводящей электрического тока. Не пропускающая тока, она защищает изделие от его дальнейшего действия.

На этом бы все и закончилось, если бы не вращающийся металлический диск. Надвигаясь на изделие, он в нужном месте разрушает покрывшую его защитную анодную пленку. В этом месте снова начинает проходить ток и от его действия возобновляется работа электричества-химика. Изделие разрушается, поверхность его отстывает, происходит электрохимическое растворение металла в жидкости — электролите. А при большой плотности тока на микроскопических выступах поверхности изделия образуются электрические разряды — искры и частицы раскаленного металла выбрасываются в окружающую жидкость. Это похоже на электроискровой способ обработки, о котором мы только что говорили. Но здесь дело обстоит сложнее — искровые разряды работают рука об руку с электрохимическими процессами.

Для чего же нужна защитная неэлектропроводная анодная пленка и прорезающий ее диск? Без них металл изделия разрушался бы по всей поверхности. С ними же металл разрушается лишь в том месте, где нужно производить обработку.

Благодаря ей можно резать изделие в нужных местах и придавать разрезам ту или другую форму. Однако заметим еще раз, что инструмент — диск — сам не режет изделие. Разрушая защитную анодную пленку, он лишь открывает место для действия электрических процессов.

Дело это новое, молодое. Пока анодно-механическим способом производят обычно простые разрезы. Но в будущем он, вероятно, будет применяться и для более сложных работ. Заменяя вращающийся диск вибрирующим инструментом-катодом, производят электрическое долбление фасонных отверстий или криволинейных прорезей. В этих случаях инструмент движется по копиру.

Уже завоевала себе применение анодно-механическая заточка инструментов — резцов и фрез из твердых сплавов. Ведь и здесь их высокая твердость для электрических процессов не имеет значения, в отличие от механической заточки точильным камнем, где твердость инструментов причиняет много хлопот.

Инструмент затачивают гладким вращающимся диском — катодом, но не его узкой боковой гранью, как при резке, а широкой торцовой поверхностью. С граней инструмента, политых жидкостью, торцом диска сдирается защитная анодная пленка, а от действия проходящего тока снимается слой металла.

Советские инженеры сконструировали специальные станки для анодно-механической обработки металла с автоматической подачей и вращением инструмента — катода или с подачей изделия — анода навстречу вращающемуся диску. Но механические движения в этих новых машинах играют лишь вспомогательную роль по отношению к главным электрическим процессам обработки.





ГЛАВА V

МАГНИТЫ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

МОГУЧАЯ СИЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ

Если вам придется побывать на металлургическом заводе, зайдите на его скрапный двор, где свалены груды железного лома, и понаблюдайте за работой подъемного крана. Это необыкновенный кран. Вот опускается на цепи что-то вроде большой круглой стальной тарелки и своей плоской поверхностью прикасается к спрессованной кипе железного лома или к сложенным чугунным чушкам. Еще мгновение — и кран уже движется вверх, поднимает многотонный железный груз. Заметьте, что груз этот не прикреплен к крану ни крюками, ни цепями или иными механическими способами. Кран держит его лишь огромной силой своего магнитного притяжения. Но вот кран перенес свой груз через весь двор, в нужном месте опустил его — и в тот же миг груз отпал от него. От могучей притягивающей силы крана не осталось и следа.

В тот момент, когда крановщик в своей кабине нажал кнопку управления и замкнул цепь электромагнита, в последнем произошли незримые, но очень важные процессы: в витки катушки поступил ток, и образовалось сильное магнитное поле. В окружающем пространстве, особенно близ полюсов электромагнита, стали действовать магнитные силы, притягивающие железные предметы. Они-то и подняли тяжелый груз. Когда же наступило время отпустить его, машинист разомкнул цепь, прекратился ток в катушке и вместе с ним исчезло магнитное силовое поле. В отличие от постоянных стальных магнитов, которые вы, вероятно, хорошо знаете, электромагниты притягивают лишь тогда, когда в витках их катушек идет ток. Поэтому электромагнитными устройствами очень удобно управлять — надо только замкнуть или разомкнуть их цепь. Правда, в этом есть и опасность: если поче-

му-нибудь разомкнется электрическая цепь, кран тут же опустит груз, и он при падении может причинить беду. Поэтому находитесь под краном не разрешается.

Возьмите небольшой школьный электромагнит и попробуйте вдвоем, держась с обеих сторон за его ручки, оторвать от магнита якорь. Вам придется тянуть изо всех сил и, может быть, так и не удастся оторвать его — столь велика сила магнита. Рассмотрите устройство этого маленького силача. Вы видите в нем катушку из многих плотно уложенных витков изолированного провода. Чем больше витков в катушке и чем сильнее проходящий по ним ток, тем с большей силой притягивает электромагнит. А чтобы магнитное поле стало еще сильнее, внутри катушки сделан железный сердечник. Железо обладает замечательным свойством сосредоточивать в себе магнитные силовые линии и усиливать поле магнита.

У каждого магнита всегда бывают два полюса. Попробуйте, можно ли разложить обыкновенный постоянный магнит так, чтобы у одной части остался лишь северный полюс, а у другой — только южный. Этого сделать нельзя: у каждой половины окажутся оба полюса. Для усиления притягивающего действия магнитов их делают такой формы, чтобы оба полюса были ближе один к другому; в промежутке между ними образуется наиболее сильное магнитное поле.

Как велика бывает подъемная сила электромагнитов? Это видно в работе электробалластеров — новых машин для ремонта железных дорог. Их электромагниты (рис. 77) поднимают в воздух целый участок рельсов вместе со шпалами, так что под ними можно легко насыпать балласт.

Но понаблюдаем еще за работой заводского магнитного крана. Всякий ли металлический груз может он поднять? Поднимет ли он, например, медный или алюминиевый предмет? Нет, магнитный кран поднимает груз только железный или состоящий из некоторых других ферромагнитных веществ, подобных железу по их магнитным свойствам.

Но смотрите, почему магнитный кран поднимает деревянные ящики? Разве дерево притягивается магнитом? Нет, конечно. Но в этих ящиках находятся гвозди или другие железные предметы. Магнитные же силы действуют на них через деревянные стенки ящиков. Они вообще действуют через различные немагнитные материалы. Вы можете положить железный гвоздь в стакан с водой и вынуть его оттуда, ведя магнитом снаружи вверх по стенкам стакана. Магнит будет притягивать через стекло и через воду.

Разные бывают железные грузы: плотные стальные слитки, рыхлые кучи лома или цепей с воздушными промежутками. Эти прослойки воздуха очень ослабляют действие магнита. Ведь силовые линии магнитного поля, идущие от одного полюса к другому, замыкаются через якорь магнита или через притягиваемый

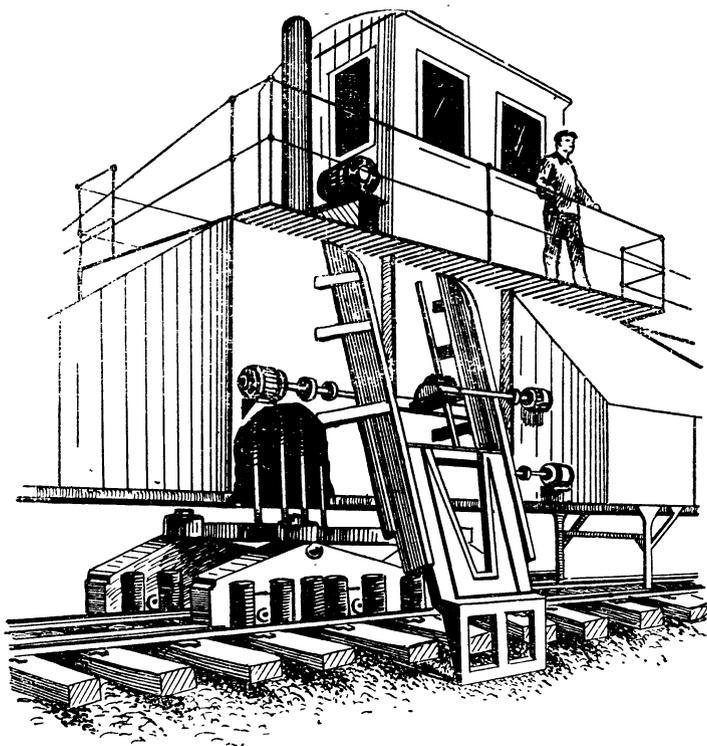


Рис. 77. Могучая сила электромагнита

железный груз. В местах же, где между железными предметами остаются воздушные промежутки, магнитное поле встречает значительные препятствия. И вы видите, что тот же кран, который поднимает 16 т сплошных стальных плит или слитков — железного лома или цепей поднимет лишь меньше тонны, а стружки даже всего 200 кг.

Взгляните еще раз, как странно держится нижний кусок железа. Он не касается самого крана, между ним и полюсом магнита висит ряд других железных предметов. Все они намагнитились и сами стали притягивать — магнитное силовое поле проходит через них.

В горячих цехах тоже хорошо бы воспользоваться электромагнитным краном для переноски раскаленных болванок, например из кузнечных печей к молотам и прессам. Но, к сожалению, это встречает серьезные препятствия. Оказывается, при высокой температуре магнитные свойства железа значительно снижаются. Уже при $+200^{\circ}$ и выше подъемная сила электромагнитов резко уменьшается, а при $+700^{\circ}$ или $+800^{\circ}$ исчезает совершенно.

Сколько обрабатываемых деталей приходится устанавливать за смену на столе шлифовального станка! И как много времени и сил отнимает у рабочего их установка и закрепление! Совсем по-другому проходит работа на магнитных столах или плитах. Рабочий кладет стальную деталь на этот необыкновенный стол и нажимает кнопку управления, пуская этим ток в обмотку электромагнитов. Электромагниты, вделанные в плиту стола, с большой силой притягивают изделие и крепко держат его в течение всей обработки; изделия остаются на месте под шлифовальным кругом без всяких механических зажимов и захвата. Когда же шлифование закончилось, рабочий нажимает другую кнопку, и электромагниты стола в тот же миг послушно отпускают готовое изделие.

Вот устройство такого магнитного стола (рис. 78). В нем две плиты, расположенные одна под другой, причем нижняя передвигается по отношению к верхней. Электромагниты вделаны в нижнюю плиту, в которой чередуются их разноименные полюса. А в верхней плите устроены как бы продолжения этих полюсов, которые в рабочем положении находятся как раз над полюсами нижней плиты (рис. 78, а). Но в верхней плите эти продолжения полюсов отделены один от другого слоями немагнитного материала. Поэтому магнитные силовые линии не могут проходить из одного полюса в другой через верхнюю плиту, а должны замыкаться через положенное на нее изделие. Вследствие этого оно и притягивается к столу.

Когда обработка изделий окончена (рис. 78, б), нижняя плита с электромагнитами смещается по отношению к верхней. Ее полюсы уже не находятся против своих продолжений в верхней плите. Поэтому магнитные силовые линии проходят из одного полюса в другой через верхнюю плиту, минуя ее немагнитные перегородки. Они замыкаются в ней по более короткому пути, не заходя в изделие. А поэтому отшлифованная деталь перестает притягиваться магнитами.

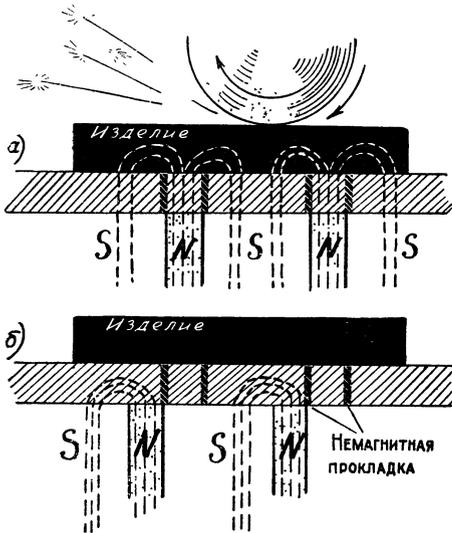


Рис. 78. Электромагнитный стол станка: а — во время работы, б — работа окончена

Однако стальные изделия после обработки на таком столе сохраняют некоторую намагниченность и их надо еще раз-

магнитить. Для этого их на время помещают в магнитное поле переменного тока, которое все время меняет направление своих магнитных сил и этим уничтожает оставшуюся намагниченность стальных деталей.

Электромагниты проникают и внутрь машин. Вы нажали кнопку, контакты включили автоматическое устройство, и в тот же миг концы двух валов станка крепко соединились вместе и стали передавать движение от одного вала к другому. Их связала электромагнитная сцепная муфта. Как она действует?

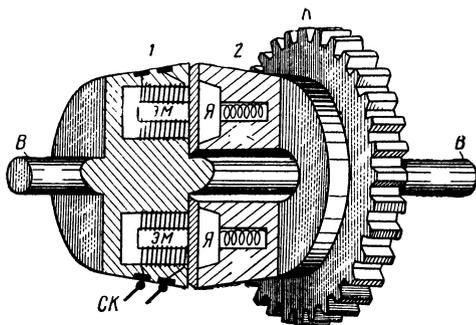


Рис. 79. Электромагнитная сцепная муфта

Муфта (рис. 79) состоит из двух частей: ведущей 1 и ведомой 2. Ведущая часть наглухо соединена с валом В, от которого передается движение. С ведомой же частью муфты соединено зубчатое колесо К, передающее движение дальше. Заметьте, что ведомая часть муфты и колесо К свободно сидят на валу В и могут вращаться независимо от него. В ведущей части муфты находятся электромагниты ЭМ, а в ведомой — якоря Я. Как только в электромагниты поступает ток, они с такой силой притягивают якоря, что движение от вала и ведущей части муфты передается ведомой части и зубчатому колесу К. Но стоит разомкнуть цепь, как электромагниты тотчас послушно отпускают якоря, и передача движения прекращается. Чтобы передать ток во вращающуюся муфту, нужны скользящие контакты СК. В автоматических машинах такое соединение и разъединение механизмов может происходить много раз в минуту.

Но вот другая более сложная—реверсивная муфта. Она не только сцепляет валы, но и изменяет направление их вращения. Рассмотрим ее устройство. На ведомом валу В (рис. 80) свободно вращаются две части муфты 1 и 2 со встроенными в них электромагнитами ЭМ1 и ЭМ2. На этот раз обе они ведущие. Между ними находится диск Д, который наглухо связан с ве-

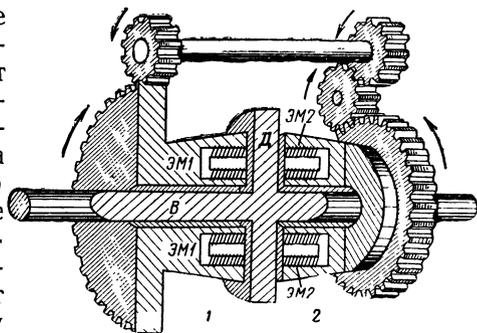


Рис. 80. Реверсивная муфта

домым валом и служит якорем для обоих электромагнитов. Каждая из двух половин муфты может передавать движение диску *Д* и валу *В*, когда в ее электромагниты поступает ток. Как передается движение от верхнего ведущего вала к той или другой части муфты? К левой части оно передается непосредственно, а к правой — через промежуточную (паразитную) шестерню. А это меняет направление вращения как муфты, так и ведомого вала *В*. Магнитную муфту можно переключать рукой. Но это гораздо лучше будет делать сама машина.

Разберем схему такого автоматического реверсирования (рис. 81). Пусть стол станка должен двигаться то в одну, то в другую сторону. Сейчас он движется вправо. Дойдя до своего крайнего положения, он упором *У1* нажимает на путевой переключатель *ПП* и замыкает его правый контакт. Ток поступает в правую электромагнитную катушку *К1* и она втягивает якорь *Я—Я*. Перемещаясь вправо, этот якорь замыкает контакты *а—а* и контакты *в—в*. От этого замыкается дальнейшая уже силовая цепь, которая через скользящие контакты *СК1* питает электромагниты правой части сцепной муфты *I*. Она сцепляется с диском *Д*, и механизмы станка через вал *В2* изменяют направление движения стола.

Теперь стол станка движется влево. Дойдя до крайнего положения, он упором *У2* переводит путевой переключатель *ПП* и замыкает его левый контакт. На этот раз ток подается в левую катушку *К2*. Она втягивает якорь *Я—Я*, который передвигается влево. Теперь якорь замыкает контакты *б—б* и контакты *г—г* и размыкает прежние контакты *а—а* и *в—в*. От этого по левой ветви силовой цепи через скользящие контакты *СК2* ток подается в электромагниты левой части муфты *II*. Она сцепляется с диском *Д* и передает движение валу *В2*, который меняет направление вращения, и стол станка начинает снова двигаться вправо.

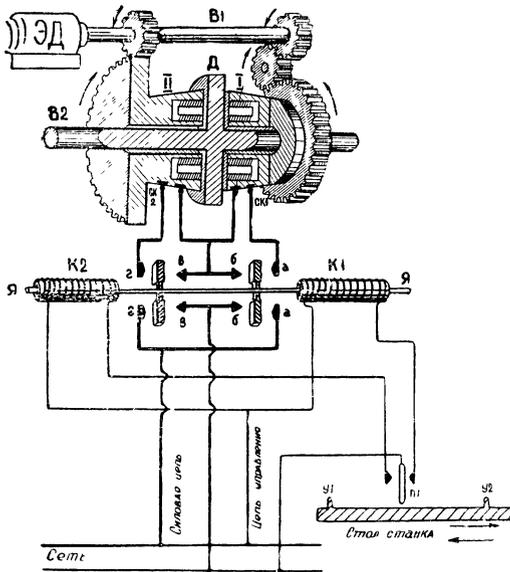


Рис. 81. Автоматическое управление сцепной муфтой

ные машины. На их механизмы накладываются сложные цепи электрических проводов. В работе таких «умных» устройств исполнительными органами — руками автомата — нередко служат различные электромагнитные аппараты.

А что это за странный станок, у которого вместо валов, шестерен и других механических передач в разных направлениях проложены тонкие трубы, по которым течет жидкое масло. Твердые стальные механизмы заменены здесь устройствами, в которых работает жидкость — гидравлические передачи, которые и приводят в движение части машины. Система разветвляющихся труб подводит масло к столу станка или к суппорту с инструментами и вызывает их движение. Чтобы пустить масло по той или другой трубе и в нужное время открыть или закрыть ему путь, служат различные клапаны, краны, золотники. Но ими необходимо управлять.

Как в нужный момент открыть или закрыть клапан или переключить золотник? Тут опять на помощь приходят электромагниты (рис. 82). Их якоря скрепляются с подвижными частями клапанов *К* или золотников. В определенный момент замыкается цепь электромагнита *ЭМ* и в его обмотку поступает ток. Магнит втягивает свой якорь и этим открывает связанный с ним клапан. В результате масло по трубе *Т* направляется к рабочей части машины и приводит ее в действие. Когда же нужно прекратить это действие, цепь электромагнита размыкают. Он отпускает якорь, и тогда противодействующая пружина *Пр* закрывает клапан, который преграждает путь маслу. Притяжение электромагнита и действие пружины — это «силы-неразлучки», которые часто по очереди управляют работой механизмов.

В сложных гидравлических передачах таких клапанов с электромагнитами бывает много. Управляют ими, конечно, не руками, а с помощью автоматических устройств. Дойдя до конца своего хода, стол станка нажимает на путевой переключатель. В ответ на это электромагниты открывают одни клапаны и закрывают другие или передвигают золотники. Масло направляется по новым путям. Оно поступает в рабочий цилиндр с другой стороны поршня. А от этого стол

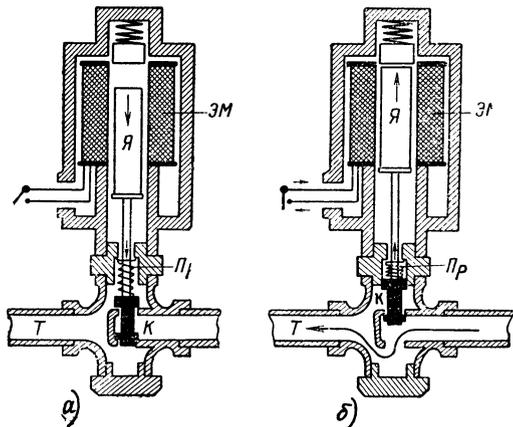


Рис. 82. Как электромагнит открывает и закрывает клапан;

а — цепь разомкнута, клапан закрыт, *б* — цепь замкнута, клапан открыт

станка сам останавливается и начинает двигаться в противоположном направлении. Там, где машиной надо управлять по определенной сложной программе, вращающийся командоконтроллер по очереди замыкает цепи различных электромагнитных клапанов и золотников и направляет масло к тому или другому органу машины.

МАГНИТЫ-ТЕХНОЛОГИ

Электромагниты служат не только простой притягивающей или движущей силой. Во многих случаях они участвуют в выполнении самих производственных или технологических процессов. В этих случаях работа их бывает сложнее, тоньше и интересней.

Во многих производствах, например на мельницах, в обрабатываемый продукт (зерно, муку и др.) попадают посторонние железные предметы — гвозди, проволока. Попав в машину, они могут испортить ее. Нельзя допустить также, чтобы гвозди или проволока попали в пищу. Поэтому очень важно очистить от них продукт. Но как выбрать этот железный сор из огромного количества зерна или муки? Нельзя ли использовать для этого свойство магнитов притягивать железо?

В электромагнитном очистителе (сепараторе) непрерывный поток зерна или муки движется на транспортере мимо полюсов сильного магнита. Железный сор притягивается и остается на них, а очищенный продукт движется дальше. Однако такой простой аппарат был бы еще недостаточно хорош. Приставшие к магниту железные предметы приходилось бы время от времени снимать руками. Лучше устроить так, чтобы железный мусор не оставался на магните, а падал с него в особый ящик. Но как заставить магнит отпускать его? Для этого вокруг магнита 1 (рис. 83) сделан вращающийся барабан 2 из немагнитизирующегося материала, скажем из латуни или алюминия. Магнитные силы притягивают железные предметы через его стенки. Поток очищаемого продукта 3 движется по этому барабану. Железные предметы 4 притягиваются к барабану и удаляются им в сторону. И там, где притягивающая сила магнита ослабевает (на определенном расстоянии от его полюсов), этот железный сор отстает от барабана и падает в сборник 5. Очищенный же продукт 6 движется дальше.

На колхозных фермах таким же способом очищают корм для скота. Какой вред мог бы причинить корове проглоченный гвоздь или кусок проволоки! Но магнитный сепаратор надежно выберет их из корма.

Тысячи тонн железной руды загружаются в гигантские доменные печи. Но руда, добытая из земли, часто содержит много пустой породы и ее перед плавкой приходится обогащать — увеличивать процент содержания самой руды и отделять ненужные

примеси. Обогащая руду, магнитный сепаратор выполняет противоположную задачу — своим притяжением он должен извлечь из смеси ценный продукт, обладающий магнитными свойствами, и отделить его от немагнитных примесей. Но принцип его работы в основном тот же: огромным потоком движется необогащенная руда мимо полюсов сильных электромагнитов и как бы по мановению какого-то

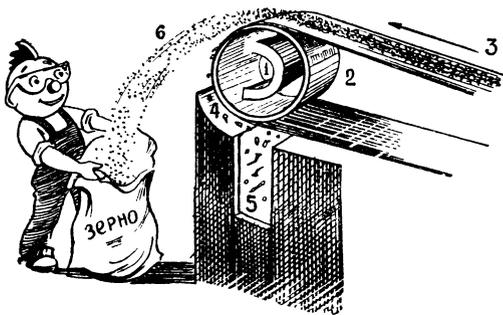


Рис. 83. Как электромагнит отделяет железный сор:

1 — магнит, 2 — вращающийся барабан, 3 — очищаемый продукт, 4 — железные предметы, 5 — сборник, 6 — очищенный продукт

невидимого жезла послушно расходится в две стороны — обогащенная руда в одну, а пустая порода в другую.

Однако, скажете вы, все эти магнитные устройства могут действовать только на железо. Это очень ограничивает их применение. А как быть, если надо разделить какие-нибудь немагнитные материалы? Изобретатели и здесь постарались перехитрить природу. В сельском хозяйстве, например, перед посевом важно очищать семена культурных растений от семян сорняков. Семена льна, клевера или люцерны имеют гладкую поверхность; семена же многих сорняков отличаются от них шереховатой поверхностью. Этим и воспользовались электрики. Они стали перемешивать посевной материал с очень мелким порошком из толченой железной руды. Порошок прилипает к шереховатой поверхности семян сорняков, и благодаря этому они приобретают магнитные свойства. К гладким же семенам льна или клевера магнитный порошок не прилипает. Если теперь пропустить смесь семян мимо полюсов электромагнита, он хорошо разделит их на культурные растения и сорняки. Человек не может нарушать законы природы, но он может направлять их действие в нужную для себя сторону — и в этом задача техники.

На центральном почтамте большого города огромное количество писем все время передается из одних отделов в другие. Но людей, которые переносили бы их по лестницам и коридорам, не видно. Их заменила своеобразная электромагнитная почта (рис. 84). Письма кладут в железные цилиндрические коробки, которые опущены в длинную деревянную или алюминиевую трубу. И коробочка сама быстро движется по трубе. Ее приводят в движение электромагниты, катушки которых обвиты вокруг трубы на определенных расстояниях одна от другой. Перед каждой катушкой установлены нормально открытые контакты *K1*, замы-

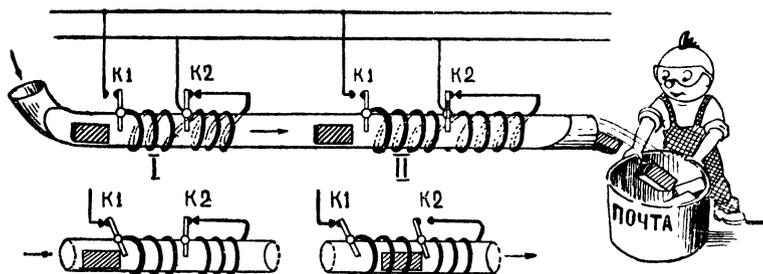


Рис. 84. Электромагнитная почта

кающие цепь электромагнита. От них внутрь трубы опускается рычажок. Приблизившись к этому месту, коробка нажимает на рычажок, замыкает контакты и включает электромагнит. Он с силой втягивает в себя коробку. Но дойдя до середины катушки, коробка нажимает на второй рычажок, который размыкает нормально замкнутые контакты $K2$, а вместе с ними и цепь электромагнита. Последний перестает притягивать. Вследствие этого коробка с бумагами может свободно выйти из катушки и двигаться дальше. Получив сильный толчок в первой половине катушки I , коробка проходит дальше по трубе и достигает следующей катушки II . Здесь повторяется то же самое. Коробка получает новый толчок и устремляется дальше. Так движется она от одной катушки к другой, пока не достигнет нужного места, где цепь заранее разомкнута.

Заметьте, что коробка сделана из железа, которое хорошо притягивается электромагнитами. Труба же изготовлена не из железа, а из немагнитного материала — алюминия, дерева, картона — и через ее стенки беспрепятственно действуют магнитные силы.

Аналогичный принцип предлагалось использовать и в одном научно-фантастическом проекте транспорта будущего. На высоких опорах, на некотором расстоянии одна от другой, предполагалось устроить большие электромагнитные катушки и пустить стальной вагон, который пролетал бы по воздуху от одной катушки до другой, втягивался бы каждой из них и летел дальше. А другие мощные магниты должны были поддерживать вагон на высоте, не давая ему падать на землю...

Советские инженеры создали новый электросварочный автомат, в котором использовали передвижение с помощью электромагнитов. Сварочная головка сама движется по изделию вдоль свариваемого шва. Но в движение ее приводит не электродвигатель, а ряд электромагнитов. Они расположены по пути головки, один за другим включаются и своим притяжением передвигают ее все дальше и дальше.

Электромагниты используют в самых разнообразных областях производства. На бойнях, например, они применяются для

оглушения скота перед убоем. Рабочий нажимает кнопку, и электромагнит приводит в действие тяжелую буксу, которая бьет животное по голове, оглушает его и избавляет этим от дальнейших страданий.

Используются и различные свойства электромагнитов. Вот например, укладчик гвоздей (рис. 85). Потокom падают гвозди в подставленные ящики. Сначала они движутся в беспорядке и расположены в разные стороны. Но в определенном месте над ящиком гвозди вдруг, как по команде, поворачиваются все в одном и том же направлении и стройными рядами ложатся в ящик. Дело в том, что в этом месте они проходят между полюсами сильного электромагнита и располагаются вдоль силовых линий его магнитного поля. Линии же эти идут параллельно от одного полюса к другому. Сколько бы труда понадобилось для укладки этих гвоздей руками!

А как важно вовремя обнаружить внутренний порок металла! Железнодорожный рельс снаружи кажется вполне исправным. Но внутри него может образоваться трещина или раковина. Под тяжестью паровозных колес в дефектном месте может расколоться рельс и произойдет крушение поезда. Также может разру-

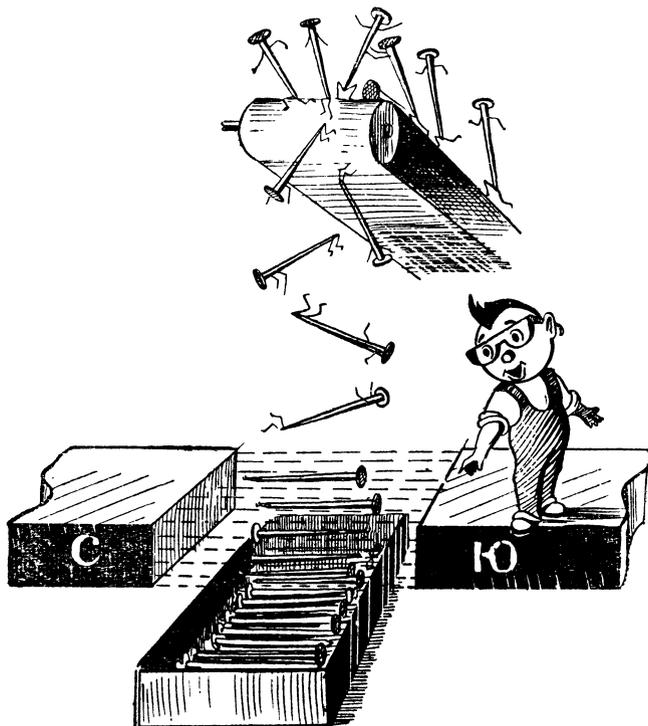


Рис. 85. Электромагнит — укладчик гвоздей

шиться и стальная балка моста. Поэтому металлические части машин и сооружений должны проходить строгую проверку. Но нелегко увидеть в них внутренние дефекты через толщу непрозрачного металла.

И все-таки увидеть их удалось с помощью магнитного поля (рис. 86) способом магнитной дефектоскопии. Для этого стальную деталь помещают в магнитное поле между двумя полюсами электромагнита, и через нее проходят магнитные силовые линии. В тех местах, где внутри металла находятся трещины или рако-

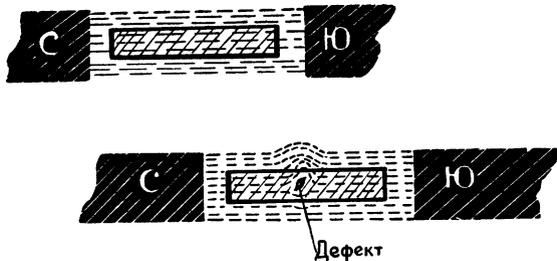


Рис. 86. Как увидеть невидимый дефект

вины, прослойки воздуха или посторонние включения из немагнитного материала, магнитный поток встречает препятствие. Силовые линии искривляются и, как бы обходя препятствие, выходят из детали наружу, сгущаются над дефектным местом.

Чтобы обнаружить эти места, поверхность детали посыпают порошком из смягченной железной руды или поливают жидкостью, содержащей такой порошок. Частицы порошка сильнее притягиваются и в большем количестве налипают в тех местах, в которых сгустились магнитные силовые линии, т. е. там, где внутри металла находятся опасные дефекты. При этом по расположению частичек красного порошка на поверхности металла можно хорошо видеть, как внутри его проходит трещина или какую форму имеет раковина, газовый пузырек и прочие дефекты. Метод магнитного видения дефектов — магнитная дефектоскопия — очень надежен и дает возможность заблаговременно предотвратить немало аварий на производстве и транспорте.

Железнодорожникам приходится внимательно проверять качество рельсов на протяжении сотен и тысяч километров. Посыпать их магнитным порошком и просматривать каждый метр рельса было бы вряд ли возможным. Поэтому создан специальный испытательный вагон-дефектоскоп (рис. 87), который движется по рельсам и автоматически на ходу проверяет, нет ли в них пороков. Две оси этого вагона превращены в сильные электромагниты, причем к каждому из рельсов обращены их разноименные полюса С и Ю. Магнитные силовые линии проходят по

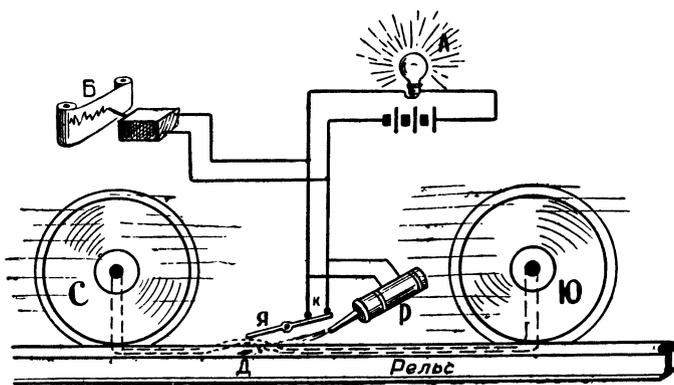


Рис. 87. Как обнаружить дефект в рельсах

рельсам между передней и задней осями, образуя замкнутый магнитный поток. В том месте, где в рельсе есть порок *Д*, над ним образуется искривление и сгущение силовых линий. Они притягивают легкий якорек *Я*, установленный в нижней части вагона, а он замыкает контакты *К* электрической цепи. Получается своеобразное электромагнитное реле, в котором сердечником служит сам проверяемый рельс. При каждом замыкании цепи — над дефектным местом — вспыхивает сигнальная лампочка *Л*, и производится автоматическая запись на бумажной ленте *Б*. Кроме того, распылитель *Р* тут же опрыскивает рельс краской. Вслед за вагоном на дрезине едут ремонтные рабочие и сменяют отмеченные рельсы или заваривают в них трещины и прочие дефекты.

НЕОБЫКНОВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Рабочему в глаз попала крошечная стальная стружка. Она беспокоит, причиняет боль, глаз быстро начинает краснеть. С таким нежным органом, как глаз, шутить нельзя и надо скорей идти в амбулаторию. Дежурная сестра легко и быстро справляется с бедой: она берет небольшой магнитный прибор, вводит его удлиненный конец под веко пострадавшего глаза и попавшая туда железная соринка тотчас притягивается и извлекается магнитом. Рассмотрим этот любопытный медицинский прибор. Знакомая всем катушка электромагнита, а внутри ее — железный сердечник. Но посмотрим, какую своеобразную форму имеет этот сердечник. Его выступающий из катушки удлиненный и суживающийся полюсный наконечник удобно вводить под глазное веко и извлекать им оттуда железные соринки. Он подводит туда магнитный поток — силовые линии магнитного поля.

Железный сердечник и якорь электромагнита образуют магнитопровод. Благодаря свойствам железа сосредоточивать в себе магнитное поле они придают ему ту или другую форму и проводят магнитный поток в нужное место — туда, где необходимо его наиболее сильное действие.

Форма электромагнитов и их магнитопроводов бывает очень разнообразна.

Научно-техническая мысль ученых и изобретателей создает все новые интересные типы магнитных устройств. Вот, например, своеобразная магнитная муфта, соединяющая и разъединяющая валы автоматической машины. Ее ведущая часть с электромагнитами нигде не соприкасается с ведомой частью — между ними оставлено пространство. Но этот промежуток заполнен густой магнитной жидкостью. Она состоит из порошка карбонильного железа, перемешанного с керосином или машинным маслом. Пока в катушках электромагнитов нет тока, этот жидкостный наполнитель имеет довольно малую вязкость, и ведущая часть муфты вращается, не передавая движения ведомой. Но, когда в катушки поступил ток, образовалось магнитное поле, проходящее через жидкий наполнитель. И от его действия последний сразу уплотнился, превратился в почти твердую массу, которая крепко связала ведущую и ведомую часть муфты и стала надежно передавать вращение. Она передает даже большие усилия, чем прежние обычные электромагнитные муфты с соприкасающимися твердыми частями. Причем соединение и разъединение валов происходит очень быстро, за две-три сотых доли секунды.

Разнообразны и обмотки катушек — электромагнитов (рис. 88). Понаблюдаем за работой электродвигателя. Питающая его цепь неожиданно размыкается, и двигатель останавливается. Это сработало защитное реле тока или напряжения. В цепи электродвигателя оказался слишком сильный ток или чрезмерно большое напряжение, вредные и опасные для его обмоток. Лучше на время остановить работу, чем вывести из

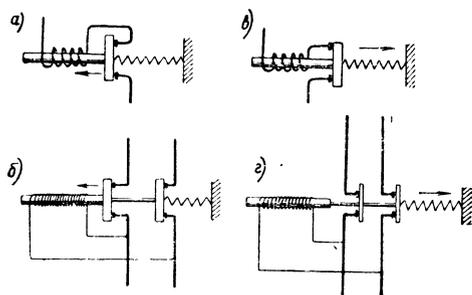


Рис. 88. Защитные реле тока и напряжения:

а — максимальное реле тока, б — максимальное реле напряжения, в — минимальное реле тока, г — минимальное реле напряжения

строю дорогой двигатель. Но как действует это умное защитное устройство? В обоих реле — тока и напряжения главной частью являются электромагниты, автоматически размыкающие контакты цепи. Сравните эти два электромагнита и посмотрите, как включены в цепь их катушки? У реле тока (рис. 88, а) она включена последовательно, так как через ее обмотки должен

проходить весь ток, проходящий по линии. Катушка же, контролирующая напряжение (рис. 88, б), включена параллельно между двумя проводами, так как именно таким способом можно измерять напряжение между ними. Но почему у реле тока катушка сделана из небольшого числа витков толстой проволоки, а у реле напряжения — из большого числа тонких витков? Потому что по обмотке первого реле проходит полный ток цепи — ток большой величины. Обмотка из толстой проволоки с малым числом витков оказывает ему меньшее сопротивление. Во втором же реле, контролирующем напряжение, достаточно отвести лишь небольшую часть тока. Для этого обмотка его делается с большим сопротивлением. Заметьте, что втягивающее усилие электромагнита зависит от произведения силы тока на число витков катушки. Поэтому притяжение в обоих приборах достаточно для их надежной работы.

Но как сделать защитное реле, чтобы оно размыкало цепь не при чрезмерно большом, а, наоборот, при слишком малом токе или напряжении? Тут должна происходить борьба между притягивающей силой магнита и силой противодействующей пружины. В максимальных реле (рис. 88, а, б) пружина держит контакты закрытыми, и электромагнит размыкает их, когда сила тока или напряжение становятся слишком большими. В минимальных же реле (рис. 88, в, г), наоборот, — пружина размыкает контакты, когда сила тока или напряжение становятся недостаточными, и электромагнит уже не в силах удержать контакты в замкнутом положении.

А что это за странный электромагнит, у которого не одна, а две различные обмотки? Причем одна из них включена в цепь последовательно и состоит из немногих толстых витков, другая же включена параллельно и имеет большое число тонких витков. Вы уже теперь знаете, что первая обмотка создает притягивающую силу в зависимости от величины тока, а вторая — в зависимости от напряжения. Вспомните из курса физики, что получится, если величину тока (в амперах) умножить на напряжение (в вольтах)? Получается мощность тока (в ваттах).

Перед нами реле мощности. Такие реле могут контролировать мощность машин или аппаратов и в зависимости от мощности тока управлять их автоматическими устройствами.

Устройство и назначение обмоток электромагнитов подчас бывает оригинальным и остроумным. Интересное реле устанавливают на многих автомобилях (рис. 89). Ток здесь получается от небольшого генератора и от батареи аккумуляторов. Когда автомобиль замедляет скорость, уменьшается и число оборотов генератора, вследствие чего снижается напряжение на его зажимах. Оно становится меньше, чем напряжение батареи, и из батареи может пойти сильный обратный ток, который перегреет и повредит обмотки генератора. Необходимо предотвратить возникновение такого обратного тока. С этой целью устанавливают

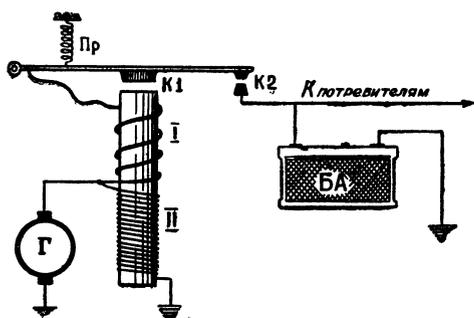


Рис. 89. Реле обратного тока на автомобиле

По первой проходит ток большой силы, поэтому она состоит из немногих витков толстой проволоки. Обратите внимание на то, как намотаны витки в обеих частях катушки и в каком направлении проходит по ним ток. Надо заметить, что от направления тока в витках зависит то или другое направление образующегося магнитного потока и расположение полюсов магнита. В обеих обмотках этого электромагнита направление тока в витках одинаково (если посмотреть снизу по часовой стрелке). Поэтому обе обмотки создают в сердечнике магнитные потоки одного и того же направления. Магнитные потоки складываются, и от этого магнит с удвоенной силой притягивает якорь и сжимает контакты $K2$. Так и бывает, пока генератор вращается с достаточной скоростью и имеет нормальное напряжение: контакты замкнуты, и ток из генератора идет через обмотку I , контакты $K1$ и $K2$ к токоприемникам.

Но вот автомобиль замедляет ход. Скорость вращения генератора уменьшается, и напряжение падает. Из батареи аккумуляторов $БА$, присоединенной к той же цепи, обратный ток направляется к генератору. По пути он проходит через обмотку I электромагнита. Что получается теперь с магнитным полем и намагничиванием сердечника? Направление тока в витках обмотки I изменилось и стало противоположным прежнему. Поэтому противоположным стало и направление создаваемого им магнитного потока. Теперь в витках обеих обмоток (I и II) направление тока стало различным. Направления магнитных потоков, созданных этими токами, будут также противоположными.

Если раньше оба магнитных потока складывались, то теперь они вычитаются один из другого. А от этого притягивающая сила электромагнита значительно ослабевает. Он уже не может удерживать якорь, который оттягивается пружиной $Пр$, и контакты $K1$ и $K2$ размыкаются. Генератор $Г$ отключается от цепи, и обратный ток в него из батареи уже не поступает.

защитное устройство — реле обратного тока, которое в нужный момент само отключит генератор от батареи.

В таком реле находится электромагнит особого вида. Катушка его имеет две обмотки. Первая из них включена последовательно между генератором и потребителями энергии, вторая же — параллельно генератору и присоединяется к корпусу машины.

Взгляните еще на один прибор с электромагнитом (рис. 90), имеющим широкие и круглые полюсные наконечники, охватывающие вращающийся диск. Прибор состоит из двух электромагнитов. Один из них ЭМ1, как обычно, втягивает свой якорь и замыкает или размыкает контакты К. При этом рычагами Р и зубчатой передачей он поворачивает металлический диск Д.

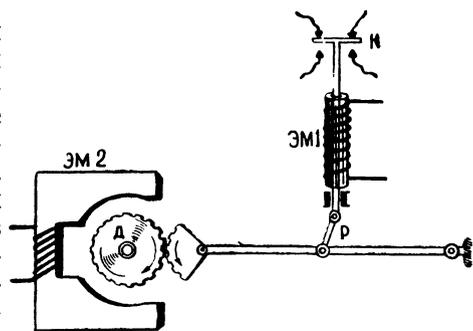


Рис. 90. Магнитное торможение

Диск же этот находится в сильном магнитном поле между полюсами другого электромагнита ЭМ2. От этого в диске возбуждаются токи, а от взаимодействия токов с магнитным полем возникает тормозящая сила. Она замедляет вращение диска. Замедление передается якорю электромагнита ЭМ1. Последний срабатывает и замыкает или размыкает контакты не сразу, когда в его обмотку поступает ток, а с некоторой выдержкой времени. Это один из видов реле времени, которое, как вы уже знаете, нередко имеет большое значение в работе автоматов.

В автоматических устройствах нередко используется различное направление постоянного тока. Поэтому в них нужны приборы, различающие, идет ли ток в ту или в другую сторону.

В этих случаях применяют более сложные поляризованные реле (рис. 91). В них, кроме электромагнитов, используются постоянные магниты. Постоянный магнит служит основой, а на него наматываются витки обмотки электромагнита. Пока в этих витках не проходит тока, оба полюса постоянного магнита притягивают с одинаковой силой, и якорь Я удерживается пружинами П как раз посередине между полюсами С и Ю в нейтральном положении. Но вот по виткам электромагнита ЭМ пошел постоянный ток. Созданный им дополнительный магнитный поток накладывается на прежний основной поток постоянно-

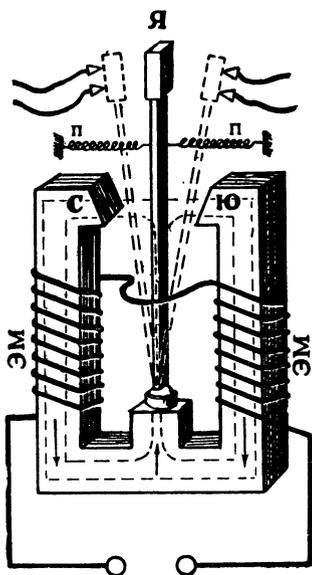


Рис. 91. Магнит поляризованного действия

го магнита. У одного полюса дополнительный магнитный поток складывается с основным, а у другого полюса вычитается из него. И теперь уже полюса магнита начнут притягивать с неодинаковой силой, и якорь притянется к одному из них. Но который из полюсов будет притягивать сильнее? Это зависит от направления тока в витках обмотки электромагнита. Ведь при разных направлениях постоянного тока магнитный поток тоже образуется в противоположных направлениях. Поэтому при одном направлении тока усилится притяжение северного полюса С, а при другом — южного полюса Ю. В зависимости от направления тока якорь перейдет к тому или другому полюсу и замкнет те или иные контакты. В результате автоматическое устройство произведет то или другое действие.

Поляризованные реле применяются, например, при управлении машинами на расстоянии. При токе прямого направления они подают электрический приказ одному механизму, а при токе противоположного направления — другому.

Надо заметить, что поляризованные реле очень чувствительны. Они отвечают на очень слабые токи, иногда составляющие лишь тысячные доли ампера, и в 10—20 раз чувствительнее обычных электромагнитных приборов.

ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ ТОНКОГО ДЕЙСТВИЯ

В технике применяются электромагниты-силачи, поднимающие многие тонны железного груза, соединяющие валы машин или крепко удерживающие изделия, обрабатываемые на станках. Но не всегда нужна такая большая сила электромагнитов. Во многих случаях вся работа их состоит в том, чтобы притянуть небольшой якорь и замкнуть контакты управления в цепи весьма слабого тока, для чего достаточно лишь очень малое усилие. Но какое громадное значение имеют эти электромагниты во многих областях техники. Работа электромагнитов бывает здесь очень тонкой.

Вы несколько раз поворачиваете диск телефонного аппарата и набираете нужный вам номер: Г-1-3-4-5-3. А далеко, на автоматической телефонной станции, сложные электрические аппараты соединяют вас с вашим знакомым. Подобный же принцип номеронабирателя можно использовать и для управления на расстоянии различными механизмами, посылая им по проводам электрические приказы. Поворачивая диск и набирая номера 1, 2, 3 и т. д., диспетчер посылает различные приказы и управляет далекими объектами.

Что происходит, когда поворачивают диск номеронабирателя? Под диском по его окружности находятся 10 электрических контактов. При повороте диск один за другим на короткое время замыкает эти контакты. А от этого по линии посылаются

несколько коротких импульсов тока 1, 3, 4, 5, 3 в зависимости от того, на какую часть оборота повернулся диск. Так происходит на командном посту — как видите, очень просто.

Что же происходит на дальнем исполнительном посту (рис. 92)? Электрические приказы в виде нескольких коротких импульсов тока поступают в катушку электромагнита ЭМ. От каждого из них он на короткое время намагничивается и притягивает свой якорь Я.

Якорь тянет за собой рычажок Р, который упирается в зуб зубчатого колеса З и поворачивает его на один шаг. При этом вместе с колесом поворачивается и контактная планка П, которая замыкает цепь одного из контактов К, расположенных вокруг колеса. После каждого импульса тока пружина Пр оттягивает якорь Я обратно. А когда с поста управления поступает следующий импульс тока, электромагнит снова притягивает якорь, и рычажок Р поворачивает зубчатое колесо еще на один шаг. Планка П переходит на контакт следующей цепи управления. Так повторяется столько раз, сколько импульсов тока послано в электромагнит. Если, например, надо дать команду определенному механизму, двигателем которого управляет цепь контакта 4, в линию посылаются четыре коротких импульса тока. Электромагнит четыре раза притягивает якорь, рычаг поворачивает колесо на четыре шага, а контактная планка переходит на четвертый контакт и замыкает его цепь. Такой аппарат называется шаговым искателем. Конечно, мы рассказали лишь об основном принципе действия такого прибора; устройство его на практике значительно сложнее. Принцип этот широко применяется и для решения других технических задач.

Перед вами станок-автомат. Его стол с изделием проходит под режущим инструментом, который должен сделать определенное число проходов, после чего вступают в действие другие механизмы, которые снимут готовое изделие и установят следующую заготовку. Но кто (или что) ведет счет нужному числу проходов? Счет ведет его счетное реле (рис. 93), которое по своему устройству имеет много общего с рассмотренным шаговым устройством. При каждом проходе стол станка замыкает контактную цепь и этим посылает короткий импульс тока в электромагнит ЭМ. Последний притягивает свой якорь, и собачка С поворачивает храповое зубчатое колесо на один шаг. Справа на этом колесе установлен палец П. Дойдя до рычага Р (внизу),

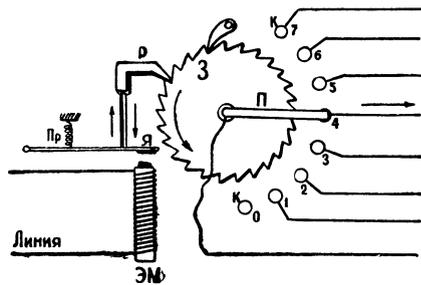


Рис. 92. Как работает шаговый искатель:
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — контакты

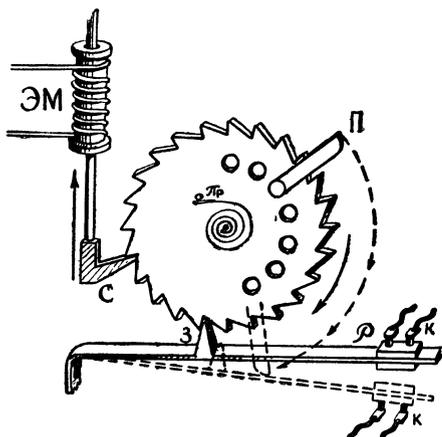


Рис. 93. Электромагнитный счетчик

палец отождмет его, и рычаг переключит контакты *К*. Но палец *П* установлен в определенном месте колеса на расстоянии нужного числа шагов от рычага *Р*. С каждым новым проходом стола в электромагнит поступает короткий импульс тока и поворачивает колесо на следующий шаг. Через заданное число проходов палец *П* подойдет к рычагу *Р* и нажмет на него — реле сработает, и автоматическое устройство сменит изделие.

Обратите внимание на защелку *З* (внизу). Пока палец не отжал рычаг, защелка не позволяет храповому колесу вращаться обратно. Но как только рычаг *Р* отойдет вниз и реле сработает, защелка *З* освободит колесо, и спиральная пружина *Пр* повернет его обратно. Палец *П* встанет в свое исходное положение, и реле будет готово к новому счету проходов стола.

В прошлом столетии был изобретен телеграф. Буквы и слова стали передаваться по телеграфной азбуке Морзе, в которой каждая буква алфавита выражается сочетанием электрических тире и точек (см. рис. 41 на стр. 76).

Сердцем телеграфного аппарата тоже стал электромагнит. Телеграфист ключом замыкает цепь и посылает в линию то совсем короткие импульсы тока — точки, то немного более продолжительные — тире. А на другом конце линии, в приемном аппарате, токи эти поступают в катушку электромагнита, и он притягивает и отпускает свой якорь, который на движущейся бумажной ленте прочерчивает тире и точки — буквы, из которых составляются слова передаваемой телеграммы. В современных быстродействующих буквопечатных телеграфных аппаратах работают пять электромагнитов. Они принимают условные комбинации импульсов тока, выражающие ту или другую букву, и с помощью системы рычагов отпечатывают нужную букву на бумажной ленте. Электромагниты эти работают с огромной скоростью.

Но перед изобретателями стояла задача найти способ передачи на расстоянии голоса человека — создать телефон. Эта задача была решена также благодаря электромагниту, который выполняет очень тонкую работу — передает все оттенки голоса человека — звука.

Мы рассказали, как работает микрофон с угольными крупин-

ками, превращающий звуковые колебания воздуха в изменения электрического тока. Посмотрим теперь, как на другом конце телефонной линии эти изменения тока снова превращаются в звук, в колебания воздуха.

Здесь находится чувствительный электромагнит, в который поступает микрофонный ток. Электромагнит притягивает упругую пластинку — мембрану. Она-то своими колебаниями и создает колебания воздуха, которые ухо воспринимает как звук. При каждом усилении тока, передающего речь вашего собеседника, увеличивается намагничивание электромагнита, и он сильнее притягивает мембрану. А от этого она изгибается в сторону его полюсов. При каждом же ослаблении тока намагничивание уменьшается, и притяжение мембраны ослабевае — упругая пластинка отходит от полюсов магнита. Эти изменения происходят много раз в секунду в точном соответствии с звуковыми колебаниями передаваемой речи. И в результате электромагнит и мембрана около вашего уха в точности воспроизводят звуки голоса, которые ваш собеседник произносит в микрофон на другом конце телефонной линии, на большом расстоянии от вас.

Если разобрать телефонную трубку и рассмотреть ее части, то можно увидеть, что магнитная система в ней довольно сложна. Она состоит из постоянного магнита и электромагнита.

Витки последнего надеты на полюсные наконечники постоянного магнита. Такая конструкция электромагнита способствует более точной передаче речи. От притяжения постоянного магнита мембрана все время несколько выгнута к нему и находится близко от его полюсов. Электромагнит же, возбуждаемый микрофонным током, создает добавочное переменное магнитное поле, которое по своему направлению то складывается с полем постоянного магнита, то вычитается из него, заставляя мембрану колебаться по отношению к ее положению равновесия. Такая конструкция обеспечивает высокую чувствительность телефона.

Техника электрической передачи и записи звука в последнее время быстро развивается. Кто сейчас не знает о магнитофонах, с помощью которых можно записать, а потом воспроизвести любую музыку, голос и прочие звуки. Но в чем сущность действия магнитофона? (Рис. 94). Звуки записываются на ферромагнитную ленту — специальную пленку, на которую нанесен тонкий слой из очень мелких частиц вещества, обладающего магнитными свойствами железа. В этом слое от действия изменяющегося магнитного поля происходит намагничивание, которое то увеличивается, то уменьшается в точном соответствии с записываемыми звуковыми колебаниями.

Ферромагнитная лента перематывается с одного валика на другой. По пути она равномерно движется мимо полюсов записывающего электромагнита ЭМ1. В его обмотку поступает ток переменной величины, изменения которого соответствуют звуковым колебаниям музыки или речи. Подобно им изменяется

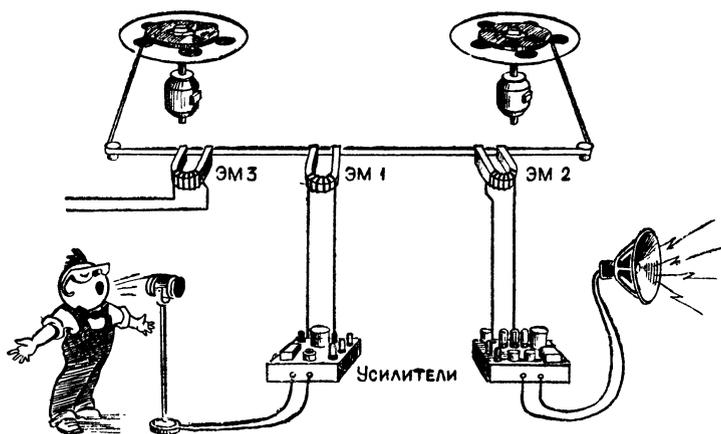


Рис. 94. Как действует магнитофон

и силовое поле электромагнита. А это производит магнитную запись в ферромагнитном слое движущейся ленты. Надо соединить (через усилитель) записывающий магнит с мембраной, принимающей звуковые колебания. И тогда магнит в такт этим колебаниям будет то приближаться к ленте, то удаляться от нее, а от этого и намагничивание ленты будет то усиливаться, то ослабевать. Лента все время движется мимо магнита, и он записывает на ней все новые и новые звуки.

А как воспроизводится записанный звук? Для этого служит катушка звукоснимателя ЭМ2, близ которого проходит движущаяся лента с магнитной записью. Намагниченность ленты, ее магнитное поле то более, то менее сильно по закону индукции возбуждает в катушке слабый ток переменной величины. Изменения этого тока в точности соответствуют большей или меньшей намагниченности ленты, значит, и записанным на ней звукам. Ток проходит через усилитель и поступает в репродуктор, а он превращает изменения величины тока в звуковые колебания воздуха, которые и слышит ваше ухо. Качество звука получается очень хорошее.

Одну и ту же ферромагнитную ленту можно использовать много раз для различных звуковых записей. Прежнюю запись стирают и записывают новую. Для этого служит еще один электромагнит (ЭМ3) — стиратель, в катушку которого подается переменный ток. Его переменное магнитное поле расстраивает правильное расположение частиц в ленте и этим уничтожает ее намагниченность, соответствующую записанным звукам.

Как действуют громкоговорители или репродукторы, которые постоянно используются в радиотехнике? Раньше и в них применяли электромагнитный принцип, подобный телефону, только электромагнит вместо маленькой мембраны вызывал звуковые

колебания большого упругого диффузора, связанного с якорем магнита. Однако лучшими оказались репродукторы другого электродинамического типа (рис. 95). Они основаны на взаимодействии магнитного поля и катушки с протекающим по ней током. В постоянном магнитном поле, созданном подмагничивающей обмоткой *ПО*, вместо якоря находится подвижная катушка *ЗК*. В нее-то и поступает ток из микрофона, изменения которого соответствуют звуковым колебаниям речи или музыки. От взаимодействия этого изменяющегося по величине тока с постоянным магнитным полем звуковая катушка *ЗК* движется в ту или иную сторону, а с ней приходит в колебательное движение и большая поверхность диффузора. Движения эти в точности соответствуют колебаниям передаваемых звуков, которые и распространяются в окружающем воздухе.

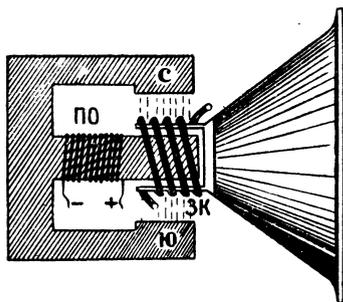


Рис. 95. Громкоговоритель





ГЛАВА VI

ЧТО ДАЛО ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

ОБ ОДНОМ ОТКРЫТИИ, СДЕЛАВШЕМ ЭПОХУ В ТЕХНИКЕ

Быстро мчится поезд. Через определенные участки пути мелькают огни светофоров: зеленые, желтые, красные. Зеленый сигнал — «Путь свободен», желтый — «Замедлить ход», красный — «Путь занят — остановиться». Но огни светофоров не всегда хорошо видны. В проливной дождь, густой туман или снежную метель их можно не разглядеть. Поэтому было сделано новое интересное изобретение: зеленые, желтые и красные сигналы зажигаются не только вдоль пути, но и в самой будке локомотива, перед глазами машиниста. Не увидеть их уже никак нельзя. Но если даже случится, что машинист заснет или почему-либо не заметит красного сигнала, специальный прибор — автостоп — немедленно сам остановит поезд.

Как это происходит? Как на полном ходу, при любой скорости сигналы передаются из путевых устройств приборам, находящимся на локомотиве?

В такой передаче использовано очень важное явление — электромагнитная индукция. Если какой-нибудь проводник движется в магнитном поле и пересекает его силовые линии, в этом проводнике возбуждается электрический ток. По рельсам посылаются импульсы тока. Вокруг рельсов образуются магнитные поля. А на локомотиве внизу около рельсов устроены приемные катушки из проводов. И когда по рельсам проходят сигнальные токи, катушки локомотива пересекают их магнитные поля, и от этого в их витках по индукции возбуждаются токи. Конечно, токи эти очень слабы, но их во много раз усиливают, и они воздействуют на автоматические устройства локомотива.

По рельсам подаются условные сигналы: при зеленом свето-

форе—три коротких импульса тока, при желтом — два, при красном — один. Так повторяется через определенные интервалы. В приемных катушках локомотива по индукции тоже возбуждаются сигналы из трех, двух или одного коротких импульсов тока. Специальное устройство направляет их в цепи соответствующих светофоров, и в будке машиниста зажигается зеленая, желтая или красная лампа.

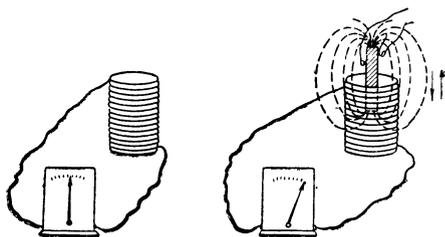


Рис. 96. Опыт Фарадея

Если путь разобран или в рельсе образовалась опасная трещина, токи-сигналы в нем вообще прекратятся. Прекратится и индукция в приемных катушках локомотивов. В ответ на это перед машинистом тоже загорится красный сигнал и автостоп через несколько секунд остановит поезд.

В основе этого завоевания техники, как и многих других, лежит открытие одного очень важного физического явления — индукции тока.

130 лет назад производил свои замечательные опыты выдающийся английский физик Майкл Фарадей — сын простого рабочего. Этим опытам суждено было сыграть историческую роль в прогрессе науки и техники.

В то время было уже известно, что электрический ток создает магнитное поле. Но Фарадей решил выяснить, не происходит ли и обратное — не возникает ли электрический ток от действия магнитного поля? Он был уверен в этом и поставил целью своей многолетней работы открыть, как это происходит.

Фарадей сделал катушку из металлического провода (рис. 96). Затем он взял магнит, ввел его внутрь катушки и стал двигать его взад и вперед. Тогда измерительный прибор — гальванометр, соединенный с витками катушки, показал, что в них возник ток, хотя катушка и не получала тока ни от какого другого источника. Откуда взялся ток в катушке? Фарадей понял, что при движении магнита силовые линии его магнитного поля пересекали витки катушки и именно от этого в них возбуждалась электродвижущая сила (э. д. с.) и при замкнутой цепи возникал ток (рис. 96). Так, в 1831 г. была открыта электромагнитная индукция. Это научное открытие, сделанное в лаборатории ученого-физика, создало новую эпоху в технике.

В прошлом столетии быстро развивалась электротехника; электричество находило все более широкое применение и возникла необходимость создать удобный, надежный и мощный источник электрической энергии. Изобретатели поняли, что открытие Фарадея указывает путь, по которому надо идти, чтобы

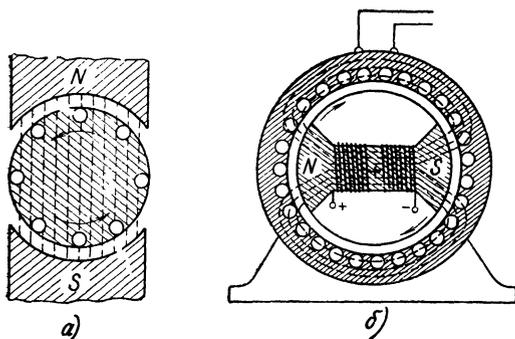


Рис. 97. Принцип действия генератора:
 а — возбуждение тока в роторе, б — возбуждение тока в статоре

создать такой источник электроэнергии. Ведь в катушке Фарадея возбуждалась э. д. с. и появлялся ток потому, что близ витков катушки двигался магнит, создававший вокруг магнитное силовое поле. Электроэнергия возникла за счет энергии движения — происходило превращение механической энергии в электрическую. Это и надо было положить в основу новой машины, про-

изводящей электричество.

Но получение электрического тока в опытах Фарадея с практической точки зрения было еще очень несовершенным. Магнит надо было двигать вперед и назад, а в катушке появлялись лишь отдельные короткие, прерывистые токи. Для нужд же техники и производства необходимо было получить длительный, непрерывный, устойчивый и к тому же сильный ток. Надо было изобрести такое устройство и создать такие условия, чтобы Фарадеева индукция производила свое действие непрерывно и с большой мощностью. Изобретатели поняли, что для этого следует применить не возвратно-поступательное, а вращательное движение: вращать проводники в магнитном поле или, наоборот, вращать магниты, окружив их проводниками.

В течение нескольких десятилетий упорным трудом многих талантливых ученых и изобретателей создавались и совершенствовались электрические генераторы, которые теперь работают на электростанциях всего мира и производят колоссальное количество электроэнергии.

Вот в общих чертах устройство мощного генератора современной электростанции (рис. 97, б). Он состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося внутри него ротора.

На роторе установлены сильные электромагниты, создающие магнитное поле. Их полюса направлены в разные стороны. А на внутренней поверхности статора проложена обмотка в виде медных проводников, соединенных в общую цепь.

Когда ротор вращается, его магнитное поле все время пересекает проводники статора. А от этого в них по индукции возбуждается электродвижущая сила, и при замкнутой внешней цепи возникает ток. И так как мимо обмотки все время один за другим быстро проходят магнитные полюса ротора, в ней непрерывно возбуждается ток, который затем отводится в сеть.

Но посмотрите, как странно устроен этот небольшой генератор (рис. 97, а). Электромагниты, создающие магнитное поле, находятся в его статоре, а проводники, в которых возбуждается ток, расположены на поверхности ротора и вращаются в магнитном поле. Магниты и проводники как бы поменялись местами. Однако сущность действия от этого не изменилась, ведь для индуктирования тока важно, чтобы магнитные силовые линии пересекали проводники.

На советских электростанциях работают гигантские генераторы. На новой Куйбышевской гидроэлектростанции им. В. И. Ленина каждый из ее 20 гидрогенераторов имеет мощность 115 тыс. *квт*. Поперечник рабочего колеса турбины этого гиганта 9,3 м, а диаметр ротора генератора даже около 15 м. Весит такой ротор 750 т. Один лишь вал турбины имеет толщину в полтора метра.

Для изготовления таких генераторов и турбин нужны колоссальные станки. Вращающаяся платформа карусельного станка, на котором они обрабатываются, имеет размеры цирковой арены. Нелегко и доставить их с завода на электростанцию. Генераторы-гиганты приходится разбирать на части, размеры которых определяются габаритами железнодорожных мостов, туннелей и т. д. Для их перевозки делают специальные низкие железнодорожные платформы, которые назвали крокодилами.

Почти с каждым годом растет мощность гигантских турбин и генераторов, изготавливаемых на советских заводах (рис. 98). В послевоенные годы ленинградские рабочие и инженеры освоили производство паровых турбин высокого давления 100, а затем и 150 тыс. *квт*. Теперь строятся уже **колоссы** в 200 тыс. *квт*, а в новой семилетке будут сооружены еще более

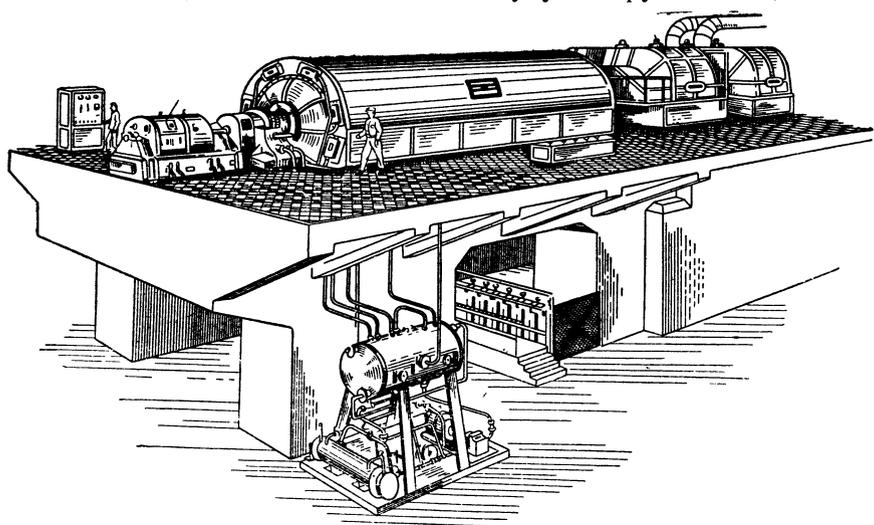


Рис. 98. Турбогенератор-гигант

грандиозные агрегаты — 300 тыс. *квт.* Но и этого мало. Выполняя решения XXI съезда КПСС, передовое советское машиностроение готовится к созданию невиданных сверхгигантов мощностью 600 тыс. *квт.*

В помощь генераторам-гигантам наших тепловых и гидроэлектростанций работают тысячи небольших генераторов. Колхозы и совхозы строят для своих нужд электростанции на небольших речках и других местных источниках энергии. Мощность их генераторов всего сотни и даже десятки киловатт. Но генератор в 35—60—100 *квт* может хорошо освещать десятки дворов и питать энергией колхозные машины и фермы.

Вольные ветры гуляют по необъятным полям нашей Родины. Их тоже можно приручить и заставить вращать небольшие генераторы сельских электростанций. 10—12 таких генераторов с крылатыми двигателями на высоких мачтах, расположенные на площади в треть квадратного километра, могут вырабатывать общую мощность в несколько сот киловатт.

Но есть и гораздо меньшие генераторы-карлики. На каждом автомобиле работает своя электростанция с генератором мощностью не более четверти киловатта и батареей аккумуляторов. Она питает энергией все небольшое электрическое хозяйство автомашины: зажигание газа в цилиндрах двигателя, освещение, фары, сигнализацию.

Мы скоро увидим, что электромагнитная индукция, открытая физиками, нашла и много других важных применений в технике.

СЕРДЦЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Генераторы производят всю ту электроэнергию, которая нужна нашей промышленности, транспорту, сельскому хозяйству, культуре и быту. Без них техника шагнула бы на сто лет назад. Присмотримся к их работе.

Мощные генераторы имеют один общий вал с паровой или водяной турбиной, так что они образуют с ними неразрывное целое — турбогенератор или гидрогенератор (рис. 98 и 99). Сравним их между собой. Бросается в глаза гораздо больший диаметр гидрогенераторов. Именно у них он достигает иногда 10—15 м. Дело в том, что водяные турбины вращаются гораздо медленнее паровых. Паровые турбины и их генераторы очень быстроходны, обычно они делают 3 тыс. об/мин. От этого в их вращающихся частях — роторах — развивается огромная центробежная сила, стремящаяся отбросить части вращающейся машины от центра во все стороны. А ведь чем больше радиус, расстояние от оси, тем больше и опаснее становится центробежная сила. Вот почему быстроходные турбогенераторы приходится изготавливать с роторами меньших диаметров. Чтобы разместить в них обмотку, их делают более длинными. Но и при меньшем диаметре при-

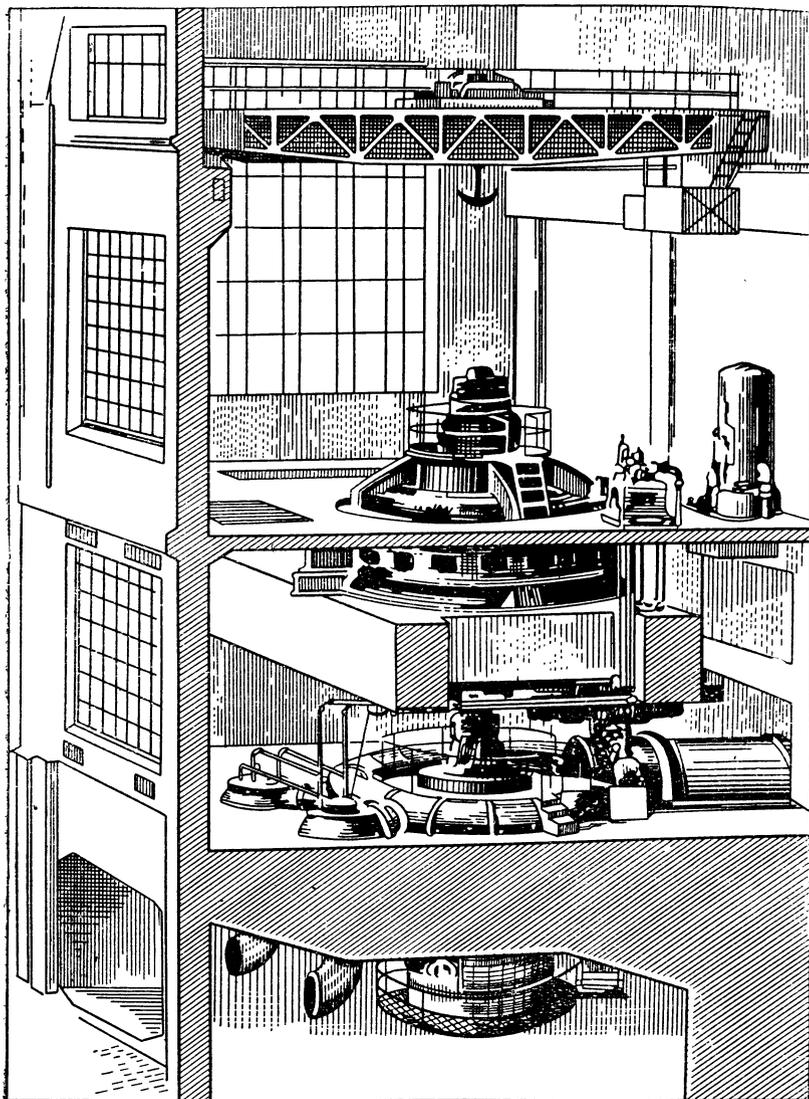


Рис. 99. Гидрогенератор

ходится прочно закреплять части ротора, тогда при быстром вращении центробежная сила не раскидает их в стороны. Гидрогенераторы же тихоходны, их скорость в большинстве случаев не превышает 125 об/мин. Поэтому центробежная сила в них значительно меньше и их можно делать бóльшего диаметра.

В различии турбо- и гидрогенераторов имеет значение еще одно обстоятельство. Это число полюсов электромагнитов ротора. У турбогенераторов их мало — всего два, иногда четыре. У гидрогенераторов же, наоборот, полюсов много — несколько десятков. У гигантов Куйбышевской ГЭС их по 88. А чтобы разместить столько полюсов, нужна большая окружность ротора.

Генераторы обычно производят переменный ток. Его легче получить и удобнее передавать на большие расстояния. Мимо обмоток статора по очереди проходят то северные, то южные полюса электромагнитов. А от этого меняется направление индуктированного тока. Если надо, чтобы генератор давал не переменный, а постоянный ток, в нем делают дополнительное довольно сложное выпрямляющее устройство.

Наши электростанции производят переменный ток стандартной частоты — 50 *пер/сек*. Отчего зависит нужная частота тока? Произведите небольшой расчет. Каждый период — движение тока туда и обратно — соответствует двум полюсам электромагнитов, прошедшим мимо обмоток статора. Если турбогенератор совершает 3 тыс. об/мин, то для получения частоты в $50 \times 60 = 3000$ *пер/мин* нужна всего одна пара полюсов. Если скорость в два раза меньше 1500 об/мин, то для той же частоты нужны уже две пары полюсов (4 полюса). А сколько понадобится пар полюсов тихоходному гидрогенератору, совершающему, скажем, 100 об/мин, чтобы получить ту же стандартную частоту 50 *пер/сек* (в минуту 3000 пер.). Нетрудно рассчитать, что их придется установить $3000 : 100 = 30$ пар (или 60 полюсов). А чтобы разместить эти десятки полюсов, приходится делать ротор бóльшего диаметра.

Производству требуется не только огромное количество, но и высокое качество электроэнергии. Что это значит? Важно, чтобы ток имел строго неизменную частоту. Если частота его меняется и становится большей или меньшей, то изменится скорость электродвигателей и нарушится правильность работы многих электрических аппаратов. Частота же тока зависит от скорости вращения генератора. Поэтому на электростанциях автоматические регуляторы строго поддерживают неизменную скорость вращения турбин, а с ними и генераторов. При малейшем отклонении скорости они изменяют положение лопаток турбины и количество поступающего в нее пара или воды.

Но потребители нуждаются и в строго определенном напряжении в сети. При недостаточном напряжении лампы светят неполным накалом, слабо тянут электродвигатели. При слишком же

большом напряжении лампы быстро перегорают, портятся чувствительные и дорогие электроприборы. Работники электростанций внимательно следят за тем, чтобы поддерживать неизменное напряжение.

От чего зависит напряжение, получаемое от генератора и чем можно его регулировать? Вернемся к электромагнитной индукции в генераторе. Электродвижущая сила, возбуждаемая в его обмотке, зависит от двух причин: от напряженности магнитного поля ротора и от того, как часто его силовые линии пересекают проводники статора. А частота этого пересечения зависит от скорости вращения ротора. Значит, для регулирования напряжения надо изменять или магнитное поле ротора или его скорость. Но изменять скорость нельзя, так как нарушится частота тока. Следовательно, надо регулировать магнитное поле, а для этого изменять величину тока возбуждения, который подается в электромагниты ротора. Это делается автоматически.

Рассмотрите (рис. 100), как действует такой регулятор напряжения у небольшого генератора постоянного тока. Обмотка возбуждения *ОВ* (обмотка электромагнитов, создающих в генераторе магнитное поле) питается от самого генератора *Г*. Но ток в нее проходит через столбик из угольных дисков *УС*, который, как вы уже знаете, служит реостатом, изменяющим силу тока. На столбик действуют пружина *Пр*, которая через рычаг *Р* сжимает столбик и уменьшает его сопротивление, и электромагнит *ЭМ*, включенный во внешнюю цепь генератора, который, наоборот, оттягивает рычаг *Р* и уменьшает давление на угольный столбик, увеличивая этим его сопротивление.

Что происходит, когда напряжение генератора уменьшается? Уменьшается и ток в электромагните *ЭМ* и ослабляется сила, с которой он притягивает рычаг. Тогда пружина *Пр* сильнее нажимает на столбик *УС*, сопротивление столбика уменьшается, и в обмотку возбуждения генератора *ОВ* поступает более сильный ток. А от этого увеличивается напряженность магнитного поля в генераторе, усиливается индукция, и генератор дает более высокое напряжение.

А что произойдет, если, наоборот, генератор начнет создавать слишком большое напряжение? Электромагнит *ЭМ* будет притягивать сильнее и давление на угольный столбик уменьшится. Увеличится сопротивление столбика и через него в обмотку возбуждения генератора пойдет меньший ток. Уменьшатся напря-

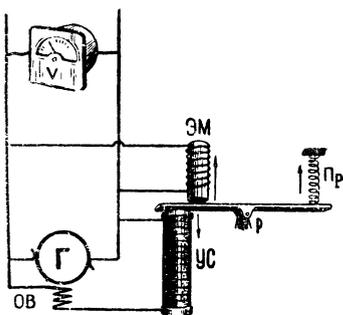


Рис. 100. Как регулировать напряжение генератора

женность магнитного поля в генераторе и индукция, а в результате этого понизится напряжение.

На большой электростанции вы увидите любопытную картину: огромный генератор, а на конце его вала для чего-то прилепился другой в сравнении с ним крошечный генератор — словно моська, взобравшаяся на слона. Но без этого маленького помощника гигант не мог бы работать. Это вспомогательный генератор-возбудитель. Дело в том, что электромагниты ротора надо питать постоянным током, а большой генератор его не вырабатывает. Этот постоянный ток создает маленький помощник большого генератора. Между карликом и гигантом включены автоматические регуляторы. Они вводят в цепь возбуждения большее или меньшее сопротивление реостата или управляют током с помощью новых электронно-ионных приборов, о которых мы поговорим позже, и этим заставляют генератор-гигант давать в сеть неизменное напряжение.

Электромагниты мощных генераторов создают очень сильное магнитное поле. Один молодой инженер, придя на завод, где изготовлялись генераторы, вздумал посмотреть на часы и вынул их из кармана, но часы тут же вырвались из его рук, полетели по воздуху к полюсу электромагнита, ударились об него и разбились.

Заметьте, как ровно и точно уложена обмотка генератора и какой узкий промежуток (воздушный зазор) остается между его статором и вращающимся ротором. Строители генераторов стремятся сберечь энергию магнитного поля и заботятся о том, чтобы она не рассеивалась бесполезно в воздухе, а плотным потоком направлялась на обмотку статора и лучше возбуждала в нем ток. В статоре делают непрерывный магнитопровод из стали, хорошо проводящий магнитный поток.

Есть у генератора и опасный противник. Это вихревые токи, которые могут по индукции возникать в его стальных частях, бесполезно отнимать много энергии и вызывать вредное нагревание до высокой температуры. Быстро движущееся магнитное поле приводит в движение свободные электроны стали и создает в ней электронные вихри.

Пришлось принять особые меры для борьбы с вихревыми токами. Массивные стальные части статора, а также сердечники электромагнитов в роторе делаются не в виде сплошной массы стали. Они собираются из тонких стальных листов толщиной от $\frac{1}{2}$ до 2 мм. Слои эти изолированы один от другого слоями лака или бумаги и плотно сжаты. Какое это имеет значение? В таких тонких изолированных листах стали электронным вихрям негде разгуляться. Значительно уменьшаются потери энергии на вихревые токи и вредное нагревание. К тому же стальные части изготовляются из специального сорта электротехнической стали, свойства которой (большое сопротивление) мешают возникновению вихревых токов.

И все-таки нагреваются как стальные части генераторов, так и медные проводники их обмоток. Энергию, бесполезно затраченную на этот нагрев, называют потерями в стали и потерями в меди. Для удаления выделяющегося тепла генераторы приходится охлаждать. Обычно их охлаждали воздухом. Но советские машиностроители построили мощные турбогенераторы с водородным охлаждением. Газ водород циркулирует внутри генератора и уносит оттуда тепло. Водород не окисляет изоляцию, и она дольше служит. Не возникают и опасные пожары внутри генераторов при пробое обмотки. Снижаются потери на трение.

На больших электростанциях работает по несколько больших генераторов. Производимая ими электроэнергия мощными потоками вливается в сборные шины — толстые медные брусья, из которых она потом распределяется по линиям электропередач. Могучие электрические реки сливаются, а затем растекаются по различным руслам на десятки и сотни километров. На эти же шины включаются и резервные генераторы по мере необходимости.

Оборудование электростанции находится под очень высоким напряжением — до 10—15 тыс. в. Понятно, что обращение с ним требует большой осторожности. Если человек попадет под такое напряжение, по его телу пройдет ток, величина которого будет для него, несомненно, смертельна. Поэтому при управлении генераторами, шинами, выключателями принимаются особые меры безопасности.

ГЕНЕРАТОРЫ-КАРЛИКИ В АВТОМАТИКЕ

Но всегда ли генераторы служат генераторами? Не удивляйтесь такому вопросу — техника очень многообразна, и старые принципы часто находят в ней совершенно новые применения. Принцип генератора оказался полезным не только для производства электроэнергии.

Небольшие генераторы постоянного тока могут, например, служить хорошими усилителями в автоматике. Благодаря особой конструкции таких генераторов обмотка возбуждения их питается очень слабым током. Генератор же производит ток во много раз большей мощности.

Если увеличивать или уменьшать ток в обмотке возбуждения, то соответственно этому изменится и ток, отдаваемый генератором. Воздействуя на обмотки возбуждения слабыми командными сигналами, можно регулировать очень сильные токи, вырабатываемые генератором. Еле заметные изменения измеряемых величин превращают в изменение тока, управляющего мощными машинами и аппаратами. Возможно вы спросите: откуда же берется эта дополнительная энергия? Конечно, не из

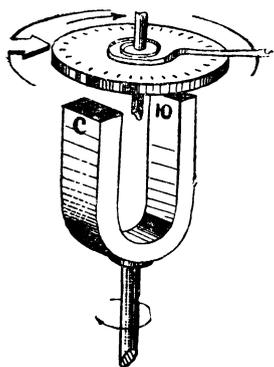


Рис. 101. Генератор-карлик, контролирующий скорость вращения

ничего. Она получается за счет механической энергии двигателя, вращающего ротор такого генератора-усилителя.

Маленькие генераторы можно использовать и в качестве измерительных приборов для определения скорости вращения различных частей машин и механизмов. Ведь чем с большей скоростью вращается ротор, тем больше напряжение на зажимах генератора. При неизменном токе в обмотках возбуждения напряжение это строго пропорционально числу оборотов в минуту. Такие генераторы — измерители скорости вращения — называются тахогенераторами. Они широко применяются в автоматическом управлении работой различных машин. Небольшой генератор постоянного тока с незави-

симым возбуждением или с постоянными магнитами устанавливается на валу машины. Он может не только контролировать, но и регулировать ее работу. Для этого его напряжение подается в специальное регулирующее устройство. Чем быстрее вращается вал, тем большее напряжение создает генератор. Когда скорость машины станет слишком большой и опасной, а напряжение достигнет некоторой максимально допустимой величины, сработает реле, и автоматическое устройство само остановит машину или уменьшит ее скорость.

Мы видели, что в работе генераторов не мало хлопот приносят вихревые токи, индуцируемые в их массивных стальных частях. Но изобретатели сумели превратить и это вредное физическое явление в полезное. Вот индукционный тахометр — другая разновидность прибора для измерения скорости вращения (рис. 101). Контролируемая часть машины вращает здесь постоянный магнит. Против него находится медный или алюминиевый диск (или стакан), в котором поле вращающегося магнита возбуждает вихревые токи. От взаимодействия вращающегося магнитного поля с им же созданными вихревыми токами диск увлекается и поворачивается вслед за магнитом. Но диск тахометра может повернуться лишь на некоторый угол, так как его удерживает спиральная пружина. Сила, увлекающая диск и растягивающая пружину, пропорциональна скорости вращения магнита. Значит, по углу поворота диска и по растяжению пружины можно судить о скорости вращения механизма.

МОЖЕТ ЛИ ПРОИСХОДИТЬ ИНДУКЦИЯ БЕЗ ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСТЕЙ? КАК РАБОТАЕТ ТРАНСФОРМАТОР?

В 80-х годах прошлого века в мастерской Московского университета работал талантливый мастер-электрик И. Ф. Усагин.

Он не был ученым, профессором. Отец его был простым крестьянином, а сам он готовил приборы для показа на лекциях. Усагин увлекся физикой и самостоятельно изучил эту замечательную науку. Особенно заинтересовало его явление индукции, и ему пришла мысль использовать ее для изменения напряжения тока, т. е. создать трансформатор.

Еще до Усагина над созданием трансформатора работал другой выдающийся русский электрик П. Н. Яблочков. Не менее настойчивые труды Усагина увенчались полным успехом. В 1882 г. в Москве происходила Всероссийская Промышленная выставка. И для освещения ее павильонов впервые в мире был применен трансформатор промышленного типа, созданный русским мастером И. Ф. Усагиным.

На современных электростанциях генераторы дают напряжение в несколько тысяч вольт, чаще всего в 6 или 10 кв. Это не малое напряжение конечно, но для выгодной передачи электроэнергии на большие расстояния нужно более высокое напряжение — 35, 110, 220 и даже 400 тыс. в. Эти громадные напряжения и создают трансформаторы.

Как устроен трансформатор (рис. 102) и что в нем происходит? В нем имеются две обмотки — катушки из многих витков изолированного провода и соединяющий их общий железный сердечник. К одной из катушек — первичной обмотке — подводится переменный ток, а от другой — вторичной обмотки —

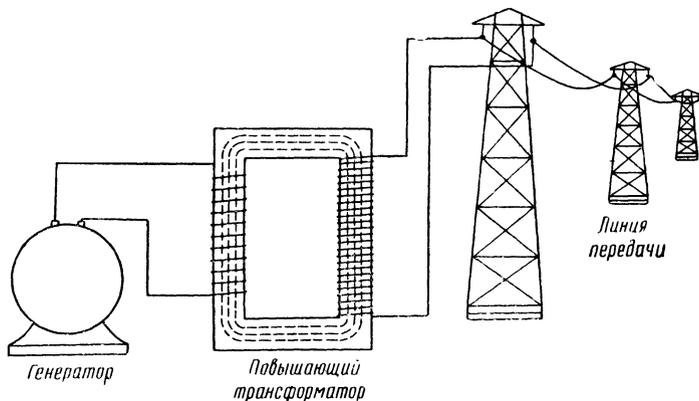


Рис. 102. Трансформатор

ток отводится в линию или к потребителям, причем напряжение его уже другое — большее или меньшее, чем оно было до трансформаций. Трансформаторы бывают повышающими или понижающими.

Не обратили ли вы внимание на одно странное обстоятельство? Ведь между первичной и вторичной обмотками нет никаких соединяющих проводов, никакой электрической связи, так что ток из первичной обмотки во вторичную казалось бы никак попасть не может. А между тем ток во вторичной обмотке все-таки возникает — электроэнергия каким-то образом передается из одной обмотки в другую. Она передается даже несмотря на некоторое расстояние, разделяющее обе обмотки. Невольно задумаешься над тем, как же это происходит.

И здесь действует открытая Фарадеем электромагнитная индукция. Но позвольте — недоуменно спрашиваете вы — ведь Фарадей в своих опытах двигал магнит или катушку, и от этого движения силовые линии магнитного поля пересекали проводники? В генераторах также происходит движение ротора по отношению к статору. А ведь в трансформаторе обе обмотки и сердечник неподвижны, и в нем вообще нет никаких движущихся частей. Как же происходит индукция в таком неподвижном аппарате?

Она происходит от иных причин. Не забывайте, что трансформаторы работают только на переменном токе. А вокруг такого тока образуется и переменное магнитное поле, в котором все время изменяется величина и направление магнитных сил. Если в таком переменном магнитном поле оказывается неподвижный проводник, в нем по закону индукции возбуждается э. д. с.; если этот проводник представляет замкнутую цепь, в нем возникает ток, причем э. д. с. и ток тоже переменные. Это и происходит в трансформаторе. Переменный ток, поступающий в первичную обмотку, создает переменное магнитное поле. Оно пересекает витки вторичной обмотки, и от этого в них индуктируется переменная э. д. с. и возникает переменный ток. Вот как передается электромагнитная энергия из одной обмотки трансформатора в другую.

А что если попробовать пропустить через первичную обмотку трансформатора постоянный ток? Никакого тока во вторичной обмотке не появится. В трансформаторе установится постоянное, неизменное магнитное поле, которое не будет действовать на вторичную обмотку, и ток в последней индуктироваться не будет. Современная техника ищет пути, как получить постоянный ток высокого напряжения для передачи на большие расстояния. Но, к сожалению, получить его непосредственно с помощью трансформаторов нельзя.

Для чего нужен стальной сердечник трансформатора? Он как бы собирает, концентрирует в себе переменный магнитный поток и направляет его в нужное место — к виткам вторичной

обмотки. Это, как говорят, магнитопровод трансформатора. Благодаря ему магнитная энергия не рассеивается бесполезно в окружающем воздухе и лучше подводится ко вторичной обмотке.

От действия переменного магнитного поля в стальных сердечниках трансформаторов тоже могут возникать вредные вихревые токи. И чтобы бороться с ними, сердечники трансформаторов также делают не сплошными, а из тонких изолированных листов специальной трансформаторной стали.

На помощь электрикам пришли металлурги, химики и физики. Они создали сталь особого состава (с примесью кремния), которая оказывает большое сопротивление образованию вихревых токов, а также легко и быстро размагничивается и перемгничивается при частых переменах магнитного поля. Такой материал называют мягким в магнитном отношении в противоположность магнитной твердости, которая нужна, например, постоянным магнитам, хорошо сохраняющим свою намагниченность.

Однако мы не сказали еще о самом главном — о том, как же трансформатор выполняет свою основную работу — изменяет напряжение. Присмотритесь к его обмоткам. Они неодинаковы: в одной обмотке число витков больше, а в другой меньше. У трансформаторов, повышающих напряжение, их больше во вторичной обмотке. А у понижающих трансформаторов, наоборот, во вторичной обмотке витков меньше, чем в первичной.

В каждом витке вторичной обмотки магнитное поле возбуждает некоторую электродвижущую силу.

Витки катушки как бы последовательно присоединены один за другим. Поэтому индуктированные в них э. д. с. складываются. И чем больше витков во вторичной обмотке, тем больше возникшее в ней общее напряжение. В 100 витках напряжение получается в 100 раз большее, чем в одном; в 200 витках — 200 раз больше и т. д.

Говорят о коэффициенте трансформации. Он выражает, во сколько раз напряжение V_2 во вторичной обмотке трансформатора больше или меньше напряжения V_1 в его первичной обмотке. А это зависит от соотношения числа витков первичной и вторичной обмоток n_1 и n_2 :

$$V_2 : V_1 = n_2 : n_1.$$

Пусть в первичной обмотке трансформатора 100 витков, а во вторичной 1100 — в 11 раз больше. Если в первичную обмотку такого трансформатора подается напряжение 10 тыс. в, то во вторичной обмотке оно будет тоже в 11 раз больше, т. е. 110 тыс. в.

А как изменится при этом величина тока? Его мощность останется прежней, не считая небольших потерь. А мощность тока, как известно, равна величине тока, умноженной на напря-

жение. Следовательно, во сколько раз увеличится напряжение, во столько же раз уменьшится величина тока, или наоборот. Можно продлить нашу формулу:

$$V_2 : V_1 = n_2 : n_1 = I_1 : I_2.$$

Если в том же трансформаторе сила тока в первичной обмотке была 2200 а, то во вторичной обмотке она будет в 11 раз меньше — всего 200 а.

Присмотритесь еще раз к обмоткам трансформатора. Почему в той из них, где меньше витков, они сделаны из более толстого провода? Да потому, что здесь больше величина тока, и он может сильно нагреть обмотку. Зато в другой обмотке с большим числом витков, где выше напряжение, нужна более надежная изоляция.

Рассмотрим теперь схему электростанции (рис. 103). От генераторов *Г* электрическая энергия собирается на шинах генераторного напряжения ШГН 6—10 тыс. в. От этих шин часть ее направляется близко расположенным потребителям по фидерам генераторного напряжения ФГН. Большая же часть электрической энергии поступает на трансформаторы повысительной подстанции *Т*, в которых напряжение повышается до 35—110—220 тыс. в, а затем собирается на сборных шинах подстанции СШП и уже с них через фидеры повышенного напряжения ФПН передается дальним потребителям. Участки схемы разделены масляными выключателями *МВ*.

Под огромным напряжением в 110—220 тыс. в и выше энергия передается на большие расстояния и доходит до мест по-

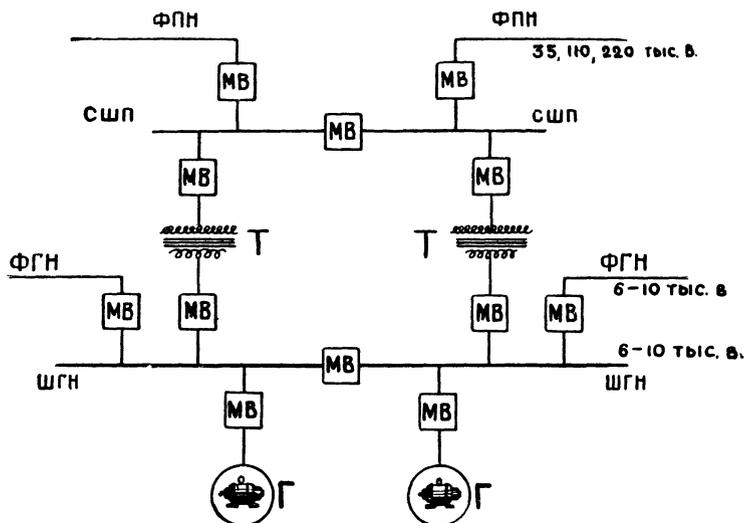


Рис. 103. Разберитесь в схеме электростанции

требления. Но в таком виде использовать ее, конечно, нельзя, поэтому она подчас проходит через целую лестницу понижающих трансформаторов.

На некоторых подстанциях напряжение понижают вначале до 35 тыс. в, потом до 3—6—10 тыс. в и, наконец, у мест потребления — до рабочего напряжения 127—220—380 в.

НЕОБЫКНОВЕННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформаторы очень разнообразны. Это большое семейство приборов и аппаратов, различных по своему устройству и назначению, подчас оригинальных и необычных. Но в них мы увидим видоизменение и развитие знакомого уже нам принципа действия трансформатора.

Обмоток может быть и больше двух. Так, например, трехобмоточный силовой трансформатор работает на подстанции, с которой по разным линиям надо посылать ток различного напряжения. Первичная обмотка у него одна и получает от генератора напряжение, скажем, 6000 в. Вторичных же обмоток две с разным числом витков: одна из них дает в цепь напряжение 35 000 в, а другая 110 000 в. И эти три обмотки находятся на одном общем сердечнике, который проводит магнитный поток от первичной обмотки к обеим другим. Радиолюбителям тоже приходится иметь дело с небольшими, правда, но многообмоточными трансформаторами. Вторичные обмотки их дают различное напряжение для анодных цепей радиоламп и цепей накала их катодов, для выпрямителей и иных частей приемников. Причем, один и тот же трансформатор работает и как повышающий и как понижающий. Одна его вторичная обмотка с большим числом витков повышает напряжение с 120 до 240 в, другая же с немногими витками понижает его с 120 до 6 в.

А что это за странный трансформатор, у которого вместо двух осталась всего лишь одна обмотка (рис. 104, а). Это автотрансформатор. В цепь с большим напряжением включается вся его обмотка, все ее витки 1—3, а в другую цепь с меньшим напряжением — лишь часть той же самой обмотки между ее концом 3 и некоторой средней точкой 2. Первичная и вторичная обмотки соединились в автотрансформаторе в одну. Оказалось, что трансформатор такого упрощенного устройства может хорошо работать и изменять напряжение. Он может повышать или понижать его в зависимости от того, с какой стороны будет подведен к нему ток и с какой отведен дальше: будет ли первичная обмотка частью вторичной или, наоборот, вторичная частью первичной и в которой из них будет больше или меньше витков. Как вы видите, связь между первичной и вторичной обмотками в этом необычном трансформаторе не только магнитная, но и электрическая.

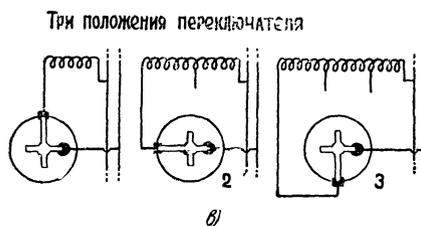
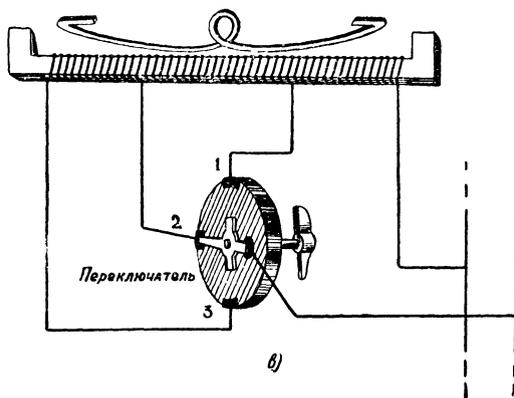
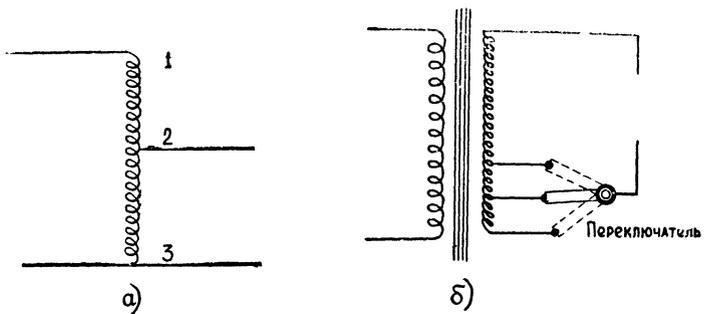


Рис. 104. Семейство трансформаторов:
 а — автотрансформатор, б — трансформатор с регулированием напряжения,
 в — секционный трансформатор

Цепь низкого напряжения можно присоединять между одним концом обмотки и тем или другим местом посередине (в точке 2). От положения этой средней точки будет зависеть соотношение числа витков, а значит и коэффициент трансформации. Автотрансформатор — пример того, как можно с пользой упрощать устройство технических аппаратов.

Можно ли регулировать напряжение в мощных трансформаторах обычного типа с двумя обмотками? Ведь потребители требуют неизменного напряжения, а оно иногда изменяется, например от большей или меньшей потери в проводах. Эту потерю напряжения можно было бы возместить, регулируя напряжение во вторичной обмотке трансформатора. А для этого надо изменить отношение числа витков обеих обмоток. Но как это сделать? Есть трансформаторы, у которых вторичная обмотка имеет особый переключатель (рис. 104, б). Им можно или выключить из нее несколько витков или, наоборот, включить дополнительные витки. В зависимости от этого изменится коэффициент трансформации, и напряжение в сети понизится или повысится.

Трансформаторы работают не только на электростанциях и подстанциях. Их нередко приходится применять и на производстве, когда какому-нибудь аппарату, например электрической печи, нужно особое напряжение — большее или меньшее, чем в сети.

Интересны секционные трансформаторы, в которых изменять напряжение можно в широких пределах (рис. 104, в). Вторичная обмотка таких трансформаторов разделена на несколько секций, концы которых подведены к переключателю. Этим переключателем можно включить в цепь всю обмотку или только часть ее — одну треть или две трети, от этого изменится соотношение числа витков обмоток; трансформатор будет давать нужное напряжение.

На электростанциях работают могучие силовые трансформаторы-гиганты. На Куйбышевской ГЭС каждый из них весит около 350 т. Но большую пользу в технике приносят и маленькие трансформаторы-карлики. Электрикам нередко приходится измерять очень сильные токи и большие напряжения. К проводам с такими токами и напряжениями нельзя непосредственно подключать измерительные приборы: амперметры и вольтметры. Они включаются через специальные измерительные трансформаторы. Сравните на двух схемах (рис. 105), как включены они в цепь для измерения величины тока (рис. 105, а) и напряжения (рис. 105, б).

Вы, конечно, помните, что для измерения напряжения вольтметры надо включать параллельно, между двумя проводами. В трансформаторе напряжения параллельно включена его первичная обмотка. И уже к его вторичной обмотке тоже параллельно присоединен вольтметр. По соотношению числа витков

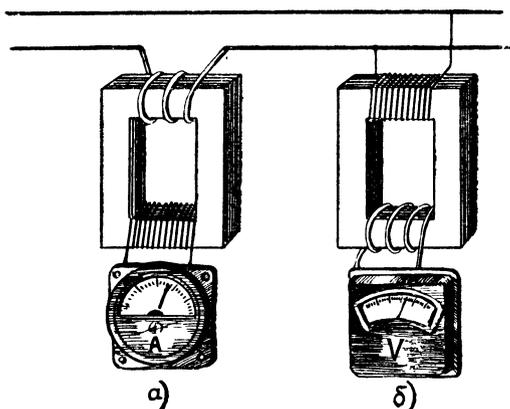


Рис. 105. Измерительные трансформаторы:
 а — трансформатор тока, б — трансформатор напряжения

вы видите, что это понижающий трансформатор, вольтметр получает от него безопасное для себя напряжение в десятки или сотни раз меньшее, чем в сети. А на шкале вольтметра его показания во столько же раз увеличены.

Что касается амперметра для измерения величины тока, то его надо включать последовательно в один из проводов, чтобы через него

проходил весь ток. Но при очень сильных токах вместо прибора последовательно включается первичная обмотка измерительного трансформатора тока. А амперметр, как вы видите, присоединяется к его вторичной обмотке. Но посмотрите на соотношение числа витков в обмотках — на схеме нарисован не понижающий, а повышающий трансформатор. Уж не ошибка ли это? Нет, ведь такой трансформатор повышает напряжение, а величину тока он во столько же раз уменьшает. Именно это и нужно для защиты амперметра от слишком большого тока.

На производстве вам, вероятно, придется видеть странные клещи, которыми электрикомтер обхватывает провода, когда ему надо определить величину тока.

Это тоже видоизмененный измерительный трансформатор. Первичной обмоткой служит в нем сам провод с переменным током. На провод накладывается раздвижной стальной сердечник, в котором образуется переменное магнитное поле. А на сердечнике установлена катушка — вторичная обмотка повышающего трансформатора, в которой возбуждается ток, измеримый амперметром.

На далеких объектах контролируют различные величины, важные для производства: величину тока и напряжение на электростанции, давление и температуру в котлах, уровень воды в шахте или уровень бензина в цистернах. А в кабине диспетчера на большом расстоянии контрольные приборы показывают результаты этих измерений. Для таких дальних измерений изобретатели тоже использовали принцип трансформатора (рис. 106), но внесли в него своеобразное изменение — вращающуюся обмотку. Его первичная обмотка намотана на сердечник. Вторичная обмотка выполнена в виде рамки и поворачивается между

концами этого сердечника. Переменный магнитный поток первичной обмотки проходит через рамку и пересекает вторичную обмотку, индуцируя в ней э. д. с. Если рамка расположена перпендикулярно сердечнику и его магнитному потоку, он индуцирует в ее обмотке наибольшую э. д. с. Если рамка повернется и расположится вдоль магнитного потока, э. д. с. в ней индуцироваться не будет вовсе. При поворотах же рамки на другие углы (от 0 до 90°) индуцированная во вторичной обмотке э. д. с. будет тем больше, чем под большим углом расположится рамка к пересекающим ее магнитным силовым линиям.

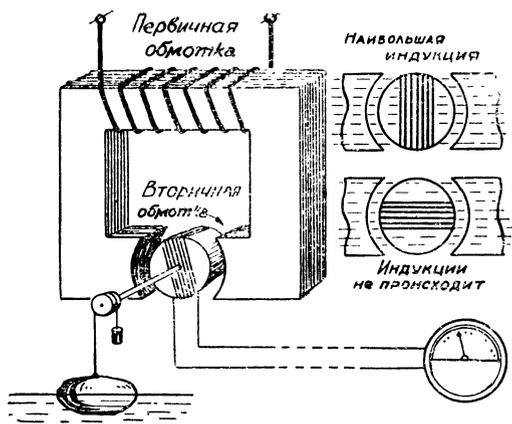


Рис. 106. Поворотный трансформатор на службе у телемеханики

Этим и воспользовались изобретатели для перевода различных неэлектрических величин на язык электричества и для передачи измерений на большие расстояния. Вы уже знаете, как можно заставить поплавков, измеряющий уровень жидкости или спиральную трубку манометра поворачивать вращающиеся части электрических приборов. Они могут вращать и рамку со вторичной обмоткой поворотного трансформатора. От этого в ней будет индуцироваться большая или меньшая э. д. с. А электрические сигналы будут передаваться на далекий пульт управления и вызовут там соответствующие показания контрольных приборов.

В авиации важно точно определять направление полета по отношению к северу, югу, востоку и западу. Техническая мысль использовала здесь магнитные свойства самой Земли. Ведь наш земной шар — огромный магнит с поперечником более 12¹/₂ тыс. км. Как и всякий магнит, он окружен магнитным полем, силовые линии которого направлены на север и на юг (под небольшим углом к меридианам). Были созданы оригинальные авиационные приборы, определяющие направление движения самолета по отношению к магнитному полю Земли. В основе их действия лежит принцип поворотного трансформатора.

Прибор (рис. 107) состоит из двух параллельных стержней с первичными обмотками I, в которые подается переменное напряжение. Кроме того, прибор имеет вторичную (сигнальную) обмотку II, которая намотана вокруг обоих стержней вместе и в которую включен измерительный прибор. Получается своеобразный

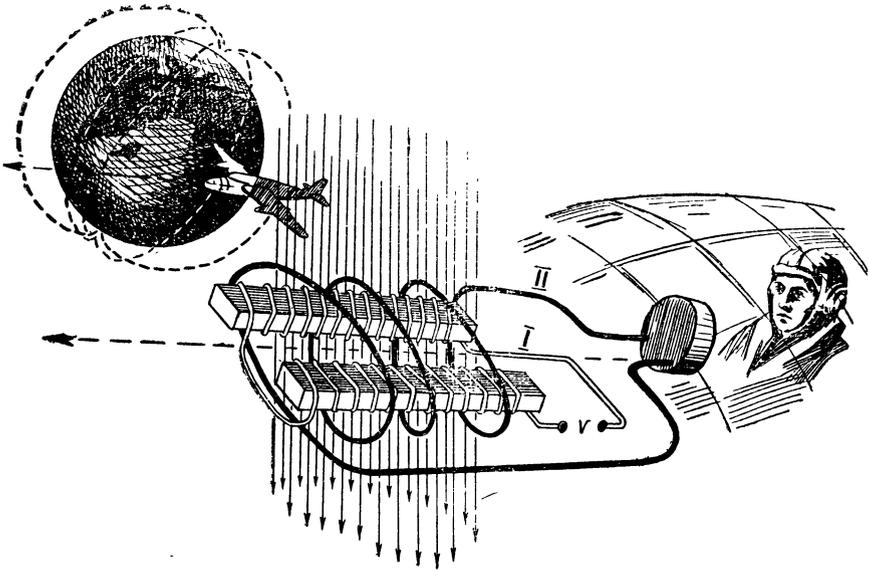


Рис. 107. Как самолет ориентируется в магнитном поле Земли

трансформатор. Но для чего первичные обмотки на обоих стержнях намотаны в противоположные стороны? От этого магнитные потоки, возникающие в стержнях, тоже все время противоположны один другому. Поэтому они не индуцируют электродвижущей силы в общей вторичной сигнальной обмотке II.

Но прибор находится в магнитном поле Земли. Оно накладывается на переменный магнитный поток стержней, а от этого во вторичной обмотке индуцируется напряжение. Величина магнитного потока в стержнях и, следовательно, напряжения в сигнальной обмотке зависит от угла между стержнями и направлением магнитного поля Земли, т. е. от курса самолета. Если стержни расположены вдоль линий магнитного поля Земли, в сигнальной обмотке возникает максимальное напряжение. Если же стержни расположены поперек магнитного поля, оно меньше всего влияет на них, и напряжение сигнала становится наименьшим. При каждом изменении направления движения самолета, а значит и угла стержней по отношению к магнитному полю Земли увеличивается или уменьшается индуцированное напряжение. Измерительный прибор это напряжение сейчас же показывает. Его показания передаются в кабину пилота и в другие помещения самолета.

Такое действие магнитного поля Земли используется и в некоторых «еще более умных» авиационных приборах, которые сами, без участия летчика поддерживают нужный курс самолета.

Надо заметить, что магнитное поле Земли очень слабо, и что-

бы приборы могли на него реагировать, они должны быть очень чувствительны. Стержни их делаются из нового специального сплава пермаллоя, обладающего высокой магнитной проницаемостью, малой величиной начального намагничивания и другими магнитными свойствами.

Мы говорили, что трансформаторы работают только на переменном токе. Но нельзя ли обойти это ограничение и заставить вторичную обмотку реагировать на ток постоянного направления? Для этого изобретательская мысль прибегла еще к одной «уловке». В некоторых механизмах важно определять ускорение — изменение скорости их вращения. На валу такого механизма устанавливают небольшую генератор постоянного тока. Ток от него подводят в первичную обмотку измерительного трансформатора. Пока механизм вращается равномерно, генератор подает ток не только постоянного направления, но и неизменной величины. Поэтому во вторичной обмотке трансформатора э. д. с. не наводится. Но как только скорость механизма, а с ним и генератора увеличивается или уменьшается, изменяется напряжение, а следовательно, и величина тока, поступающего из генератора в первичную обмотку трансформатора. И хотя ток этот остается постоянным по направлению, но от увеличения или от уменьшения его величины изменяется магнитный поток в трансформаторе, вследствие чего в его вторичной обмотке индуцируется электродвижущая сила. Причем величина ее э. д. с. точно показывает, насколько изменяется скорость механизма. А по направлению индуцированной э. д. с. можно видеть, увеличивается ли его скорость или уменьшается?

Но обязательно ли у трансформатора должен быть железный сердечник? В радиотехнике, где приходится иметь дело с токами и магнитными полями очень высокой частоты, применяют воздушные трансформаторы без сердечников. При изменении направления магнитного поля миллионы раз в секунду в железе сердечника выделялось бы слишком много тепла и с ним было бы уже трудно бороться. В таких трансформаторах без сердечников магнитный поток из одной обмотки в другую переходит через воздух.

ИНДУКЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ В «УМНЫХ» УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИКИ (воздушный зазор вместо контактов)

Спокойно наблюдает шлифовальщик за работой своего станка. Стрелка индикатора все время показывает ему, как на ничтожные доли миллиметра уменьшается диаметр шлифуемого вала. Рабочий знает, что, как только изделие достигнет в точности заданного размера, шлифование само автоматически прекратится, поэтому неправильности в размере получиться не может. Ве-

роятно, подумаете вы, установлены электрические контакты, которые все время касаются поверхности изделия и благодаря этому автоматический прибор измеряет его уменьшающийся диаметр.

Но в том-то и дело, что никаких контактов здесь нет. Части контролирующего устройства обхватывают вращающуюся деталь, но они нигде к ней не прикасаются (рис. 108, а). Между ними и поверхностью изделия остается заметный слой воздуха. И по мере того как уменьшается поперечник изделия, этот воздушный зазор становится все больше. Как же происходит такое измерение через воздух?

Прежде чем ответить на этот вопрос, рассмотрим еще один прибор: он контролирует размер шариков для подшипников (рис. 108, б). Его щуп Щ касается шарика. Но связанный с ним якорь Я не касается концов сердечника С, на который надета катушка К. Между ними все время остается воздушный зазор З. Зазор этот изменяется: если измеряемый шарик больше нормального, якорь Я поднимается вверх и зазор З уменьшается; если же диаметр шарика меньше заданного, пружина Пр отжимает якорь вниз, и зазор З между ним и сердечником увеличивается. Стрелка прибора показывает эти отклонения в размере шариков. Существуют и автоматические контролеры-браковщики, которые слишком большие шарики сбрасывают в одну сторону, а слишком маленькие — в другую. Шарики же нормального размера движутся дальше по лотку транспортера.

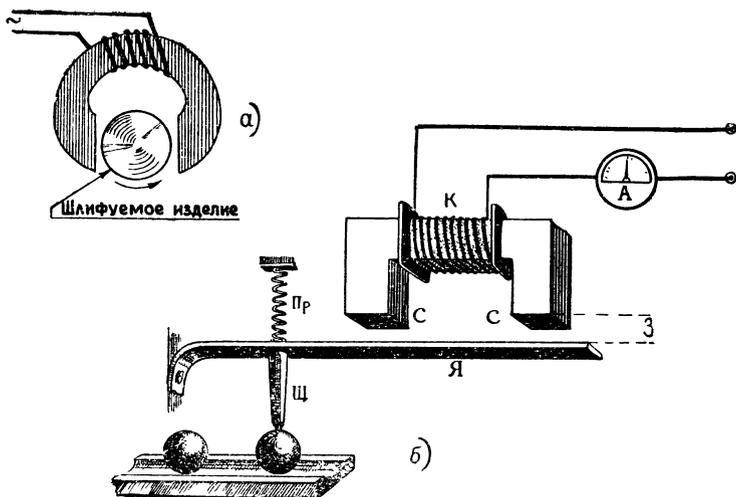


Рис. 108. Воздушный зазор вместо контактов:
а — контроль шлифуемого вала, б — контроль размера шариков

И здесь прибор для контроля размера шариков действует через воздушный зазор так же, как и при работе на шлифовальном станке.

Что же происходит в этих своеобразных приборах? Из курса физики вы знаете, что при изменении величины тока, проходящего через проводник, индуктированные токи наводятся не только в других проводниках, но и в самом этом проводнике (так как он находится в изменяющемся магнитном поле). Это явление называется самоиндукцией. При переменном токе самоиндукция имеет особенно большое значение, так как и ток, и его магнитное поле все время изменяются. Переменный ток встречает значительное сопротивление от действия самоиндукции, причем это индуктивное сопротивление особенно велико в катушках с большим числом витков, имеющих железные сердечники. Такие катушки создают сильное магнитное поле.

Оказалось также, что на индуктивное сопротивление сильно влияют воздушные промежутки — между сердечником катушки и якорем.

Индукционные приборы очень чувствительны: малейшее изменение воздушного зазора увеличивает или уменьшает индуктивное сопротивление цепи, а тем самым изменяет и величину протекающего по ней тока. Вот это и используется в заинтересовавших нас приборах — индукционных датчиках переменного тока.

Пусть размер измеряемого шарика немного больше нормального. Якорь прибора поднимется выше, и воздушные зазоры между ним и концами сердечника станут меньше. От этого индуктивное сопротивление катушки увеличится, а величина тока, проходящего через нее, уменьшится. Если же, наоборот, размер шарика оказался меньше нормального, якорь опустится, и воздушные зазоры станут больше. Тогда сопротивление катушки уменьшится и через нее пойдет больший ток. Шкалу прибора, измеряющего величину тока, можно проградуировать так, что на ней непосредственно будет показываться размер шариков.

Теперь понятно и действие прибора, который, не прикасаясь, через воздух непрерывно контролирует диаметр шлифуемого вала. Основная часть его, охватывающая изделие, представляет собой сердечник индукционного датчика, на который намотаны витки катушки. Концы ее отведены к измерительному прибору. Но где же якорь этого своеобразного датчика? Им служит сама обрабатываемая стальная деталь. Через нее замыкается магнитный поток. А промежуток между изделием и обхватывающими его наконечниками датчика является воздушным зазором между сердечником и якорем. По мере шлифования диаметр изделия становится все меньше, а воздушный зазор — все больше. Значит индуктивное сопротивление прибора уменьшается, а величина тока в нем увеличивается. Включенный в цепь амперметр непосредственно показывает диаметр вала. И когда диаметр его достигнет в точности заданного размера, сработает реле и шли-

фование автоматически прекратится. Вам понятно, конечно, что контролировать таким образом можно только ферромагнитные изделия, например стальные, а не медные или алюминиевые, так как они не могут служить частью магнитопровода.

Перед вами индукционный датчик с более сложным устройством (рис. 109). Он тоже контролирует размер шариков или других изделий. Но у него почему-то не одна, а две катушки $K1$ и $K2$ и два сердечника $C1$ и $C2$. А общий якорь $Я$, связанный с измеряющим шупом $Щ$ датчика, находится между концами обоих сердечников. Воздушные зазоры $З1$ и $З2$ расположены по обе стороны от якоря.

Прибор этот измеряет с еще большей точностью, чем предыдущий датчик. Когда якорь смещается из своего среднего (нулевого) положения, воздушный зазор с одной стороны от него увеличивается, а с другой стороны уменьшается. Значит в одной из катушек индуктивное сопротивление уменьшается и величина тока увеличивается. В другой же катушке сопротивление становится больше, а величина тока — меньше.

Проследите, как обе катушки включены в цепь. Протекающие в них токи I_1 и I_2 поступают в измерительный прибор $ИП$ с двумя обмотками. Он показывает разность между токами обеих катушек и дает возможность еще более чувствительно уловить и точнее измерить отклонения от нужной нормальной величины изделий.

Индукционные датчики оказались очень полезными во многих разнообразных отраслях техники и производства. Устройство и действие их видоизменяются и в каждом случае приспособляются к местным условиям. В авиационных двигателях и многих других машинах происходит небольшое закручивание валов — деформация кручения. Она может стать опасной и ее надо тща-

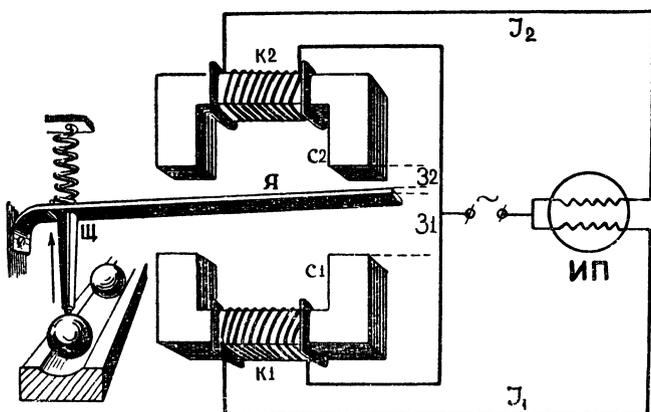


Рис. 109. Индукционный контролер дифференциального действия

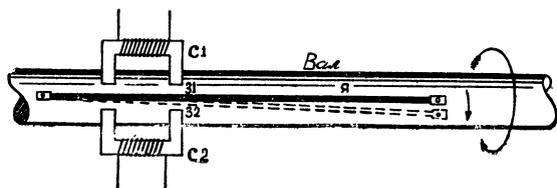


Рис. 110. Как определить кручение вала

тельно измерять. Посмотрите, как использован здесь индукционный датчик (рис. 110). Сердечники $C1$ и $C2$ двух его катушек прикреплены на конце вала. Между ними проходит длинный якорь $Я$, дальний конец которого укреплен на противоположном конце вала. Когда вал закручивается (деформируется), якорь между сердечниками несколько смещается. От этого воздушный зазор с одной стороны его $З1$ увеличивается, а с другой $З2$ уменьшается. Изменяются индуктивные сопротивления обеих катушек и величина проходящих по ним токов. По разности этих токов можно точно судить о степени закручивания вала.

А вот от одной пары валков к другой быстро движется прокатываемая проволока или металлическая лента (рис. 111). Важно, чтобы она имела определенное и постоянное натяжение. При слишком сильном натяжении проволока может оборваться, а при недостаточном натяжении она будет иметь неодинаковую толщину. Натяжение проволоки тоже контролирует индукционный датчик. Движущаяся проволока все время надавливает на ролик P , а он — на качающийся якорь датчика. Но прибор этот устроен несколько иначе, чем приборы, которые мы встречали раньше. У его сердечника три стержня. Якорь $Я$ укреплен на среднем из них

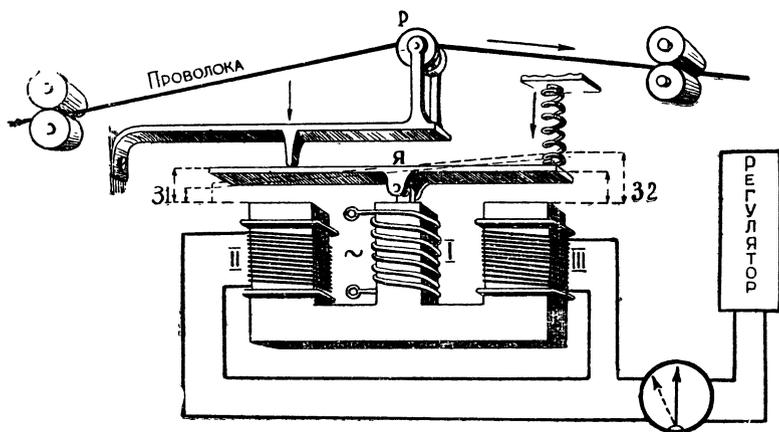


Рис. 111. Как контролировать натяжение проволоки

и уравновешен пружиной. Он может поворачиваться в ту или другую сторону, отчего воздушный зазор на одном конце его увеличивается, а на другом уменьшается. Устройство отрегулировано так, что при нормальном натяжении проволоки оба зазора одинаковы, и система прибора показывает нуль. При слишком большом натяжении якорь наклоняется влево — левый зазор 31 уменьшается, а правый 32 увеличивается. При недостаточном же натяжении якорь наклонится в противоположную сторону — уменьшится правый зазор, а увеличится левый. Стрелка измерительного прибора отклоняется в ту или другую сторону, а автоматический регулятор восстанавливает правильное натяжение проволоки.

Обратите внимание на обмотки этого датчика. Их здесь три: одна — первичная I , в которую подается переменный ток от источника, а две другие II и III — вторичные, в которых происходит индукция. Во вторичные обмотки включен измерительный прибор или регулятор. Величина тока, индуктированного во вторичных обмотках, зависит от воздушных зазоров. Вы, вероятно, узнаете в устройстве и действии этого прибора принцип нашего старого знакомого — трансформатора. В своем развитии этот принцип получил здесь еще одно новое и важное применение. Оказалось, что в таком трансформаторном датчике э. д. с. и токи, индуктированные во вторичных обмотках, особенно чувствительны к малейшим изменениям воздушных зазоров и индуктивного сопротивления катушек, а значит и контролируемых величин (в нашем случае натяжения проволоки). Обе вторичные обмотки трансформатора включены в цепь по дифференциальной схеме, чувствительной к малейшему изменению их токов.

С грохотом сотрясаются фермы железнодорожного моста, когда по нему проносятся тяжелые поезда. За этими сотрясениями — вибрацией моста необходимо зорко следить, так как они могут привести к крушению и гибели людей. Как же применили здесь трансформаторный датчик (рис. 112)? Корпус K вибратора прикреплен к мосту и сотрясается вместе с ним. Вибрируют и якоря $Я1$ и $Я2$ двух трансформаторных датчиков (верхнего и нижнего). Сердечники же этих датчиков $C1$ и $C2$ не участвуют в сотрясениях и остаются почти неподвижными, так как к ним прикреплены тяжелые грузы G . Здесь остроумно используется инерция больших масс этих грузов, благодаря которой сотрясения моста почти не выводят их из неподвижного состояния. Значит, воздушные зазоры 31 и 32 между якорями и сердечниками обоих датчиков изменяются при каждом сотрясении моста. Когда в верхнем датчике зазоры увеличиваются, в нижнем они уменьшаются, и наоборот. Обмотки обоих датчиков включены подобно обмоткам трансформаторов: обмотки I на левых стержнях являются первичными, а обмотки II на правых стержнях — вторичными. На величину тока во вторичных обмотках влияют изменения зазоров и индуктивного сопротивления, соответствующие со-

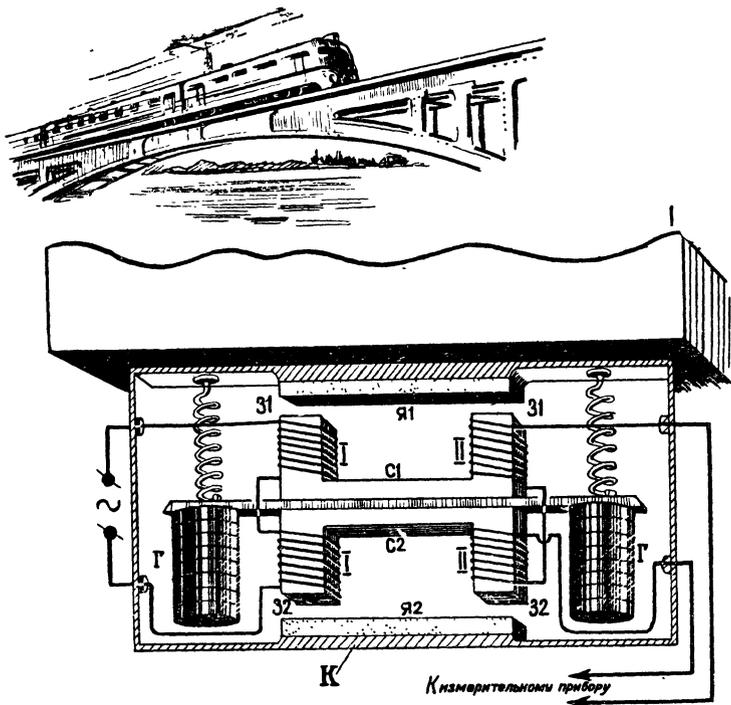


Рис. 112. Как измерить сотрясение моста

трясениям моста. Таким образом, измерение сотрясений моста переводится на язык электричества и может передаваться на далекий контрольный пункт.

КАК ТРАНСФОРМАТОР ПРЕВРАТИЛСЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПЕЧЬ

Взгляните на эту странную оригинальную печь (рис. 113). В ней не горит яркая дуга Петрова. Не видно в ней и обычных нагревательных элементов, накаляемых током вследствие большого сопротивления. По обмотке течет переменный ток. А в самом нагреваемом материале образуется тепло. Обмотка с током нигде не соприкасается с изделиями. Нагревающее действие как-то совершается через расстояние. Не напоминает ли это вам индукцию между обмотками трансформатора?

В развитии техники бывают своеобразные, подчас неожиданные повороты, когда один прибор превращается в совершенно другой. Так произошло и с трансформатором. Вы знаете, что

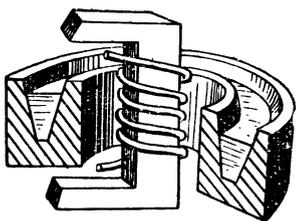


Рис. 113. Как действует индукционная печь

трансформаторы нагреваются. Тепло образуется как в медных обмотках из-за их сопротивления, так и в стальном сердечнике в результате постоянного перемагничивания и вихревых токов. Это плохо — на нагревание теряется энергия и оно может повредить изоляцию. С нагреванием трансформаторов приходится вести постоянную борьбу. Для охлаждения мощные трансформаторы помещают в большие баки, наполненные минеральным маслом, ко-

торое омывает обмотки и сердечник и отводит тепло.

Электротехники задумались, нельзя ли использовать это тепло? Нельзя ли и в данном случае превратить вредное в полезное, как это уже не раз делалось в технике? Трансформатор был превращен в своеобразную индукционную электропечь.

Присмотревшись к ней, вы узнаете знакомые части трансформатора: в середине стальной сердечник, вокруг него обмотка. Это — первичная обмотка в которую от источника подается переменный ток. Вторичной обмотки в явном виде здесь, правда, нет, но ее заменит кольцевая камера или желоб, в котором находится нагреваемый материал. Если это металл (твердый или расплавленный) или другое вещество, проводящее электричество, такой нагреваемый материал сам служит вторичной обмоткой печи-трансформатора. В этом замкнутом кольце индуцируется ток, который и создает тепло. Конечно, нагреваемый материал должен окружать сердечник сплошным кольцом. Если же надо нагреть какое-нибудь вещество, не проводящее электричества, вторичной обмоткой служат стенки кольцевого желоба или камеры печи. Они делаются из проводящего материала металла или графита. В них индуцируется ток и нагревает стенки кольцевой камеры, а уже от них тепло передается изделиям.

Заметьте, что первичная обмотка печи-трансформатора имеет большое число витков. Вторичная же «обмотка» — кольцевая камера или нагреваемый продукт — состоит только из одного короткозамкнутого витка. Значит, это понижающий трансформатор. В его вторичной обмотке индуцируется ток меньшего напряжения, но зато большой силы. А ведь это и нужно для получения тепла.

Своеобразие индукционных печей состоит в том, что нагревающий ток возникает в них без всякого контакта с внешней цепью. При этом тепло образуется внутри самого нагреваемого материала.

Вот небольшой передвижной индукционный нагреватель на колесах, предназначенный специально для колесных бандажей у локомотивов. Нагреватель на колесах подводят в нужное место — к самому локомотиву. Сердечник у него разъемный и его удобно

вводить внутрь колеса. Вторичной обмоткой становится само колесо. Когда в первичную обмотку подается ток, то индуцированный ток возникает и в бандаже колеса, который от этого нагревается.

А в этой большой печи литейщики плавят металл. Индукционный нагрев дает достаточную для этого высокую температуру. Понаблюдаем за работой печи. Металл расплавлен, и его разливают в формы. Но для чего оставили в печи около 20% жидкого металла и загружают в него куски для новой плавки? Не лучше ли использовать весь расплавленный металл? Однако, если вылить из печи весь жидкий металл и наложить только твердые куски, между ними не будет хорошего контакта — не получится сплошной вторичной обмотки трансформатора и будет значительно трудней разогреть новую плавку. Жидкость же создает сплошное проводящее кольцо.

Интересен и такой прием нагрева: в печи плавят латунь, но для чего-то добавляют немного цинка. Дело в том, что он плавится и кипит при более низкой температуре, чем латунь. Когда латунь расплавится и будет готова к разливке, добавленный цинк превратится в пар. Пары его разорвут жидкое латунное кольцо вторичной обмотки, а от этого прекратится ток. Получился оригинальный автомат для прекращения нагревания.

В индукционных печах можно точно регулировать температуру нагрева. Обычно для этого изменяют величину тока, питающего первичную обмотку. Но можно воспользоваться и магнитными свойствами стенок печи.

Изделия нагреваются в особой закрытой камере — муфеле, стенки которой сделаны из намагничивающегося материала. Когда по обмотке печи проходит ток, в стенках камеры и вокруг них возникает переменное магнитное поле. От этого в изделиях возбуждается ток и они нагреваются. Вместе с ними нагреваются и стенки камеры. А ведь с увеличением температуры изменяются магнитные свойства веществ. При определенной достаточно высокой температуре стенки камеры перестают намагничиваться и дальнейшего нагревания уже не происходит. Изменяя устройство стенок камеры, такую печь можно отрегулировать для автоматического нагревания до той или другой нужной температуры.

Существуют индукционные печи в которых вторичной обмоткой служит толстое массивное медное кольцо, хорошо проводящее ток (рис. 114). Но оно почему-то поме-

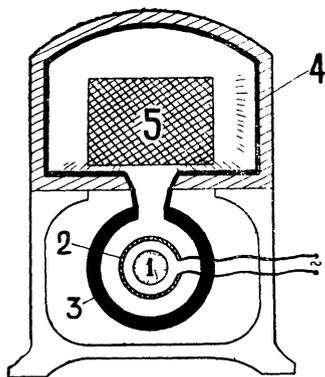


Рис. 114. Индукционная печь с медным кольцом:

1 — сердечник, 2 — первичная обмотка, 3 — кольцо, 4 — внутренняя стенка печи, 5 — изделие

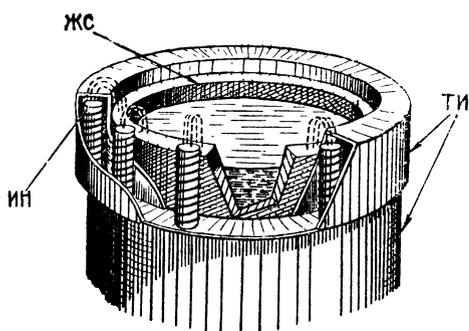


Рис. 115. Индукционные нагреватели в стенке бака

щено сбоку от нагревательной камеры с изделиями. Присмотритесь внимательнее: в медном кольце есть разрыв и в этом месте к концам кольца подключены металлические стенки нагревательной камеры. Снова «уловка» технической мысли! Ток индуцируется в хорошо проводящем медном кольце. Но из него он неизбежно проходит через стенки камеры. Они сделаны из материала с го-

раздо большим электрическим сопротивлением, поэтому именно в них происходит выделение тепла.

Перед вами большой бак (рис. 115), содержащий тысячи литров нефти или иной жидкости, которую тоже нужно нагреть индукционным способом. Первичные обмотки индукционных нагревателей *ИН* в разных местах вделаны в стенки бака в виде катушек с сердечниками. Вокруг них образуются переменные магнитные поля, которые проникают в толстую железную стенку бака. От этого в ней индуцируются токи (рис. 115). Они нагревают стенку бака *ЖС*, и тепло от нее передается жидкости. Снаружи стенки покрыты тепловой изоляцией *ТИ*.

Вы видите, как индукционный способ позволяет удобно и просто создавать ток и вызывать нагревание в любых нужных местах: внутри самих изделий или в стенках камер, сосудов и пр.

Но обязательно ли нужен при этом железный сердечник? Нельзя ли обойтись без него и этим упростить устройство индукционных нагревателей? При обычной низкой частоте переменного тока (*50 пер/сек*) железный сердечник необходим. Без него не образуется достаточно сильное и сосредоточенное магнитное поле, нужное для индукции и нагревания. Но оказалось, что при значительно большей частоте переменного тока, при которой он меняет свое направление тысячи раз в секунду и больше, железный сердечник становится уже ненужным и даже вредным. Такие печи гораздо лучше работают без сердечника.

В нагреваемом материале возбуждаются мощные вихревые токи, и от их действия образуется много тепла. Эти токи возникли бы и в железе сердечника и вызывали бы его нагрев, что мешало бы нормальной работе печи.

Значительно упростилось устройство баков для индукционного нагревания жидкостей в химической промышленности. Вокруг их корпуса наложена первичная обмотка, образующая как бы огромную катушку без сердечника. По ней проходит ток высокой

частоты. В металлической стенке бака индуцируются вихревые токи, которые быстро ее нагревают, а от стенок тепло передается нагреваемой жидкости.

Для разливки жидкого, расплавленного металла применяют большие ковши. Работая с ними, металлурги и литейщики встретились с одним неудобством. Металл особенно быстро остывает и затвердевает в носике ковша, где тепло уходит в окружающий воздух. Но посмотрите, какое остроумное улучшение удалось сделать благодаря индукционному способу

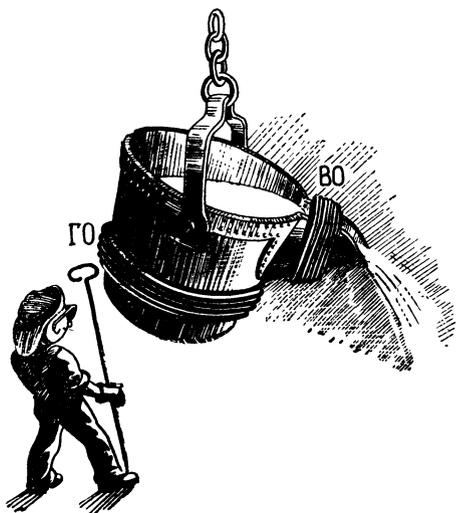


Рис. 116. Нагревание разливного ковша

нагрева без сердечника (рис. 116). Главная большая первичная обмотка *ГО* окружает и нагревает весь ковш. А кроме нее сделана еще небольшая вспомогательная обмотка *ВО*, надетая на сливной носок. Она подогревает металл и не дает ему застыть именно в этом наиболее ответственном месте. Устройства для индукционного нагрева, освободившиеся от сердечника, дают возможность еще лучше и удобнее подвести тепло в любые нужные места различных производственных установок.

СОТНИ ТЫСЯЧ И МИЛЛИОНЫ ПЕРИОДОВ В СЕКУНДУ

В лампочках и электродвигателях переменный ток меняет направление 100 раз в секунду — имеет частоту 50 *пер/сек* или 50 *гц* (герц). Это не так уж мало: когда вы смотрите кино, перед вами за секунду проходят 24 кадра и ваш глаз в отдельности их не различает. Но в радиотехнике применяются токи еще гораздо более высокой частоты: в сотни тысяч, миллионы и даже миллиарды периодов в секунду. С такой частотой должен менять свое направление переменный ток в антенне радиостанции, чтобы в окружающее пространство излучались радиоволны.

В технике появились две буквы — *ВЧ*, означающие большую и очень важную область токов высокой частоты. Она родилась в радиотехнике, а из нее перешла и в другие отрасли производства, завоевывая в них все большее значение и находя разнообразные и замечательные применения.

Если сделать несколько витков из медного провода, пустить по ним переменный ток высокой частоты и поместить внутри этих витков кусок металла, он быстро нагреется и раскалится до очень высокой температуры. В куске металла индуцируются токи, которые выделяют много тепла. Это те самые вихревые токи, с которыми приходится бороться в электрических машинах и трансформаторах. Но здесь они оказались очень полезными и легли в основу нового способа нагрева токами высокой частоты.

Вот, например, высокочастотная плавильная печь, в которой выплавляют очень чистый и высококачественный металл. Чтобы предохранить его от окисления, из плотно закрытой печи можно выкачать воздух и вести плавку под вакуумом. А вот и небольшой индуктор, внутри его витков токами высокой частоты докрасна накаляют и накрепко приваривают к резцам или фрезам пластинки из очень твердых сплавов. Трудно сваривать металл со стеклом. Но токами высокой частоты можно так сильно разогреть стыки свариваемых деталей, что получается очень прочный шов.

У нагревания токами высокой частоты оказалась одна важная особенность — образование тепла происходит лишь в тонком поверхностном слое металлического изделия и почти не проходит вглубь. Именно здесь близ поверхности индуцируются вихревые токи.

Рассматривали ли вы провода для дальних электропередач? Их среднюю часть часто делают из стали, а наружный слой — из алюминия. Какое это имеет значение? Дело в том, что переменный ток течет главным образом близ поверхности провода и не заходит внутрь в отличие от постоянного тока, который проходит по всему сечению провода.

У токов высокой частоты это свойство сосредоточиваться у поверхности, как говорят, — «поверхностный эффект» — выражено особенно ярко. И чем больше частота, тем тоньше поверхностный слой, в котором возникают наведенные вихревые токи и выделяется тепло. Советские ученые В. И. Вологдин, Г. И. Бабат и др. задумались над этим замечательным свойством нагрева токами высокой частоты и поняли, что оно может принести большую пользу в технике. Ведь во многих частях машин надо, чтобы именно поверхность металла была особенно прочной и твердой, не истиралась, не изнашивалась от трения. Это важно, например в зубьях шестерен, шейках валов, режущих кромках инструментов. Для большей твердости металлические изделия закалывают — сильно нагревают, а затем быстро охлаждают. Но у закалки есть и своя плохая сторона: детали машин становятся хрупкими и легко ломаются от ударов. Поэтому очень полезно, чтобы их сердцевина оставалась не закаленной, вязкой, пластичной, а закаливался и становился твердым лишь тонкий поверхностный слой. Тогда шестерня, штамп или шейка вала будут прочными при ударах и в то же время не будут изнашиваться от трения.

Вот этого-то и можно достигнуть, нагревая изделия токами высокой частоты. Так, советские ученые и инженеры создали новый отличный способ поверхностной высокочастотной закалки. Он во многих отношениях оказался очень ценным, удобным, производительным, выгодным, дающим высокое качество.

Закалка происходит очень быстро, за несколько секунд. На советских заводах токами ВЧ закаляют многие части автомобилей и тракторов, металлорежущих станков, сельскохозяйственных и других машин, головки железнодорожных рельсов и бандажи колес, тачковую броню и бронебойные снаряды.

Токи, которыми производят поверхностную закалку, меняют свое направление сотни тысяч раз в секунду. Применяя токи разной частоты, можно регулировать нужную толщину закаляемого слоя. При частоте 100 тыс. *пер/сек* основное тепло выделяется в слое толщиной $1\frac{1}{2}$ мм. При частоте 200—300—500 тыс. *пер/сек* и больше закаляемый слой получается все тоньше и тоньше.

Посмотрите, как устроены и действуют индукторы (рис. 117, в), с помощью которых производят поверхностную закалку. Витки индукторов с токами высокой частоты не только создают быстро меняющееся магнитное поле, но и направляют его на закаляемую деталь. А так как детали имеют разную форму, то и индукторы делают очень разнообразного устройства.

Конструкторы каждый раз тщательно продумывают: как правильнее расположить витки и какую придать им форму, чтобы лучше направить поток магнитных колебаний в нужные места изделия, вызвать в них вихревые токи и сосредоточить в этих местах нагревание. Закаляемые валы помещают внутри цилиндрических индукторов; для закалки же плоских поверхностей индукторы тоже делают в виде плоской спирали. Чтобы ввести индуктор внутрь полого изделия, надо сделать его длинным и узким. Не так легко окружить катушкой шейку коленчатого вала. Для этого приходится делать разъемный индуктор, состоящий из двух половинок, которые с обеих сторон накидывают на шейку, а затем соединяют вместе.

На советских заводах массового производства работают специальные закалочные станки, в которых все операции выполняются автоматически. Станки вводятся в общую линию так, что изделия для закалки не приходится отправлять в специальные термические цехи.

Токами высокой частоты можно нагревать различные металлические изделия. Металлы хорошо проводят электричество, и в них индуктируются вихревые токи. Быстро переменные магнитные поля приводят в движение их свободные электроны. А как быть, если надо нагреть диэлектрик, т. е. вещество, не проводящее электричества и не имеющее свободных электронов, например дерево, фарфор или пластмассу? Индуктировать токи в них нельзя, и магнитное поле здесь ничего не сделает. Сколько ни держите в индукторе кусок дерева, он не нагреется.

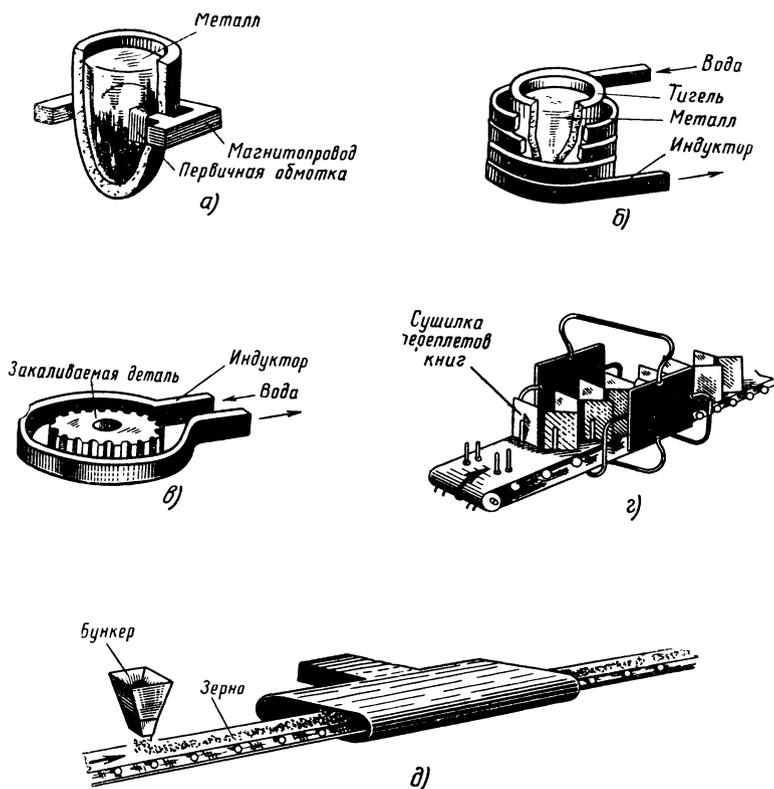


Рис. 117. Различные случаи индукционного нагрева:

а — индукционная печь, работающая на токах промышленной частоты (50 пер/сек), *б* — индукционная печь, работающая на токах более высокой частоты (500 пер/сек), *в* — индукционный нагреватель высокой частоты, *г* — индукционный нагреватель диэлектриков, *д* — более сложное устройство для высокочастотного нагрева проводников и диэлектриков (одновременно)

И все-таки нагревать вещества, не проводящие электричества, оказалось возможным, но уже не магнитным, а высокочастотным электрическим полем. Такое поле образуется между двумя пластинами конденсатора, если подвести к ним переменное напряжение высокой частоты (рис. 117, г).

Заглянем еще раз в мир мельчайших частиц вещества. Что будет происходить внутри куска дерева или другого непроводящего материала — диэлектрика, если поместить его в такое быстропеременное электрическое поле между пластинками конденсатора? Его частицы — молекулы, имеющие электрические заряды, от действия переменных электрических сил начнут колебаться, а их электрические заряды будут смещаться внутри молекул. Эти колебания и будут происходить сотни тысяч и миллионы раз в се-

кунду. В результате таких колебаний внутри вещества начнет выделяться много тепла.

Это и используют, например, для сушки сырой древесины. Складывают большие штабеля бревен или досок и с двух противоположных сторон устанавливают около них широкие металлические щиты или сетки, к которым подводится переменное напряжение высокой частоты. Получается нечто вроде огромного конденсатора. От действия быстропеременного электрического поля сырая древесина нагревается и быстро высушивается за несколько часов вместо нескольких месяцев обычной сушки на складе. При этом дерево не коробится и не трескается, так как оно равномерно прогревается и высушивается по всей своей толщине, и в нем не образуется вредных внутренних напряжений. Правда, обходится этот способ сушки пока еще довольно дорого.

Если сложить несколько листов фанеры, промазанных особой смолой — бакелитом, крепко прижать их одна к другой и прогреть в электрическом поле высокой частоты, получится прекрасный поделочный материал, очень прочный, легкий и не боящийся огня. Так новый способ нагрева рождает новые материалы.

Нагрев непроводящих материалов в электрическом поле высокой частоты оказался очень полезным и при изготовлении изделий из пластмасс. Их быстро прессуют в особых штампах и одновременно сильно прогревают. При этом конденсатором становятся обе половины самой пресс-формы, к которым подводится напряжение высокой частоты. Таким способом изготавливают много разнообразных изделий: блюда, стаканы, миски, а также части автомобилей, самолетов, радиоприемников.

При земляных работах в зимнее время электрическим полем высокой частоты можно быстро прогревать и оттаивать промерзший грунт. Пластины конденсатора делают в виде проволочных сеток (ковриков), которые кладут на землю, а между ними в мерзлой земле образуется электрическое поле высокой частоты и выделяется тепло. Как далека эта новая техника от старой, когда для оттаивания земли жгли костры и разбрасывали горящие поленья!

Можно ли испечь хлеб в бумажной коробке? Оказывается в электрическом поле высокой частоты можно сделать и это, если коробку с тестом поместить между пластинами конденсатора. Правда, хлеб получится необычный, странный — без корок, из одного только мякиша. Почему? В обычной печи нагревание теста происходит снаружи внутрь, и поверхность нагревается сильнее всего, отчего на ней и запекается корка. А в бумажной коробке тепло выделяется внутри самого теста и нагревание происходит равномерно по всей его толще. В этом очень важная особенность высокочастотного нагрева. Он обладает и другим важным свойством — избирательным действием. Высокочастотное маг-

нитное поле индуктора нагревает только проводники, но не нагревает непроводящих материалов — диэлектриков. Электрическое же поле конденсатора, наоборот, нагревает только диэлектрики, но не нагревает проводников.

А что произойдет, если предмет состоит из разных частей: проводников и диэлектриков? Например, железная банка, в которой находятся мясные консервы, довольно плохо проводящие ток. Поместим ее в магнитное поле индуктора. Стенки банки раскалятся, а сами консервы нагреются значительно меньше. Перенесем теперь банку в электрическое поле конденсатора. В нем, наоборот, греются консервы, а металлические стенки остаются холодными. Но вот стеклянная банка, в которую налит фруктовый компот, хорошо проводящий ток. Чтобы прогреть эти консервы, их надо поместить в магнитное поле индуктора. Оно нагреет компот, а стенки из непроводящего стекла останутся холодными. Высокочастотный нагрев широко применяется на наших консервных заводах.

Можно сделать и такой опыт. Заморозить кусок мяса так, чтобы вокруг него образовалась большая глыба льда, а затем поместить все это в электрическое поле очень высокой частоты. Получится удивительная вещь: мясо испечется, а наружные части льда останутся холодными и почти не растают.





ГЛАВА VII

КАК ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ПРИВОДИТ В ДВИЖЕНИЕ МАШИНЫ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ КОЛЕСА

Это произошло более ста лет назад, в 1838 г. В Петербурге вдоль набережной Невы стояли толпы людей и с удивлением наблюдали необыкновенное зрелище. По широкой реке плыла большая лодка, в которой сидело около 15 человек. Но в лодке не видно было ни гребцов, ни паруса, ни трубы паровой машины. Какая же сила приводила ее в движение? В толпе говорили, что ее движет электричество. На лодке был установлен первый в мире успешно работающий электродвигатель, созданный талантливым русским ученым Б. С. Якоби.

Правда, попытки построить электрический двигатель делались и до него. Но изобретатели шли по неверному пути. В своих проектах они подражали устройству паровой машины и вместо ее цилиндров с поршнями пробовали применять электромагнитные катушки, в которых вперед и назад двигались сердечники, приводящие в движение механизмы. Якоби понял, что надо идти иным путем: заставить электричество производить не возвратно-поступательное, а вращательное движение, устроить электрическое колесо, которое вращало бы механические колеса машин. И он построил именно такой двигатель.

Физики знали, что, если в магнитном поле между полюсами магнита поместить проводник с протекающим по нему током, он начнет двигаться поперек магнитного поля — электрические силы создадут механическое движение (рис. 118, *а*). Но движение это непродолжительно, проводник выйдет из пространства между полюсами и остановится. А что, если несколько магнитных полюсов расположить по окружности, а в середине между ними

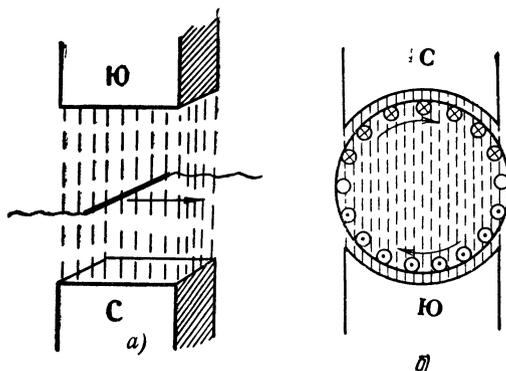


Рис. 118. Как электрический ток создает движение:
а — движение проводника с током в магнитном поле, *б* — принцип действия электродвигателя постоянного тока

а с ними будет вращаться и вся средняя часть двигателя. Получается непрерывно вращающееся «электрическое колесо». Так были созданы две главные части электродвигателя постоянного тока: неподвижная часть — статор, по окружности которого расположены полюсы электромагнитов, и движущаяся, вращающаяся часть — якорь с обмоткой, в которую с помощью особого контактного устройства — щеток — подается ток.

Вспомните, что мы говорили о генераторах. Замечаете ли вы большое сходство между ними и этими электродвигателями? Те же две основные части: неподвижная (снаружи) и вращающаяся (внутри). Причем, у небольших генераторов по окружности статора тоже расположены полюса электромагнитов, обмотка ротора вращается в их магнитном поле. Но замечаете ли вы глубокое различие в действии этих двух электрических машин? Ведь генератор производит ток: его ротор надо приводить в движение механическим двигателем, а от этого в обмотках индуктируется ток. В электродвигателе же якорь движется сам и приводит в движение машины, но для этого его обмотку надо питать током. Значит, машины эти противоположны по своему действию. Невольно приходит мысль, нельзя ли превратить электродвигатель в генератор или, наоборот, генератор в электродвигатель.

По горной железной дороге поднимается к перевалу тяжелый поезд с электровозом. Мощные электродвигатели получают ток из питающих проводов и приводят в движение колеса. Но вот поезд достиг перевала и пошел под гору. Теперь его увлекает вперед большая собственная тяжесть. Расходовать энергию больше не нужно. Поэтому в электровозе совершается странное превращение. Его бывшие электродвигатели становятся генераторами — они приводятся во вращение движением поезда, вы-

поместить проводники (так, чтобы они могли вращаться) и пропускать по ним ток? Ведь тогда эти проводники придут в движение, начнут поворачиваться, но, выйдя из-под одного полюса, они окажутся около следующего и от его действия будут перемещаться дальше по окружности (рис. 118, б).

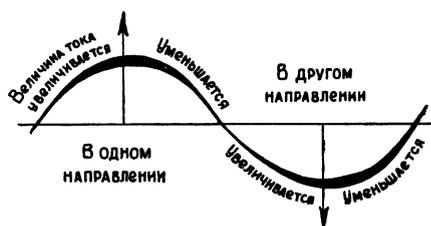
Они будут непрерывно вращаться, переходя от одного магнитного полюса к другому,

рабатывают электроэнергию и через токосниматель отдают ее в провода питающей сети. Электровоз временно превращается в небольшую электростанцию на колесах. На спусках он возвращает часть той энергии, которая была взята им «в долг» при подъеме.

Мы говорили об электродвигателях постоянного тока. Но ведь в современной технике гораздо больше применяется переменный ток. Именно такой ток вырабатывается электростанциями и передается по высоковольтным линиям передач. Поэтому перед изобретателями стояла важнейшая задача — создать хороший электродвигатель переменного тока. Она была блестяще решена талантливым русским инженером-электриком М. О. Доливо-Добровольским. Созданный им асинхронный двигатель трехфазного тока применяется теперь в промышленности всего мира.

Поговорим сперва о самом переменном токе. Он все время — сто раз в секунду — меняет свое направление. Это наглядно изображают в виде волнообразной кривой (рис. 119). Часть кривой вверх от горизонтальной линии показывает движение тока в одну сторону, а кривая вниз от нее — движение тока в другую сторону. При этом меняется не только направление тока, но и его величина: она растет, становится наибольшей (в точке *НВТ*), затем уменьшается до нуля, а потом снова увеличивается и уменьшается, но уже в противоположном направлении.

Доливо-Добровольский разработал трехфазную систему, состоящую из трех переменных токов. Она оказалась очень полезной и завоевала себе господствующее положение в технике. Три тока передаются по трем фазовым проводам. Посмотрите, как интересно располагаются в них изменения направления и величины тока. Они в одной фазе отстают от другой как раз на одну треть периода. Моменты наибольшей величины тока (*НВТ*) наступают сперва в первой фазе, через треть периода во второй



Кривые трехфазного тока

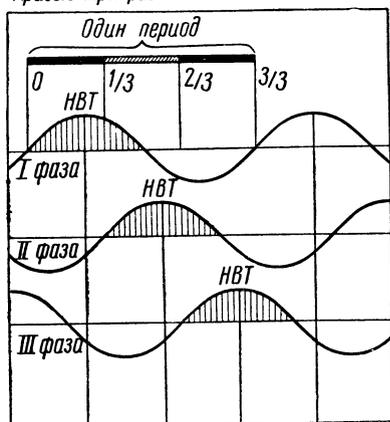


Рис. 119. Переменный ток и трехфазная система

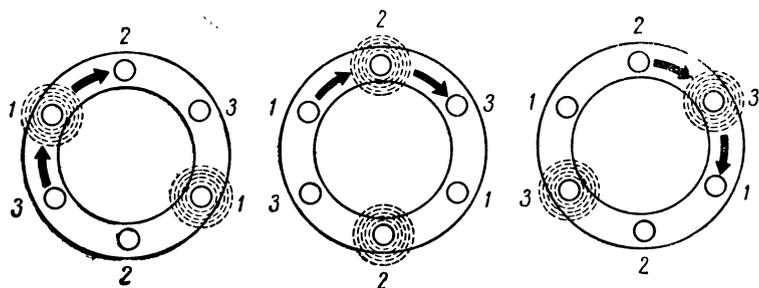


Рис. 120. Как вращается магнитное поле:
1, 2, 3 — фазы

фазе, еще через треть периода в третьей, а затем через треть периода снова в первой фазе и т. д.

Этими особенностями трехфазного тока воспользовался Доливо-Добровольский, создавая свой асинхронный двигатель. Рассмотрите, как расположены фазовые обмотки по окружности его неподвижной части — статора (рис. 120): сначала 1 фаза, потом 2, 3, затем опять 1, 2 и 3 и т. д. Что происходит в этих обмотках? Наибольшая величина тока последовательно наступает в 1, потом во 2, затем в 3, потом опять в 1, 2 и 3 и в результате она как бы бежит по окружности статора.

Но, как вы знаете, вокруг электрического тока всегда возникает магнитное поле. И чем больше величина тока, тем сильнее его магнитное поле. Что же получается в статоре трехфазного электродвигателя? Пусть в какой-то момент времени наиболее сильное магнитное поле образуется вокруг первой фазовой обмотки. Но уже через $\frac{1}{3}$ периода, т. е. $\frac{1}{150}$ долю секунды оно возникает вокруг второй фазовой обмотки, а еще через $\frac{1}{3}$ периода вокруг третьей, затем опять вокруг первой и т. д.

Таким образом, наиболее сильное магнитное поле вместе с наибольшей величиной тока непрерывно бежит по окружности статора. Оно совершает один оборот за другим. Получается очень своеобразное явление — вращающееся магнитное поле — невидимое, неощутимое нами магнитное колесо. Заметьте, что сам статор двигателя остается неподвижным, но в нем и вблизи него вращается это необыкновенное «магнитное колесо».

Если в статоре каждая из трех фазовых обмоток имеет всего по два полюса, то это вращающееся магнитное поле делает 50 оборотов в секунду или три тысячи оборотов в минуту.

Что происходит во вращающейся части двигателя, в его роторе? Устроен он очень просто. Во многих двигателях обмотка ротора состоит из нескольких продольных стержней, которые на обоих концах накоротко соединены кольцами. Такой ротор (рис. 121) часто сравнивают с беличьим колесом, в котором

кружится белка. Из внешней цепи никакого тока в ротор не поступает. Но так как вокруг ротора вращается магнитное поле и все время пересекает его обмотку, то в ней непрерывно индуцируется ток.

Ток, индуцированный в роторе, в свою очередь, вступает во взаимодействие с вращающимся магнитным полем статора, а это создает механическую силу, которая тянет ротор и увлекает его вслед за вращающимся магнитным полем. Так возникает вращение ротора.

Но вот что важно. Устремляясь за вращающимся магнитным полем, ротор асинхронного двигателя все же не может догнать его и всегда немного отстает от магнитного поля — вращается с несколько меньшей скоростью. Что произошло бы, если бы ротор стал вращаться точно с такой же скоростью, как и магнитное поле? Последнее перестало бы пересекать его обмотки. Следовательно, прекратилось бы индуктирование тока в роторе. Не возникла бы и сила, движущая ротор, и он вообще не мог бы вращаться. Вот почему некоторое отставание ротора неизбежно и необходимо. Его называют скольжением и оно обычно составляет 2—6% от числа оборотов магнитного поля.

И вот еще что стоит отметить. Когда увеличивается нагрузка двигателя, отставание или скольжение ротора становится большим, а скорость двигателя немного уменьшается. Но зато увеличивается скорость перемещения магнитного поля относительно обмотки ротора, значит усиливается индуцированный в роторе ток — увеличивается вращающая сила (вращающий момент двигателя) — и двигатель «тянет» сильнее. Когда же нагрузка становится меньшей, уменьшается и скольжение ротора, двигатель вращается быстрее, но зато «тянет» с меньшей силой. Скольжение ротора служит своеобразным автоматическим регулятором работы двигателя. Однако различие в числе оборотов невелико, и асинхронные двигатели отличаются постоянством своей скорости.

Изобретатели стали думать: нельзя ли применить принцип вращающегося магнитного поля, невидимого магнитного колеса и для других технических целей? Удачные технические принципы часто переходят из одной области производства в другую. Был создан, например, оригинальный нагревательный прибор с вращающимся магнитным полем. В первичной обмотке такого индукционного нагревателя три фазы расположены по окружности наподобие статора асинхронного двигателя. В обмотке образуется вращающееся поле. А вместо ротора двигателя устроена неподвижная система трубок, по которым протекает нагреваемая жидкость (трубки соединены как в беличьем коле-

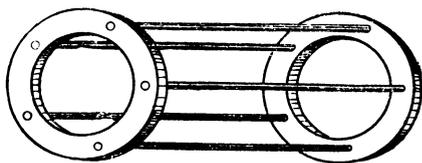


Рис. 121. Беличье колесо

се). При вращении магнитного поля, пересекающего эти проводники, в них индуцируется ток и они нагреваются. Такие нагреватели с невидимым магнитным колесом можно применять для подогрева нефти, масла, а в сельском хозяйстве — для пастеризации молока.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ВООРУЖАЕТ ТРУД СТРОИТЕЛЕЙ КОММУНИЗМА

Когда-то люди работали ручными орудиями. Кузнец бил тяжелым молотом по наковальне. Землекоп копал землю и отбрасывал ее в сторону лопатой. Пряжа пальцами вытягивала и скручивала нить. Земледелец жал хлеб серпом, а цепом вымолачивал из него зерно. Много сил и здоровья уносил тяжелый, изнурительный ручной труд.

Потом на смену ручным орудиям пришли машины. Ручной молот сменили могучий механический молот и пресс, лопату — экскаватор, ручное веретено — прядильный станок, серп и цеп — жатка и молотилка комбайна. В нашей стране применяется множество всевозможных машин. Механизация труда, вооружение его машинами — важнейшее условие успешного строительства коммунизма и одно из главных направлений развития передовой советской техники.

Но каждой машине нужен хороший двигатель. А самым лучшим двигателем, несомненно, является электрический. Он занимает мало места, но, если нужно, развивает огромную мощность; дает большую скорость вращения и очень экономно расходует энергию. Его можно установить в любом месте, и он работает в самых разных условиях. Электродвигателем просто и удобно управлять, его легко обслуживать и он может работать почти без участия человека. Поэтому электрический двигатель — один из лучших помощников строителей коммунизма.

Вот то, чего вы не видели и уже никогда не увидите, — старая неэлектрифицированная фабрика. Мрачное здание. В особом машинном отделении гроыхала огромная паровая машина, маховики которой иногда были размером в двухэтажное здание. От нее во все этажи и по всем цехам расходились ремни, вращаемые ими трансмиссионные валы, подвешенные под потолками, а от них опять ремни к отдельным станкам и машинам. Лес движущихся ремней. В цеху от них было шумно, темно, грязно, да и небезопасно — ремни и шкивы могли оторвать руку, замотать волосы.

Но на смену механическим трансмиссиям в цехи заводов и фабрик пришел электрический двигатель. Сотни тысяч электродвигателей расположились у отдельных станков и машин. Цехи освободились от ремней и трансмиссий. По кабелям и проводам электрический ток почти незаметно подводится к двигателю

каждой машины. Рабочие нажимают кнопки и в любой момент пускают или останавливают свои станки. А как удобно стало размещать и переставлять в цехе машины с отдельными электродвигателями, когда это нужно для лучшей организации производственного потока.

Партия и правительство обращают особое внимание на механизацию труда, в особенности тяжелых и трудоемких работ: строительных, земляных, погрузочных, в подземных шахтах, на колхозных полях и фермах. Машины облегчают труд советских рабочих и во много раз повышают его производительность. Внедрение новых машин всюду неразрывно связано с применением электрических двигателей.

Во всех городах нашей Родины быстро вырастают многоэтажные жилые дома. Высокие башенные краны в течение каких-нибудь минут поднимают вверх тяжелые балки, кирпичи и готовые части домов. Это электрические двигатели вращают лебедки кранов, поворачивают длинные стрелы с подвешенными грузами и даже передвигают краны с места на место. В морских портах могучие электрифицированные портовые краны легко поднимают в воздух и грузят на корабли тяжелые станки и автомобили. Труд скольких сотен грузчиков заменяют и облегчают электрические двигатели!

На строительстве электростанций и на других наших великих стройках приходится выкапывать целые горы земли. Здесь работают могучие машины — экскаваторы — механические лопаты. Шагающие экскаваторы-гиганты за один раз зачерпывают до 14 м^3 земли. За смену такой экскаватор может вынуть 4500 м^3 грунта; он заменяет ручной труд почти тысячи землекопов. Все сложные движения этой огромной машины производятся энергией многих электродвигателей, общая мощность которых достигает нескольких сот киловатт.

Электродвигатель дал возможность создать новые машины, работающие в глубоких подземных шахтах. Изнурителен был труд шахтера в дореволюционной царской России, когда приходилось вырубать груды угля ручным кайлом, подчас в самом неудобном положении, лежа на боку или на спине. Советские ученые и изобретатели создали прекрасные врубовые машины, которые движутся вдоль забоя и прорезают в угольном массиве глубокую щель. А потом обрушенный уголь отвозится транспортером. И врубовая машина и транспортер могут работать в подземном забое только потому, что их приводят в действие сильные электродвигатели, к которым ток подводится по гибким кабелям, проложенным вдоль подземных коридоров.

Однако вначале не удавалось механизировать погрузку отбитого угля на транспортеры. Ее приходилось делать вручную, а это задерживало весь процесс работы шахты. Но советская техника развивается по пути полной и комплексной механизации труда. Механизируется все больше операций не только основ-

ных, но и вспомогательных, в том числе и погрузка угля на транспортер. Советские изобретатели создали угольные комбайны, в которых механизмы подрубают уголь, отбивают его и грузят на отвозящий транспортер. И все эти звенья комплексной механизации выполняются благодаря работе ряда электродвигателей. Когда-то шахтер ручным кайлом вырубал за день не больше 2 т угля. Электрифицированный горный комбайн добывает столько же за 2 мин.

Электродвигатель все шире проникает и в наше сельское хозяйство. Электрифицированные машины облегчают труд колхозников, помогают им бороться за высокие урожаи и производить больше мяса, молока и масла. Но в сельском хозяйстве электродвигателю приходится работать в особых условиях. Машины находятся в разных местах: на гумне, на животноводческой ферме. А работает каждая из них недолго — нередко лишь 1—2 часа в день. Поэтому тут удобны переносные электродвигатели на носилках или на тележках, которые по очереди приводят в действие то веялку или сортировку, то машину для резки и приготовления корма, то насос для поливки. Ток подводится к ним по гибкому кабелю, который подключается к штепсельной розетке на стене здания или на ближайшем столбе с проводами. А так как разные машины работают с неодинаковой скоростью, у переносного двигателя есть несколько сменных шкивов разного диаметра, которые каждой машине дают нужную скорость.

Вот насос с электродвигателем, который установлен на повозке и подъезжает в нужные места для перекачки навозной жижи. А вот движется по полю мощная установка для искусственного дождя. Ее электронасос подает по трубам сильную струю воды, и она разбрызгивается, поливая широкую полосу земли в несколько десятков метров. Применяются и электродвигатели-карлики. Такой двигатель вделан, например, в рукоятку механических ножниц, которыми быстро и ловко обстригают с овец груди мягкой шерсти.

Есть и нерешенные еще задачи, над которыми работают изобретатели. Надо создать хороший электрический трактор, который вместе с плугом гулял бы по колхозным и совхозным полям. Но как подвести к нему ток? Пробовали делать тракторы с электродвигателями так, чтобы они на ходу разматывали с барабана длинный и гибкий кабель, противоположный конец которого подключен к источнику питания электроэнергией. Изобретатели работают над дальнейшим улучшением способов электрической пахоты.

Колыбелью электродвигателей был транспорт — здесь прежде всего нашли они себе практическое применение. Все новые тысячи километров электрифицированных железных дорог с каждым годом вступают в строй в нашей необъятной Родине. Они протягиваются во все стороны от ее сердца — Москвы; пересекут скоро всю Сибирь. На смену заслуженному ветерану — парово-

зу — выходят на стальные пути тысячи могучих и быстроходных электровозов и тепловозов.

В электродизельных тепловозах и автобусах ведущие колеса тоже приводятся в действие электродвигателями. Оказалось целесообразным установить на них небольшую электростанцию из теплового двигателя и генератора, питающего электродвигатели колес. Не вводится ли здесь лишнее электрическое звено между тепловым двигателем и колесами? Однако такое электрическое звено вполне себя оправдывает благодаря отличным тяговым свойствам транспортных электродвигателей постоянного тока с последовательным возбуждением. Они хорошо, с большой силой трогают с места тяжелые поезда, позволяют в широких пределах регулировать скорость и к тому же экономно расходуют энергию.

РОЖДЕНИЕ НОВОЙ МАШИНЫ

Электродвигатель все больше срастается с машиной. Когда-то одна огромная паровая машина через сложную трансмиссию приводила в движение машины всей фабрики. Электродвигатель дал возможность питать энергией каждую машину в отдельности — создать одиночный или индивидуальный привод. Правда, не сразу оценили эту возможность. В борьбе за новое порой мешают старые привычки. Вначале в цехах ставили большие, громоздкие электродвигатели, приводившие в движение группы станков. Но потом отдельные электродвигатели приблизились к каждой машине (рис. 122). Движение вначале передавалось через промежуточный вал контрпривода; потом через ремень, затем через зубчатку на колеса — все ближе, все теснее — и наконец электродвигатель непосредственно обосновался на самой машине. Сближение электродвигателя с машиной перешло в срастание. Вначале это был еще электродвигатель обычного типа, стоящий на кронштейне на стенке машины. Но потом появились специальные двигатели с фланцем, который болтами привинчивался к нужной части машины. Электродвигатель все больше срастался с машиной. Вал машины стал непосредственным продолжением вала двигателя. И, наконец, электродвигатель стали встраивать внутрь самой машины, статор укреплять в специальном гнезде, выточенном в ее стенке, а ротор насаживать на рабочий вал машины. Электродвигатель стал органической частью машины.

Но развитие электропривода машин на этом не остановилось. От машин с одним общим двигателем развитие техники пошло к многодвигательным машинам, у которых каждая рабочая часть приводится в движение своим отдельным электродвигателем. Это было важнейшим этапом в развитии современного машиностроения. На наших глазах рождается и быстро развивается этот новый замечательный тип машины.

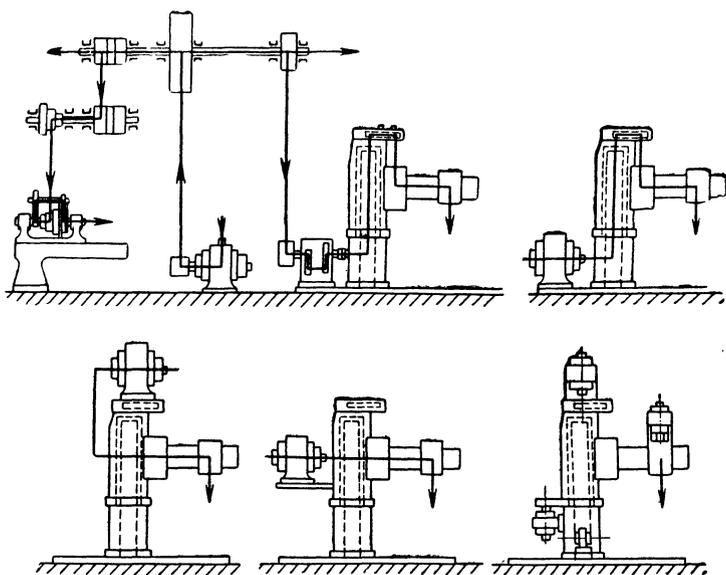


Рис. 122. Как электродвигатель все больше сростается со станком

Вот гигантский токарный станок, у которого расстояние между центрами 10 м. На таких станках обрабатывают, например, валы огромных турбин и генераторов наших электростанций. Главный электродвигатель мощностью 60 кВт вращает шпиндель станка с обрабатываемой деталью, весящей многие тонны. Этим двигателем можно управлять из пяти мест станка. Станок имеет два суппорта. На каждом из них есть свой электродвигатель. Еще два электродвигателя находятся на задней бабке: один для быстрого движения всей бабки по направляющим, а другой специально для выдвижения ее центра. Кроме того, на передней бабке установлено еще несколько небольших вспомогательных двигателей: для перемещения шестерен перебора в коробке скоростей, для передвижения зажимов на планшайбе при закреплении изделий, а также для работы двух масляных насосов.

Многодвигательный привод раньше всего появился на таких станках-гигантах, так как в них труднее всего было устраивать механические передачи от одного общего двигателя. Но затем это важное новшество перешло и к другим обычным машинам.

Проходя по цеху, взгляните на новый фрезерный станок. У него четыре электродвигателя. Два из них вращают два шпинделя с фрезами, третий приводит в движение стол с изделиями при медленной рабочей подаче и еще один двигатель создает ускоренную подачу стола при подводе изделий к инструментам. Рядом с фрезерным станком работает многодвигательный шли-

фовальный станок. Один электродвигатель вращает его шлифовальный круг, другой сообщает бабке с шлифовальным кругом движение подачи вдоль изделия, третий двигатель вращает шпиндель с укрепленным на нем круглым изделием, а четвертый двигатель приводит в действие насос охлаждающей жидкости.

Кто из вас не останавливался, чтобы посмотреть интересную работу экскаватора — могучей механической лопаты. Как ловко опускает он свой ковш и вонзает его в землю, затем выдвигает и в то же время поднимает рукоять, срезая слой земли и наполняя ею ковш; потом поворачивается в сторону и вываливает из ковша на землю. Но рассмотрите (рис. 123), как эти сложные движения рабочих органов производятся несколькими отдельными электродвигателями. Электродвигатель 1 установлен на платформе машины и приводит в действие лебедку, трос которой поднимает ковш с землей. Другой электродвигатель 2 поворачивает верхнюю платформу, а вместе с ней и стрелу с рукоятью и ковшом. Электродвигатель 3 установлен на самой стреле и приводит в действие рукоять, когда ковш выдвигается вперед и срезает землю. В больших экскаваторах есть еще специальный двигатель 4, открывающий и закрывающий дно ковша. Наконец, особый электродвигатель 5 приводит в движение гусеницы экскаватора, когда он передвигается по земле. В гигантских шагающих экскаваторах работает более 40 двигателей и других электрических машин.

Но для чего, спросите вы, стали делать такие машины с несколькими электродвигателями? Чем они лучше машин с одним общим приводом?

Чтобы лучше понять развитие современных машин, постараемся разобраться в том, из каких основных частей состоит каждая машина.

Главная часть машины — ее рабочие органы. Они непосредственно выполняют ту работу, для которой собственно и предназначена данная машина. У токарного станка — это суппорт, приводящий в движение резец, а также шпиндель, вращающий изделие; у фрезерного — шпиндель, вращающий фрезу и стол станка, на котором движутся изделия, у экскаватора — рукоять с ковшом, срезающим слой земли; у прядильного станка — веретена и т. д.

Другой основной частью машины является двигатель, питающий энергией и создающий движение всех частей машины.

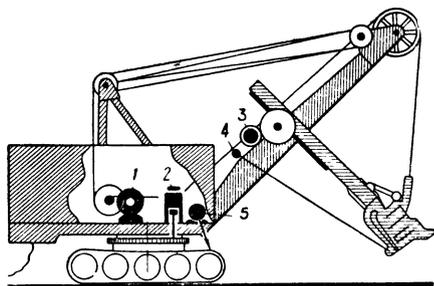


Рис. 123. Экскаватор с несколькими электродвигателями:

1, 2, 3, 4, 5 — электродвигатели

Но между двигателем и рабочими органами находятся механизмы, передающие движение: разнообразные зубчатые, ременные, цепные и другие передачи, кривошипно-шатунные механизмы и т. д. Это третья очень важная часть машины, задача которой не только передавать движение от двигателя к рабочим органам, но и преобразовывать его — создавать те сложные движения, которые должны совершать рабочие органы.

Когда движение передается от одного общего двигателя, эти передающие механизмы часто бывают очень сложны. Когда же вместо одного в машине делают несколько электродвигателей и каждый рабочий орган приводится в действие своим отдельным двигателем — нужда в сложных передающих механизмах значительно уменьшается. Их остается меньше, конструкция машины становится гораздо проще.

Посмотрите, как упрощалось устройство большой бумагоделательной машины по мере того, как ее передающие механизмы все более заменялись отдельными электродвигателями (рис. 124). Эта сложная машина имеет много рабочих органов. Лента будущей бумаги проходит сперва между валками нескольких прессов, отжимающих из нее воду. Потом в сушильной части машины бумага проходит между десятками горячих цилиндров и, наконец, между гладильными цилиндрами, отполированными, как зеркало, которые превращают ее в плотную и гладкую ленту бумаги. Вначале (рис. 124, а) все части огромной машины получали движение от одного общего двигателя через сложную систему передач. Потом (рис. 124, б) на машине установили несколько электродвигателей, приведших в движение группы цилиндров, отчего устройство механических передач уже заметно упростилось. И, наконец (рис. 124, в), каждый цилиндр получил свой электродвигатель — конструкция огромной машины стала еще проще.

Появились и новые прядильные машины, у которых каждое веретено вращается своим отдельным небольшим электродвигателем. Как сложно устройство механизмов прежних прядильных станков, у которых от общего двигателя надо подвести движение к каждому из многих десятков веретен так, чтобы они не только вращались, но и двигались вверх и вниз. Насколько проще, удобнее и производительнее стали эти многодвигательные прядильные машины.

Машиностроение в наши дни переживает целую революцию. Мы с вами — свидетели рождения новой машины. И огромное значение в этом имеет электрификация машин — применение в них нескольких электродвигателей, а также других электрических устройств, заменяющих механические передачи.

На заводах массового производства, где ежедневно изготовляют тысячи одинаковых деталей, работают уже не отдельные машины, а системы машин. Многие станки объединяются в поточные линии, в которых по конвейеру от одного станка к другому

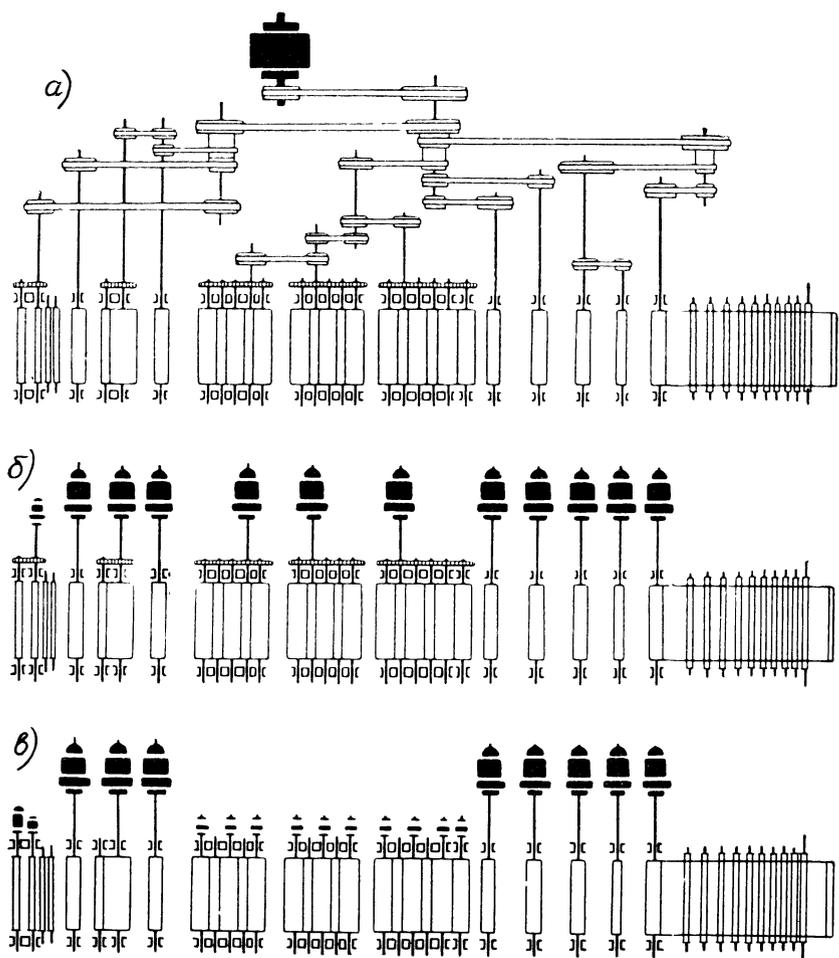


Рис. 124. Как упростилось устройство бумагоделательной машины:

а — все части машины получают движение от одного общего двигателя, б — установлено несколько двигателей, приводящих в движение группы цилиндров, в — каждый цилиндр имеет отдельный электродвигатель

движется непрерывный поток изделий. Каждый станок выполняет очередную сравнительно простую операцию: обтачивает определенное место деталей или фрезерует их, просверливает отверстия и производит другие виды обработки. Специализация станков ведет к упрощению их устройства. Они превращаются даже в отдельные силовые головки. Такая головка имеет свой электродвигатель, один или несколько инструментов и сравнительно простой механизм для передачи движения. Силовые го-

ловки легко устанавливаются и переставляются вдоль конвейера в нужных местах в той или другой последовательности.

Из них образуется сложная электрифицированная система машин с многими электродвигателями для отдельных операций.

«Умные» электрические автоматы управляют работой этой сложной системы и связывают отдельные машины в одно общее целое.

НЕОБЫКНОВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Сравните два электродвигателя: один большого диаметра, но короткий, другой же, наоборот, узкий и длинный. Первый из этих двигателей сросся с шлифовальным кругом. Благодаря плоской форме такой электроинструмент удобно подводить к шлифуемым изделиям даже сложного фасонного профиля, например к разным местам коленчатого вала. Второй же двигатель чебольшого диаметра хорош в таких машинах, в которых приходится часто изменять направление вращения. Ведь чем больше диаметр ротора двигателя, тем больше его инерция вращательного движения, которую пришлось бы преодолевать при каждой перемене направления вращения. Вот почему для такого применения уменьшают диаметр двигателя, а чтобы разместить в нем обмотки, увеличивают его длину.

Электродвигатели все теснее срастаются с инструментами и рабочими частями машин, образуя с ними неразрывное целое. Они превращаются в шлифовальный электрокруг, в электрофрезу, электроверетена. Строители наших домов работают электропилами, электромолотками, электросверлами, электрорубанками. Небольшие электродвигатели вделаны в их корпус или в рукоятку. Электропила стала полезным орудием в руках советских лесорубов. Ее электрический двигатель, получающий ток по гибкому кабелю, приводит в движение цепь с зубцами, которая, как в сливочное масло, врезается в стволы столетних деревьев. Стволы толщиной в полметра перепиливаются за полминуты.

Советские конструкторы создали и электробур для бурения в земле глубоких скважин, по которым идет нефть и газ — источники драгоценного топлива для автомобилей, тракторов, самолетов, электростанций. Герметически закрытый электродвигатель и связанный с ним в одно целое буровой инструмент опускаются на дно километровых скважин и там, окруженные водой и землей, вгрызаются в каменные породы. Для таких тяжелых условий работы двигатели делаются с плотно закрытыми кожухами, без малейших щелей, чтобы внутрь совершенно не могла проникать грязь, вода или пыль.

Мы видели, как электродвигатели перестраивают современные машины. Но и машины не остаются в долгу перед ними; они, в свою очередь, предъявляют электродвигателям свои требова-

ния, заставляя их перестраиваться в соответствии с новыми задачами и условиями работы. Вот, например, оригинальный двигатель, специально предназначенный для револьверных станков, изготовляющих изделия из прутка. У этого двигателя полый вал сделан в виде трубы. Прутковый материал подается через эту полость в середине вала и ротора двигателя.

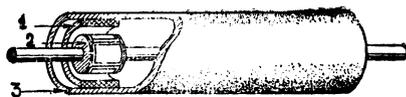


Рис. 125. Электророльганг:
1 — ротор, 2 — статор, 3 — ролик

Теперь заглянем внутрь электроверетена многодвигательной прядильной машины. Как органически соединилось веретено с вращающим его электродвигателем. Трудно даже различить, где кончается одно и начинается другое. Вращающаяся часть двигателя — его ротор — срослась с телом веретена в одно неразрывно целое, а неподвижная часть двигателя — статор — с подшипниками веретена.

Вы, вероятно, видели рольганги — дороги из вращающихся стальных роликов, по которым в цехах передвигаются тяжелые изделия. Здесь тоже оказалось лучшим установить на каждом ролике отдельный небольшой электродвигатель. Это очень упростило устройство рольгангового транспортера, особенно на его поворотах, где от общего двигателя пришлось бы делать сложные механизмы для передачи вращения под разными углами.

Познакомимся с устройством электророльганга (рис. 125). В нем тоже ротор двигателя сросся с вращающимся роликом транспортера. Статор же двигателя превратился в ось, вокруг которой вращается ролик. Но что за странность? Ведь обычно в электродвигателях вращающийся ротор находится внутри, а неподвижный статор расположен вокруг него, снаружи. А в электророльганге, как вы видите, наоборот: статор электродвигателя находится внутри, а ротор вращается вокруг него. Статор и ротор поменялись местами. Это вызвано условиями их работы.

Такая же перестановка оказалась ценной и в шлифовальном электрокруге, в котором двигатель тоже неразрывно сросся с шлифующим камнем. И здесь статор находится внутри, на оси; ротор же двигателя с надетым на него кольцом из абразивного материала вращается вокруг него.

На колхозных фермах встречаются еще более оригинальные устройства, в которых статор и ротор электродвигателя постоянно меняются местами. Это электродробилка для размельчения кормового зерна (рис. 126). Неподвижная часть электродвигателя тоже находится внутри дробилки, а подвижная вращается вокруг нее. Подвижная часть электродвигателя срослась с вращающимся барабаном *Ба* дробилки, который своими билами *Би* дробит зерно. Но дробилка на ферме работает всего 1 или 2 часа в сутки. И чтобы полней использовать ее электродвигатель, он в остальное время вращает шкив *Ш*, от которого ремень пере-

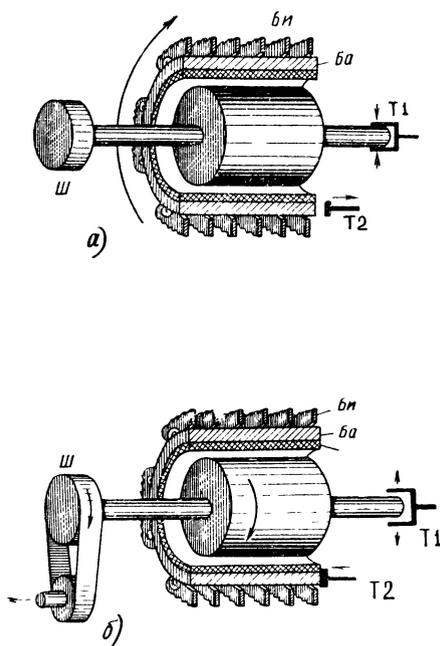


Рис. 126. Как статор и ротор меняются местами:

а — дробилка работает, внешняя часть вращается, внутренняя часть заторможена, *б* — дробилка не работает, внешняя часть заторможена, внутренняя часть вращается

дает движение другим сельскохозяйственным машинам. Но теперь уже неподвижной становится внешняя часть электродвигателя, а с нею вместе и барабан дробилки; вращается же его внутренняя часть и связанный с нею приводной шкив — статор и ротор временно поменялись местами. В машине есть два тормоза *T1* и *T2*. Если тормозом *T1* затормозить внутреннюю часть, то она становится неподвижной и электромагнитные силы приводят во вращение внешнюю часть — машина работает как дробилка. Если же отпустить тормоз *T1*, а тормозом *T2* закрепить неподвижно внешнюю часть с барабаном дробилки, силы электромагнитного взаимодействия начнут вращать внутреннюю часть двигателя, и он будет приводить в движение шкив.

«УМНЫЕ» ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ В АВТОМАТИКЕ

В автоматических устройствах часто применяются небольшие электродвигатели-карлики. Их мощность иногда составляет всего несколько ватт и даже десятые доли ватта, но значение их

очень велико. Они являются важнейшей частью «электрического мозга» автоматов и часто выполняют в нем весьма тонкую работу — пускают в ход и останавливают части сложного автоматического устройства, регулируют их скорость или изменяют направление движения. Их называют серводвигателями — служебными, вспомогательными двигателями.

Одним из самых интересных видов современных машин являются копировальные станки (рис. 127). Они обтачивают или фрезеруют изделия сложной фасонной формы, точно копируя форму шаблона. Особый следящий щуп *СЩ* движется по поверхности шаблона *Ш*. А инструмент *И* (фреза) в точности повторяет его движение и вырезает поверхность детали *Д*, воспроизводя на ней ту же самую форму. Как это делается? Существуют разные виды копировальных станков; мы расскажем об электроконтактном способе копирования.

Шаблон *Ш* и обрабатываемая деталь *Д* установлены на общем столе, который равномерно движется вперед. Суппорт же *С* с инструментом *И* движется вправо или влево, получая движение от реверсивного электродвигателя *ЭД* через винтовой механизм *В*. От сочетания этих двух одновременных движений — вперед и вправо или влево — можно получить сложное движение инструмента по любой фасонной поверхности изделия. Следящий щуп *СЩ* тоже движется вправо и влево: вправо его отталкивает поверхность шаблона *Ш*, а влево — пружина *П*. Но следящий щуп перемещается и по отношению к суппорту *С*, отчего он замыкает установленные на нем контакты *К1* или *К2*. Когда кривая поверхность шаблона уходит вправо, в этом же направлении движется и следящий щуп, замыкая контакты *К2*. Когда же поверхность шаблона уходит влево, щуп отжимается влево пружиной *П*, и теперь он замыкает контакты *К1*.

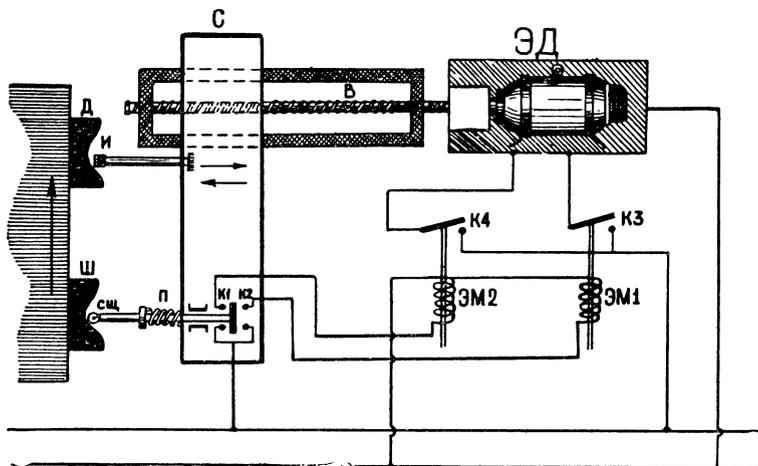


Рис. 127. Станок, копирующий форму шаблона

При движении щупа вправо и замыкании контактов $K2$ включается катушка электромагнита $ЭМ1$. Он втягивает свой якорь, замыкает им контакты $K3$ и включает электродвигатель $ЭД$. Направление вращения ротора двигателя, а с ним и винта B таково, что суппорт C и инструмент I движутся слева направо, т. е. в ту же сторону, что и следящий щуп.

Если же кривизна поверхности шаблона начинает уходить влево, то щуп, следя за ней, размыкает контакт $K2$ и замыкает контакт $K1$. Теперь ток поступает в другой электромагнит $ЭМ2$. Втягивая свой якорь, он замыкает контакты $K4$ (контакты же $K3$ размыкаются пружиной). Переключается подача тока в реверсивный электродвигатель, и его ротор, а с ним и винт B начинает вращаться в противоположную сторону. От этого суппорт C и инструмент I получают движение справа налево, т. е. снова повторяют движение следящего щупа. Вы видите, что инструмент все время в точности повторяет движения щупа и вырезает поверхность изделия такой же формы, как и шаблон.

Заметьте, что контакты $K1$ и $K2$ включают вспомогательную цепь (цепь управления), а контакты $K3$ и $K4$ — главную цепь, питающую двигатель. Таким образом, электромагниты $ЭМ$ и контакты $K3$ и $K4$ служат здесь усилительным устройством. Благодаря этому следящий щуп обладает большой чувствительностью к форме шаблона, а инструмент режет с большой силой и точно воспроизводит форму шаблона. Вместо электромагнитного устройства для этой же цели можно использовать более совершенное и сложное электронное устройство.

Слыхали ли вы о следящих системах? В действии многих автоматических устройств приходится непрерывно следить за ходом какого-нибудь производственного процесса и в соответствии с этим регулировать работу. Но автомату приходится следить и за работой собственных частей, он все время контролирует действие своих исполнительных органов. Соответствует ли оно заданной работе? Не отклонилось ли от нее? И если возникает несогласование между заданным и выполняемым действием — автомат тут же должен устранить его. Для этого применяется интересное устройство с небольшим служебным электродвигателем, которое и называется следящим.

Посмотрите сперва, из каких основных частей состоит такой следящий автомат (рис. 128). Стрелки на рисунке показывают связь между этими частями в ходе работы автомата.

А теперь посмотрим, как работает одно из таких следящих устройств. Особенно важно в нем действие контактного диска $КД$ — главной части этого «электрического мозга» (рис. 129). Присмотритесь к нему внимательнее. По ободу диска перемещается контактный ролик P , связанный с колесиком K , находящимся в середине диска. На окружности же диска находятся два проводящих ток полукольца $ПК1$ и $ПК2$, а между ними сделаны изолирующие прокладки I . Обод диска и колесико K с роликом

P могут поворачиваться независимо один от другого. При этом колесико и ролик приводятся в движение валом обратной связи *ВОС*, идущим от исполнительного органа автомата. Вал этот поворачивается в ту или другую сторону в тех случаях, если в исполнительном органе наступает рассогласование с заданной работой. Повороты же обода диска, связанного с ними червяка *Ч* и управляемого вала *УВ* вносят исправление в работу исполнительного органа и устраняют рассогласование.

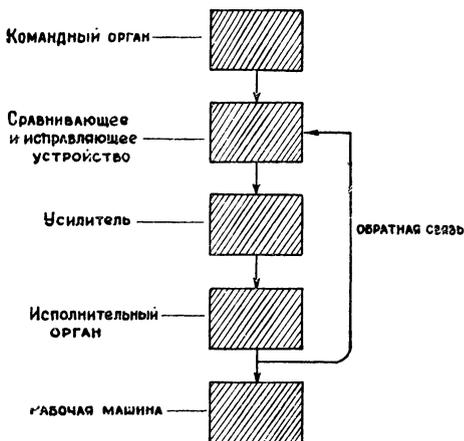


Рис. 128. Основные части следящей системы

В схеме этого следящего устройства вы узнаете также знакомую вам реверсивную электромагнитную муфту. Она передает движение от электродвигателя *ЭД* управляемому валу *УВ* и изменяет направление его вращения. А он воздействует на исполнительные органы автомата и в то же время поворачивает обод контактного диска *КД*.

Пусть автомат работает правильно и рассогласования между заданным и выполняемым действием нет. Тогда колесико *К* повернуто так, что ролик *P* стоит на изолирующей прокладке *И* контактного диска. Проследите по схеме, как при таком положении ролика ток не поступает ни в один из электромагнитов *ЭМ1* и *ЭМ2*. Якорь *Я* не притянут ни к тому, ни к другому и поэтому сцепная муфта не передает движения от электродвигателя

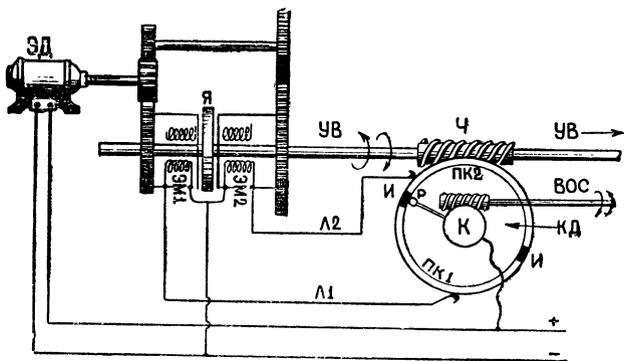


Рис. 129. Как действует следящее устройство

теля ЭД вала УВ. Двигатель вращается вхолостую, а вал остается неподвижным — он не воздействует на исполнительный орган и контактный диск не поворачивается.

Но вот в действии исполнительного органа автомата возникло отклонение от заданной работы (рассогласование с ней). Вал обратной связи ВОС поворачивается в ту или другую сторону в зависимости от того, в каком направлении отклоняется работа автомата. От этого поворачивается колесо К с роликом Р. Ролик сходит с изолирующей прокладки И и прикасается к тому или другому проводящему полукольцу, скажем к ПК1. Теперь открывается путь току из питающего провода через колесо К, ролик Р, полукольцо ПК1 и далее через Л1 в электромагнит ЭМ1 и обратно в питающий провод. Электромагнит ЭМ1 притягивает якорь Я, и теперь движение от электродвигателя ЭД передается управляющему валу УВ. Вал начинает вращаться, воздействует на исполнительный орган, и рассогласование в работе устраняется. Но до каких пор будет вращаться вал УВ? Вместе с ним посредством червячной передачи Ч начинает поворачиваться и диск КД. Движение диска продолжается до тех пор, пока против ролика Р не окажется изолирующая прокладка И. Тогда цепь, проходящая через ролик, разомкнется, ток в электромагнит поступать больше не будет, муфта перестанет передавать движение вала УВ и диск остановится. А это наступит, когда будет устранено отклонение в работе автомата от заданной нормы.

Проследите теперь сами, что будет, если в работе автомата произойдет противоположное отклонение? Как тогда вал обратной связи ВОС переведет ролик Р на другое полукольцо ПК2, как по линии Л2 ток поступит в электромагнит ЭМ2 и муфта включит противоположное вращение вала УВ? И почему диск

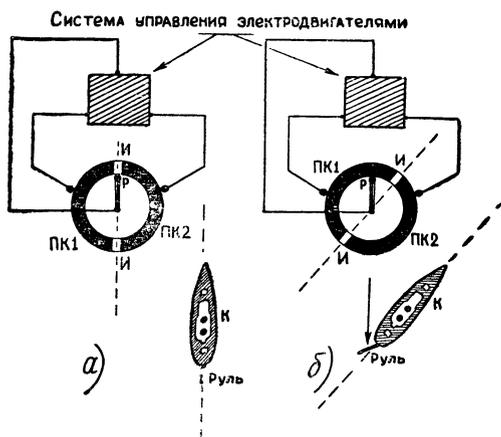


Рис. 130. Автоматический рулевой корабля: а — корабль движется по заданному курсу, б — корабль отклонился от заданного курса

КД повернется в противоположную сторону до устранения рассогласования в работе?

Так автоматическое устройство внимательно контролирует свою собственную работу и быстро исправляет замеченные ошибки.

Современные корабли оборудованы замечательными приборами — автоматическими рулевыми (рис. 130), которые без участия человека сохраняют заданное направление движения (курс) ко-

рабля. В них тоже работает следящий привод. Главной частью такого устройства являются два контактных полукольца *ПК1* и *ПК2*, разделенных изолирующими промежутками *И*. Эти полукольца поворачиваются вместе с кораблем, так что ось *И—И*, проходящая через изолирующие промежутки, всегда совпадает с продольной осью корабля *К*. Внутри же полуколец к ним прикасается контактный ролик *Р*. Он связан с гироскопическим компасом корабля — тяжелым и быстровращающимся колесом, которое обладает свойством сохранять постоянное направление своей оси в пространстве. Ось вращения гироскопа все время остается в направлении заданного курса корабля, даже если весь корабль отклонится от него в ту или другую сторону. А вместе с гироскопом и ролик *Р* все время тоже остается в направлении заданного курса.

Электродвигатель, поворачивающий руль корабля, через реле соединен с полукольцами *ПК1* и *ПК2* и включается ими в действие.

При этом двигатель вращается и поворачивает руль направо или налево в зависимости от того, какое из полуколец посылает в него постоянный ток.

Что же происходит, пока корабль движется по заданному курсу (рис. 130, *а*)?

Ось полуколец *И—И* совпадает с положением ролика *Р*, и последний касается изолирующего промежутка *И*. Поэтому цепь электродвигателя в этом месте разомкнута. Двигатель не работает, и руль остается в среднем положении.

Но вот корабль почему-либо отклонился от заданного курса, например вправо (рис. 130, *б*).

Полукольца и изолирующие промежутки *И* тоже повернулись. Ролик же *Р*, связанный с гироскопом, остался в прежнем положении — по направлению нужного курса. Поэтому ролик пошел теперь из изолирующего промежутка *И* и вступил в контакт с проводящим полукольцом *ПК1*. От этого цепь двигателя замкнулась, он начал работать и поворачивать руль.

При повороте руля корабль возвращается на заданный курс. Электродвигатель будет работать до тех пор, пока изолирующий промежуток *И* не совместится с положением ролика *Р*, отчего разомкнется цепь двигателя. Размыкание произойдет именно тогда, когда корабль снова пойдет по заданному курсу.

Если корабль отклонится в другую сторону — влево, в эту же сторону повернутся и полукольца. Ролик *Р* вступит в контакт с другим полукольцом *ПК2*. Цепь двигателя снова замкнется, но постоянный ток в его обмотке пойдет в другом направлении. Поэтому ротор реверсивного электродвигателя начнет вращаться в противоположную сторону. В другую сторону повернется и руль корабля. А это и нужно, чтобы снова вывести его на заданный курс.

НЕВИДИМЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВАЛ

«Право руля на такой-то угол!» — раздается команда с капитанского мостика корабля. Рулевой поворачивает штурвал. И в то же самое время на далекой корме корабля в точности на такой же угол поворачивается рулевой механизм — руль отклоняется в сторону, и корабль делает нужный поворот. Какой длинный и прочный вал нужен для того, чтобы соединить штурвал рулевой будки с механизмом руля и через десятки метров передавать повороты в точности на тот же самый угол! Но оказывается, никакого механического вала между ними нет. Как же тогда передаются эти повороты?

В годы Великой Отечественной войны бойцы противовоздушной обороны на зрительные трубы зорко осматривали небо. А вместе с их трубами на те же самые углы поворачивались прожекторы и стволы зенитных орудий, готовые в каждое мгновение метко обстрелять вражеский самолет. Если противник появлялся, стволы орудий были уже наведены в нужную точку неба. И здесь какие-то невидимые валы соединяли зрительные приборы с прожекторами и со стволами орудий, заставляя их все время делать вместе одни и те же повороты.

Казалось бы не такая уж важная вещь — угол поворота. А в технике он сплошь да рядом имеет огромное значение. На определенный угол поворачивается головка станка, чтобы установить инструмент против нужного места обрабатываемого изделия. На строго определенный угол поворачивается и стрелка измерительного прибора — манометра в котельной или амперметра на электрическом аппарате.

В современной технике часто бывает, что штурвал управления поворачивают в одном месте — на пульте диспетчера, а управляемые механизмы должны вернуться на тот же самый угол где-нибудь далеко от него, например на шлюзах канала. Бывает и так, что электроизмерительные приборы установлены на самих генераторах и трансформаторах электростанции, там их подвижные части поворачиваются на определенные углы, а совсем в другом месте, на щите управления, перед глазами диспетчера, стрелки приборов должны с большой точностью повторять все их повороты.

Что же представляют собой те невидимые валы, которые связывают одну с другой далекие вращающиеся части механизмов и заставляют их поворачиваться на одни и те же углы? Связь между ними не механическая, а электрическая. Электричество и здесь побеждает пространство и позволяет управлять на расстоянии.

В управляющем и исполнительном устройствах находятся две небольшие электрические машины, связанные между собой системой проводов. Каждая из них состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора. Они обладают характерным

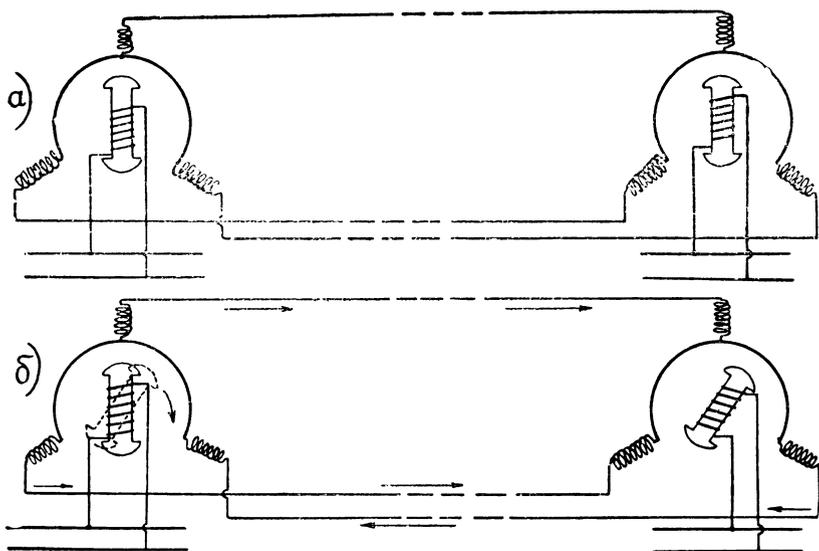


Рис. 131. Электрический вал:

а — сельсины находятся в равновесии, б — равновесие сельсинов нарушилось

свойством: роторы обеих машин всегда вращаются с одинаковой скоростью и поворачиваются на одни и те же углы. Их называют сельсинами или самосинами — устройствами, которые сами поддерживают синхронное движение, т. е. движение одинаковое во времени. Один из них — управляющий сельсин-датчик, а другой — управляемый сельсин-приемник, повороты которого повторяются двигателем, вращающим исполнительный механизм. Такое устройство образно называют еще электрическим валом.

Постараемся разобраться в действии сельсинов. Роторы обеих машин присоединены к питающей сети однофазного переменного тока и сделаны с двумя полюсами. Статоры же их имеют трехфазные обмотки подобно асинхронным электродвигателям. Но они не присоединены к питающей сети и не получают из нее тока. Зато статоры обоих сельсинов соединены между собой тремя проводами. Оба сельсина, как вы видите, устроены одинаково, хотя значение того и другого различно.

Пусть сначала роторы обоих сельсинов расположены одинаково, т. е. повернуты на один и тот же угол относительно статора (рис. 131, а). Протекающий в них переменный ток создает переменное магнитное поле, и в обмотках статоров индуктируются электродвижущие силы. Но так как в обмотках обоих сельсинов, в каждой их фазе эти электродвижущие силы одинаковы и направлены навстречу одна другой, то ток в соединяющих проводах не протекает. Сельсины находятся в равновесии и остаются неподвижными.

Но вот в сельсине-датчике ротор повернулся на некоторый угол (рис. 131, б) — скажем диспетчер или рулевой повернул штурвал управления. Теперь уже равновесие в обоих сельсинах нарушилось. При неодинаковых углах поворота роторов в обмотках обоих статоров индуктируются уже неодинаковые электродвижущие силы. А от этого в соединяющих их проводах возникают уравнивающие токи, которые текут из одного статора в другой. От взаимодействия этих токов с магнитным полем ротора в сельсине-приемнике возникает вращающая сила (вращающий момент), и ротор его начинает поворачиваться. Он поворачивается до тех пор, пока не займет такое же положение (под таким же углом), как и ротор сельсина-датчика. Тогда электродвижущие силы в обмотках обоих статоров снова становятся одинаковыми, уравнивающие токи в соединяющих проводах прекращаются, восстанавливается равновесие, и дальнейшее вращение ротора приемника прекращается.

В результате сельсин-приемник поворачивается в точности на тот же самый угол, на который повернулся сельсин-датчик. И так происходит каждый раз: сельсин-приемник послушно повторяет все повороты сельсина-датчика (большие или малые). Сельсин-приемник включен в цепь управления. Вместе с ним и на такой же угол поворачивается и ротор электродвигателя, приводящего в действие управляемый механизм — руль корабля, ствол орудия или части машин.

Могут встретиться более мощные сельсины, в которых однофазный ток из питающей сети подается в статоры обоих сельсинов. А в роторах сделаны трехфазные обмотки, и оба ротора соединены между собой проводами через скользящие контакты. Электродвижущие силы возбуждаются в роторах, и при поворотах одного из них в соединяющих проводах возникают уравнивающие токи.

Части сельсина поменялись местами, но сущность их действия осталась прежней.

Один сельсин-датчик может управлять поворотами не только одного, но и многих сельсинов-приемников. В больших городах электрические часы на улицах и площадях показывают в точности одно и то же время. Как регулируется и согласуется их ход? В некоторых системах таких часов также применяются сельсины. В уличных часах стрелки приводятся в движение сельсинами-приемниками. И всеми ими управляет один центральный сельсин-датчик, соединенный с очень точными часами. От него, по всем улицам города расходятся невидимые электрические валы, заставляющие стрелки десятков часов поворачиваться в точности на одни и те же углы.

Сельсины оказались очень полезными для применения и в современных машинах со многими электродвигателями. Скорости вращения их различных частей должны быть точно согласованы между собой. Надо, чтобы эти части машин вращались с одина-

ковой скоростью или с постоянным соотношением скоростей. Разладка скоростей может привести к браку изделий и к поломке самой машины.

Вспомните сложную бумагоделательную машину с ее многими валками и цилиндрами, имеющими отдельные электродвигатели. В каждой паре валков или цилиндров, если последующий будет вращаться слишком быстро по сравнению с предыдущим, бумажная лента натянется и оборвется. А если недостаточно быстро — бумага получится со складками или неравномерной плотности. Согласование скоростей многих электродвигателей нередко тоже выполняют сельсины.

Иногда бывает нужным, чтобы один механизм вращался быстрее или медленнее другого. Тогда применяются более сложные дифференциальные сельсинные устройства, которые вносят необходимое увеличение или уменьшение скорости вращения, как бы производят математическое действие сложения или вычитания углов поворота.





ГЛАВА VIII

В НЕВИДИМОМ МИРЕ ЭЛЕКТРОНОВ

ЛАМПА, КОТОРАЯ ПРОИЗВЕЛА ПЕРЕВОРОТ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Если бы вы спросили, какое техническое изобретение, какой новый прибор или аппарат сыграл наибольшую прогрессивную роль в развитии передовой техники XX в. (не считая использования атомной энергии), то мы, не задумываясь, ответили бы: «Это сделала радиолампа или электронная лампа!»

Кто из вас не держал в руках этот небольшой, но очень сложный и тонкий по своему действию прибор. Собственно это вовсе не лампа, так как она ничего не освещает. С лампой ее роднит лишь внешнее сходство и, отчасти, происхождение. Кстати, не всегда приборы эти бывают так уж малы по размеру — на радиостанциях встречаются лампы и в рост человека...

Значение электронных приборов в современной технике столь велико, что не будет преувеличением сказать, что мы живем в век электронной техники или электроники. Родившись в мире радио, электроника перешла и во многие другие области техники и производства, заняла в них передовое место и привела их к неслыханным победам. Электроника принесла величайшие технические завоевания и создала новые области техники: телевидение, радиолокацию, машины, производящие сложнейшие математические вычисления, и многое другое. Она подняла на новый, гораздо более высокий уровень современную автоматику и позволила создать замечательные приборы, работающие в различных производствах. За тесную связь с радиотехникой ее часто называют радиоэлектроникой.

Электронная техника — это управление миром мельчайших, невидимых для глаза заряженных частиц — электронов. В основе

ее достижений лежит глубокое изучение физических явлений, происходящих в этом микромире. В ней особенно ярко проявилось единство научной теории и производственной практики.

В электронике прежде всего изучается движение электронов в разреженном пространстве — вакууме. Заряженные частицы движутся в нем совершенно свободно, не встречая каких-либо препятствий. В этом важнейшая особенность и преимущество электронно-вакуумной техники, в отличие от прежней электротехники, которая использует движение заряженных частиц в металлических проводах (где оно встречает большие трудности). Свободным движением заряженных частиц в безвоздушном пространстве лампы можно гораздо лучше и тоньше управлять. К тому же частицы движутся здесь с очень большой скоростью. Поэтому электронные приборы отличаются не только большой чувствительностью, но и исключительной скоростью действия.

В работе электронных приборов имеет значение еще одно важное обстоятельство. Попробуйте сдвинуть с места автомобиль или остановить его, когда он движется даже с выключенным двигателем. Вы почувствуете огромную инерцию его неподвижной или движущейся массы. Чем больше масса, тем больше и инерция. Локомотивам особенно трудно сдвинуть с места и увеличить скорость тяжелых (вернее массивных) поездов. Как ни легки и подвижны контакты даже самых чувствительных электромагнитных реле, они все-таки имеют некоторую инерцию и поэтому приходят в движение с небольшим запозданием. Другое дело электронные приборы. Электроны имеют ничтожно малую массу — грамм, деленный на миллиард миллиардов миллиардов (число с 27 нулями). Практически их можно считать невесомыми и не обладающими инерцией. Поэтому поток электронов в вакууме мгновенно подчиняется действию управляющих сил. Электронные приборы, как говорят, безынерционны. Именно поэтому они дали возможность осуществить процессы невообразимой скорости, без которых нельзя было создать, например, телевидение, где электронный луч за $\frac{1}{25}$ секунды пробегает 625 строчек экрана телевизора. Только благодаря безынерционности этих приборов стало возможным производить с неслыханной точностью измерения до миллионных долей миллиметра, тысячных долей градуса или десятитысячной части секунды.

Радиоэлектроника — незаменимое средство современного производства с его техникой все более возрастающих скоростей, точности и чувствительности.

Заглянем в сущность тех процессов, которые происходят в электронной лампе, в мире движущихся в ней мельчайших частиц. Наше внимание, прежде всего, привлекает отрицательный электрод лампы (катод), так как с него начинается сложный и интересный процесс работы лампы. Каково мельчайшее строение его вещества? Он сделан из металла, например из тугоплавкого вольфрама. Его атомы или остатки атомов — ионы образуют кри-

сталлическую решетку, а между ними во все стороны движутся свободные электроны, оторванные от атомов, — своего рода электронный газ. Скорость, с которой движутся эти электроны, зависит от температуры: чем она выше, тем больше скорость электронов и их кинетическая энергия. Рассматривая работающую электронную лампу, вы заметите, что катод ее все время нагревается током. Нагревание это производится прямо или косвенно, т. е. током, проходящим по нити самого катода или по другой нити в канале внутри катода. Катод нагревается до очень высокой температуры 2000—3000°. Такая температура нужна для того, чтобы электроны внутри металла двигались с возможно большей скоростью.

Для работы лампы надо, чтобы быстро движущиеся электроны не оставались внутри металлического катода. Они должны вылетать из него во внутреннюю полость лампы, в ее безвоздушное пространство. Могут ли электроны покинуть металл, настолько ли они свободны? Это зависит от скорости и энергии их движения, а значит, и от температуры катода. При недостаточно большой скорости электроны не могут вырваться из металла в вакуум. При большей же скорости (при более высокой температуре) часть из них покидает металл катода и попадает во внутреннее пространство лампы. Однако им приходится преодолевать большое препятствие у самой поверхности металла, на его границе с вакуумом. Дело в том, что положительно заряженные ионы металла притягивают к себе отрицательно заряженные электроны. А на поверхности все эти силы притяжения направлены внутрь металла. Чтобы прорваться через этот поверхностный барьер и вылететь из металла в вакуум, надо совершить особую работу выхода, а для этого следует обладать достаточной энергией и скоростью. Такое выбрасывание электронов из металла называется электронной эмиссией.

Ученые много поработали над тем, как облегчить и увеличить этот выход электронов из металла катода. Оказалось, что выход электронов увеличивается, если в состав металла добавить некоторые примеси, например к вольфраму 1—2% тория или окисей некоторых металлов. Помогает также и особая обработка поверхности катода. Благодаря этому удалось снизить нужную температуру накала катода с трех до двух тысяч градусов.

Но для вылета электронов из катода и для их дальнейшего движения через лампу важно еще одно обстоятельство: надо, чтобы из лампы был возможно лучше выкачан воздух. Воздух обычной плотности и в незаряженном состоянии — плохой проводник электричества. Воздух или другой плотный газ, наполняющий лампу, мешал бы ее работе — движению электронов.

А проводит ли ток вакуум — пространство, лишенное воздуха? Как вам сказать: и нет, и да. Само по себе безвоздушное пространство — хороший изолятор, так как в нем нет заряженных частиц, движение которых могло бы образовать ток. Но если ввести

в него заряженные частицы извне, они могут хорошо и вполне свободно в нем двигаться, так как не встречают препятствия от столкновений с другими частицами. Это и используется в вакуумных электронных приборах.

В развитии электронной техники не малое значение имела борьба за все более высокий вакуум. Достигнуто уже многое. В хороших радиолампах плотность оставшегося газа примерно в 10 миллиардов раз меньше плотности окружающего воздуха. Число, показывающее это отношение, имеет в знаменателе единицу с десятью нулями. И все-таки в вакуумных лампах остается еще порядочно частиц вещества: в каждом кубическом миллиметре около 80 000 молекул газа. Физики в своих научных лабораториях откачивают воздух до еще более высокого вакуума. Число, показывающее, во сколько раз его плотность меньше плотности обыкновенного воздуха, имеет уже 12—13 нулей — в тысячи миллиардов раз...

Техника и научная лаборатория соревнуются с Вселенной, в которой известны еще гораздо меньшие плотности. В туманностях межзвездного пространства отношение плотности газа к плотности воздуха еще в десять или даже в сто тысяч раз меньше — его выражает число с 17 нулями.

Но что важно для электронной техники? Чтобы электроны, летящие в лампе, не сталкивались с частицами окружающего газа — это мешало бы их свободному движению. Важна длина тех свободных пробегов, которые совершают частицы между двумя столкновениями. В воздухе обычной плотности каждая частица сталкивается с другими миллиарды раз в секунду и от одного столкновения до другого пробегает лишь миллионные доли сантиметра. А в вакууме, который создается в электронных лампах, частицы между столкновениями пролетают километры... А это во много раз больше расстояния от одного электрода лампы до другого. Поэтому вакуум в лампе обеспечивает достаточно свободное движение электронов.

Но вот электроны вылетели из катода во внутреннюю полость лампы, в ее вакуум. Что ждет их дальше? Чтобы поток электронов направлялся от катода к аноду, чтобы в лампе возник ток, необходимо еще одно условие. Лампа должна быть включена в цепь, и между ее электродами — катодом и анодом — должно образоваться электрическое поле с электродвижущей силой. Без этого раскаленный катод будет выбрасывать электроны в вакуум, но они не полетят дальше к аноду. Близ поверхности катода образуется как бы электронное облако, из которого электроны будут падать обратно на катод. Если же к электродам лампы приложить напряжение, то электроны, вылетающие из катода, устремятся дальше к аноду — через лампу пойдет ток. Заметьте, что накал катода производится особым током не тем, который проходит через лампу.

Будем увеличивать напряжение, приложенное между электродами лампы. Что от этого получится? Чем большей станет электродвижущая сила, тем быстрее полетят электроны от катода к аноду, тем больше будет пролетать их в каждую секунду, а значит, будет расти величина тока, проходящего через лампу. Однако ток этот может увеличиваться лишь до известного предела, когда к аноду полетят все электроны, выброшенные из катода. Понятно, что сверх этого им неоткуда взяться. Это, как говорят, ток насыщения лампы. У вакуумных ламп такой ток насыщения сравнительно невелик.

Но производство требовало создания таких электронных приборов, через которые проходил бы значительно больший ток, нужный для управления электродвигателями и аппаратами. Пустотные, вакуумные приборы оказались уже непригодными. Надо было найти какие-то новые пути решения этой задачи. И такой путь был найден. Правда, с первого взгляда он несколько противоречит тому, что мы говорили о значении возможно большего вакуума для свободного движения электронов.

Что если впустить в лампу небольшое количество газа? Тогда в ней возникнут совершенно новые явления, новые процессы в мире мельчайших частиц. В такой лампе электроны, несущиеся от горячего катода к аноду, встречаются на своем пути атомы и молекулы газа. Имея огромную скорость, они с большой силой ударяются о них и отрывают некоторые из их электронов. В лампе образуются новые электроны и положительно заряженные остатки молекул — ионы. Новые электроны летят к аноду вместе с прежними, выброшенными из катода. А положительные ионы движутся в противоположном направлении — к катоду. В лампе образуются два встречных тока: электронный к аноду и ионный к катоду. При этом электроны на своем пути еще и еще сталкиваются с молекулами газа и отрывают от них все новые и новые электроны. От этого возникает все больше свободных электронов и ионов, и оба встречных тока становятся все сильнее и сильнее. Слыхали ли вы о снежных лавинах в горах? Ком снега, сорвавшийся с вершины горы, мчится вниз по круче, увлекая за собой все больше и больше снега. Небольшой ком разрастается в могучую лавину, ломающую дома и вековые деревья. Так и в лампах растут электрические лавины заряженных частиц, образуя весьма большие токи. Такие приборы, наполненные небольшим количеством газа, называют ионными, в отличие от электронно-вакуумных.

ТУДА МОЖНО — ОБРАТНО НЕЛЬЗЯ

У электронной лампы обнаружилось одно интересное свойство. При включении в цепь не спутайте полюсы и направление тока.

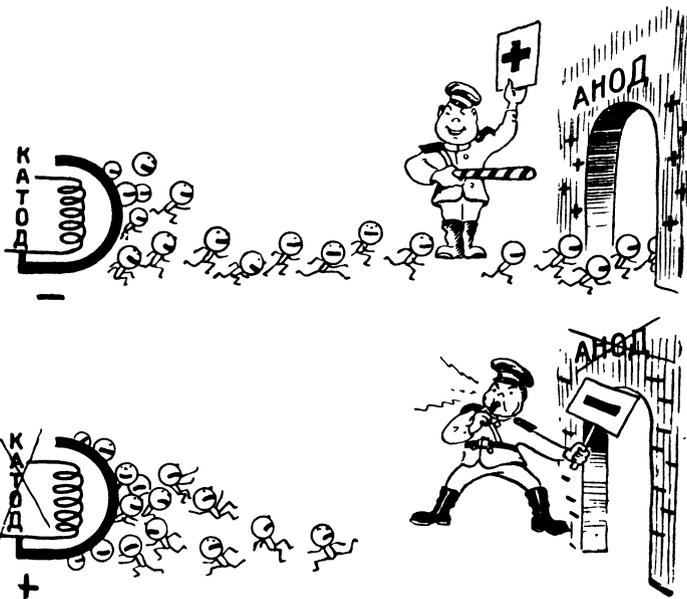


Рис. 132. Почему двухполюсная лампа выпрямляет переменный ток (туда можно — обратно нельзя)

Надо включать лампу так, чтобы нить накала действительно оказалась отрицательным полюсом — катодом, а противоположный электрод — положительным — анодом. Только тогда через лампу пойдет ток (рис. 132). Если же, наоборот, включить лампу так, что нить накала окажется положительным полюсом, а другой электрод — отрицательным, никакого тока через лампу не пойдет. Почему? В этом стоит разобраться.

В каком направлении движутся заряженные частицы в электрической цепи? Если это электроны, т. е. частицы, заряженные отрицательным электричеством, то они всегда движутся от отрицательного полюса к положительному, от катода к аноду, а не наоборот, будь ли то в металлическом проводе или в вакуумной лампе. Ведь отрицательные заряды отталкиваются одноименным отрицательным полюсом и притягиваются положительным. Вот почему горячий электрод, из которого выбрасываются электроны, обязательно должен быть катодом. Тогда электроны полетят от него дальше к аноду. Если же горячий электрод будет включен в качестве анода и электрическое поле будет действовать в противоположном направлении, то все электроны, вылетающие из раскаленной нити, будут тут же падать на нее обратно. Поток электронов между электродами лампы не образуется.

Электронная лампа с двумя электродами — диод — обладает свойством, о котором можно сказать: «Туда можно — обратно

нельзя», — свойством пропускать ток лишь в одном определенном направлении и не пропускать его в другом — противоположном направлении. Это свойство оказалось очень полезным во многих случаях практики.

В технике часто приходится применять различные выпрямители тока, превращающие переменный ток в постоянный, или электрические вентили — клапаны, пропускающие ток только в одном направлении.

Электростанции, линии высоковольтных передач и трансформаторные подстанции дают переменный ток. Но не для всех потребителей он пригоден. Двигатели электровозов и троллейбусов нуждаются в постоянном токе, и вдоль электрифицированных железных дорог приходится сооружать выпрямительные подстанции. Советские инженеры предполагают установить выпрямители на самих электровозах.

Выпрямительные устройства применяют и на заводах, так как постоянный ток нужен для электрохимических аппаратов, для зарядки аккумуляторов, для электродвигателей постоянного тока (когда нужно плавно и в большом интервале регулировать скорость машин).

В радиоприемнике работает детектор, который тоже выпрямляет переменный ток, возникающий в антенне от действия радиоволн. В схемах автоматики и телемеханики вы часто увидите даже несколько вентилях, включенных в разных ветвях цепи. Они открывают дверь току лишь в одном определенном нужном направлении по принципу: «Туда можно — обратно нельзя» — и этим управляют работой сложного автомата. Существуют разные типы выпрямителей и вентилях большой или малой мощности.

Присмотримся к тому, что происходит в двухэлектродной лампе, когда она работает в качестве выпрямителя. На ее электроды подается переменный ток; за каждый период он движется туда и обратно. Но через лампу ток может проходить лишь в одном направлении только в течение того полупериода, когда он движется от горячего электрода к холодному (туда). В течение же другого полупериода (обратно) ток через лампу не проходит и наступает кратковременный ($1/100$ сек.) перерыв тока. Полупериоды «обратно» как бы обрезаются лампой. Через нее проходит ток хотя и постоянного направления, но прерывистый пульсирующий. Такой ток в технике часто бывает неудобным, и электрики стали искать способы, как получить равномерный ток?

Пришлось создать более сложное выпрямляющее устройство с двумя лампами, чтобы они по очереди пропускали ток в течение то одного, то другого полупериода, а вместе создавали ток постоянного направления, без перерывов. Но как построить схему подобного устройства? Посмотрите, как остроумно удалось решить эту задачу. В каждую из двух ламп (рис. 133) ток отводится от половины обмотки трансформатора Tr , между ее средней точкой и тем или другим краем. В трансформаторе ток, ко-

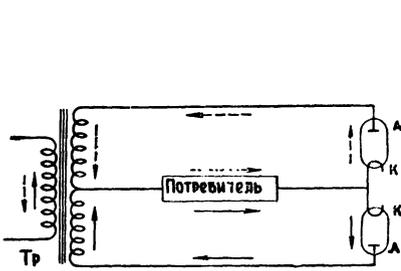


Рис. 133. Как уменьшить пульсацию выпрямляемого тока:

Тр — трансформатор, А — анод, К — катод

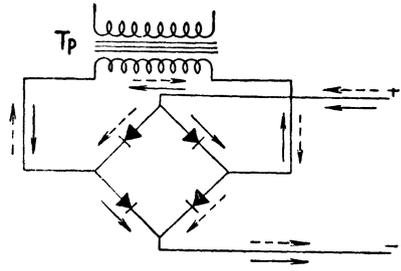


Рис. 134. Как происходит выпрямление тока в более сложной схеме

нечно, переменный. В каждой половине цепи с выпрямляющей лампой проходит ток постоянного направления, но лишь в течение того или другого полупериода. В среднюю же ветвь, объединяющую обе половины цепи, выпрямленный ток поступает непрерывно в течение обоих полупериодов — поочередно то из одной, то из другой лампы. В среднюю ветвь включается потребитель, нуждающийся в постоянном токе.

Разберитесь еще в одной (рис. 134) схеме с четырьмя электрическими вентилями, в которой переменный ток от трансформатора Тр превращается в постоянный. Проследите направление тока за каждый полупериод — до и после выпрямления. (Выпрямители в этой схеме другого типа, неламповые.)

В современной технике приходится выпрямлять очень мощные токи. А для этого, как мы уже знаем, нужны не электронно-вакуумные, а ионные приборы с небольшим количеством газа, в которых образуются лавины заряженных частиц. Для таких мощных выпрямителей особенно пригодными оказались пары ртути.

Ртуть — своеобразное вещество. Это — металл, хорошо проводящий электричество. Но при обычной температуре металл — этот находится в жидком состоянии. А при температуре 357° он уже кипит и образует пар.

Перед нами ртутный выпрямитель (рис. 135). В нижней части аппарата налита жидкая ртуть, которая служит катодом выпрямителя. Над ней в опрокинутой чаше находятся пары ртути. А в вытянутых отростках расположены аноды. Для выпрямления однофазного тока их бывает два, для трехфазного — три.

Как же работает такой ртутный выпрямитель? На поверхности жид-

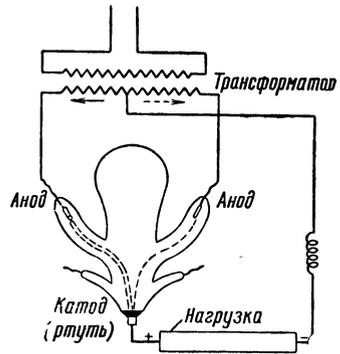


Рис. 135. Как действует ртутный выпрямитель

кой ртути есть активное место — яркое пятно, раскаленное до 2000°. В нем-то и испаряется ртуть, образуя пары, наполняющие сосуд выпрямителя. Из этого же места выбрасываются свободные электроны. Между нижним и верхними электродами приложено переменное напряжение. И в тот полупериод, когда жидкая ртуть становится отрицательным электродом (катодом), вылетевшие из нее электроны устремляются вверх, к положительному электроду (аноду). Но по дороге электроны проходят через пары ртути. Здесь они сталкиваются с молекулами ртути и отрывают от них электроны — между катодом и анодом образуется лавина из все большего количества заряженных частиц. Однако ток через аппарат может проходить только в те полупериоды, когда жидкая ртуть, выбрасывающая электроны, бывает отрицательным электродом. Поэтому и этот ртутный прибор, подобно вакуумной двухэлектродной лампе, пропускает через себя ток лишь в одном направлении, действуя по правилу: «Туда можно — обратно нельзя», — и служит хорошим выпрямителем переменного тока.

Но как получить постоянный ток без разрывов в течение обоих полупериодов? Вот для этого-то и сделаны два анода.

Рассмотрите, как подведен к катоду и к обоим анодам переменный ток от трансформатора. Выпрямитель включен между средней и обеими крайними точками вторичной обмотки трансформатора. В каждые полпериода направление тока во вторичной обмотке меняется, и положительным полюсом (анодом) по очереди становятся то правый, то левый электроды выпрямителя. Нижний же электрод остается катодом в течение обоих полупериодов. Поэтому поток электронов из катода все время перебрасывается то к одному, то к другому аноду. А в цепи, идущей к потребителям, непрерывно образуется выпрямленный ток.

Современная техника ищет новые способы передавать энергию на большие расстояния не переменным, а постоянным током высокого напряжения. Для этого нужны выпрямители-гиганты. Ведь надо выпрямлять токи огромной мощности, производимые электростанциями. Советские ученые уже создали такую опытную линию, передающую постоянный ток с Каширской электростанции в Москву на расстояние 112 км.

О НЕОБЫКНОВЕННОЙ СЕТКЕ И О ЗАМЕЧАТЕЛЬНОМ СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ ТОКОМ

В истории электронной техники произошло одно важнейшее событие: в радиолампу, кроме катода и анода, был введен еще третий электрод — сетка. Это было началом новой, более высокой ступени развития радиоэлектроники и открыло большие возможности для ее дальнейшего прогресса.

Мы видели, что электроны, вылетающие из раскаленного ка-

тогда, движутся к аноду, образуя своеобразный электрический ток в вакууме. А что если на пути этих электронов, между катодом и анодом лампы, устроить еще один промежуточный электрод и создать на нем дополнительное напряжение? Оно изменит и осложнит электрическое поле в лампе, (действие в нем электродвижущих сил). Как повлияет это на движение потока электронов?

Здесь могут быть два случая (рис. 136). Если на этом третьем промежуточном электроде-сетке напряжение будет положительным по отношению к катоду, то оно усилит действие анода, напряжение которого тоже положительно, и будет способствовать движению электронов; поток их через лампу увеличится. Если же, наоборот, напряжение на сетке будет отрицательным по отношению к катоду, то оно ослабит действие анода и будет препятствовать движению электронов — поток их уменьшится. Эти свойства сетки дали электрикам новый отличный способ управления электрическим током в лампе и во всей электрической цепи, в которую она включена. Подавая на промежуточный электрод положительное или отрицательное напряжение и делая это сеточное напряжение большим или меньшим, можно очень тонко и гибко, с большой скоростью и точностью управлять потоком электронов, т. е. анодным током лампы.

На рис. 136 *а* и *б* для наглядности расположение электродов в лампе изображено условно, схематично — так обычно рисуют его на схемах. Не подумайте, что катод, сетка и анод действительно так устроены и расположены в лампах. Нить катода часто проходит внутри анода, имеющего форму цилиндра. А между ними, вокруг нити катода навит промежуточный электрод в виде проволочной спирали или сетки — отсюда и произошло название «сетка». В промежутках этой сетки электроны могут легко проходить от катода к аноду. Но так как сетка находится на очень малом расстоянии от нити катода, гораздо ближе к катоду чем анод, то ее напряжение сильно влияет на движение электронов. Трехэлектродные лампы называются триодами.

Электронные лампы с третьим электродом — сеткой — преж-

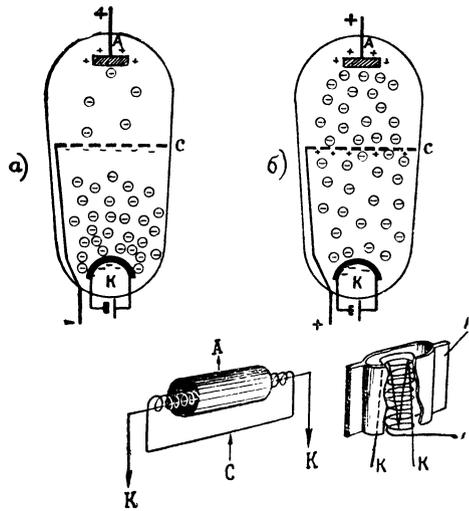


Рис. 136. Замечательная сетка, управляющая током (схема и устройство):

а — напряжение на сетке отрицательное, *б* — напряжение на сетке положительное, *К* — катод, *А* — анод, *С* — сетка

де всего оказались хорошими усилителями слабых электрических сигналов и для этой цели нашли очень широкое применение в технике. В электротехнике и радиотехнике часто необходимо бывает усиливать очень слабые токи и напряжения. На передающей радиостанции, перед тем как послать радиоволны на тысячи километров, нужно во много раз усилить те изменения тока, которые выражают звуки нашей речи или музыки. А когда эти волны на больших расстояниях улавливаются радиоприемниками, в их антеннах возникают очень слабые токи, изменения которых тоже надо во много раз усилить, чтобы можно было услышать передаваемые звуки. Усиление часто необходимо бывает и на производстве — в чувствительных измерительных приборах, контролирующих очень малые, еле заметные величины, в точных автоматических устройствах, при управлении на расстоянии и т. д.

Электронные приборы дают возможность производить огромные усиления — улавливать ничтожные сигналы и доводить их до очень большой величины. Радиоприемники с несколькими лампами могут усиливать сигналы в миллион раз. Принимая от далеких станций напряжения в стотысячные доли вольта, они усиливают их до сотни вольт. Чем больше усиление, тем выше чувствительность приемника к очень слабым волнам.

В радиолокации чувствительность еще гораздо выше, а значит во много раз больше и усиление. Радиолокационные приборы улавливают и усиливают напряжения в десятиллионные доли вольта. Радиотехника — колыбель электронных усилителей, они перешли из нее и во многие другие области техники и производства.

Что значит усилить? Это значит, отвечаете вы, из малой силы сделать большую, слабый процесс превратить в сильный, незаметный — в хорошо видимый. В электротехнике усиление часто имеет особый смысл. Надо превратить малые, слабые изменения тока или напряжения в большие, сильные, но так, чтобы усиленные изменения в точности соответствовали первоначальным. Пусть, например, какое-нибудь измеряемое слабое напряжение сначала увеличилось на две тысячные доли вольта, через секунду уменьшилось на одну тысячную, а еще через полсекунды снова увеличилось на три тысячных вольта и надо усилить все эти изменения в тысячу раз. Усиливающий прибор покажет вначале увеличение напряжения на два вольта, потом, через секунду, уменьшение на один вольт, а еще через полсекунды — увеличение на три вольта. Осталась та же кривая изменений, но в 1000 раз усиленная.

Трехэлектродная лампа с сеткой и служит прекрасным средством для такого усиления. На ее сетку подается напряжение с теми очень слабыми, еле заметными изменениями, которые надо усилить. А поток электронов, проходящих через лампу, — ее анодный ток — тут же становится большим или меньшим от действия этих слабых изменений сеточного напряжения, причем из-

менения анодного тока в точности соответствуют колебаниям напряжения на сетке, но воспроизводят их во много раз сильнее.

Рассмотрите принципиальную схему включения электронного усилителя (рис. 137). Напряжение V_1 , изменения которого надо усилить, включается между его сеткой C и катодом K . Анодная же цепь проходит через катод K и анод A лампы, нагрузку H и питающую батарею AB . Пока на сетке лампы напряжение не изменяется, по анодной цепи идет ток постоянной величины. Как только напряжение V_1 на сетке начинает изменяться, так сила анодного тока I и падение напряжения V_2 на нагрузке H в точности воспроизводят эти изменения и во много раз усиливают их.

Изменения анодного тока точно отражают все изменения сеточного напряжения. Они строго пропорциональны им. Конечно, усиление анодного тока происходит не из ничего, а за счет энергии, питающей батареи. Каждая лампа может усиливать в несколько десятков раз. Но часто такого усиления от одной лампы бывает недостаточно и тогда применяют каскады из нескольких ламп. Изменения напряжения, уже усиленные первой лампой, подаются на сетку второй. В ее анодной цепи получается еще большее усиление. Из нее колебания могут быть переданы на сетку третьей лампы и т. д. От лампы к лампе усиление растет. Каскады усилителей применяют как на передающих радиостанциях, так и в чувствительных радиоприемниках.

Видите, каким прекрасным средством служит сетка лампы для управления анодным током — потоком электронов в вакууме. С помощью сетки можно производить и гораздо более сложное управление током. Мы встретимся с ним, например, в радиотелефоне, где сетка электронной лампы заставляет ток, а затем и радиоволны, передавать тончайшие оттенки речи и музыки.

В студии радиостанции выступает певец. Как передаются звуки его голоса? Звуки, которые мы слышим, — это колебания воздуха сравнительно небольшой частоты, примерно от 20 до 16—20 тысяч колебаний в секунду. Мы уже говорили о том, как с помощью микрофона они превращаются в изменения электрического тока такой же звуковой частоты. Но по радио они передаются с помощью электромагнитных волн несравненно более высокой частоты — в сотни тысяч, миллионы и более периодов в секунду. Здесь надо, как говорят, наложить колебания низкой звуковой частоты на высокую несущую частоту переменного тока, а затем и радиоволн. Посмотрите на рис. 138, что при этом получается? Несущие колебания при одной и той же высокой частоте могут иметь различную амплитуду, т. е. могут больше или

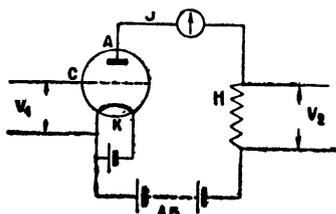


Рис. 137. Как электронная лампа усиливает сигналы

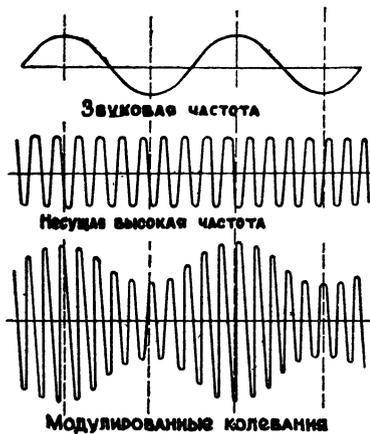


Рис. 138. Что такое модуляция

меньше удаляться от среднего положения, изображенного в виде горизонтальной оси. При наложении колебаний низкой частоты амплитуда несущих колебаний высокой частоты все время изменяется в соответствии с звуковыми колебаниями. Колебания несущей частоты как бы вписываются в звуковые колебания. Получается своеобразный, более сложный по форме, переменный ток, имеющий одновременно как бы две частоты: высокую и низкую, несущую и наложенную на нее звуковую. Это называется модуляцией колебаний.

Как же производится такая модуляция в радиотелефоне? Как накладывается в нем низкая звуковая частота на высокую несущую? Это можно хорошо сделать с помощью управляющей сетки электронной лампы. На сетку подается переменное напряжение высокой несущей частоты. В ответ на него анодный ток, проходящий через лампу, становится пульсирующим: величина его изменяется миллионы раз в секунду. Одновременно с колебаниями высокой частоты на сетку лампы подаются и колебания низкой звуковой частоты, идущие от микрофона. В результате амплитуда высокочастотных колебаний анодного тока изменяется в точном соответствии с звуковыми колебаниями радиопередачи. А затем эти сложные колебания тока передаются в антенну, и она излучает такие же модулированные радиоволны.

Такова замечательная управляющая способность сетки! Она управляет здесь сложнейшими изменениями тока, происходящими миллионы раз в секунду, и управляет ими с величайшей точностью, передавая все оттенки речи или музыки. Вы узнаете по радио голос каждого знакомого вам артиста. Конечно, это возможно лишь благодаря безынерционности электронных приборов, позволяющей им практически мгновенно изменять самые сложные электрические процессы.

Модуляцию применяют и в телемеханике. Накладывая колебания низкой частоты на высокую несущую, посылают различные электрические приказы. А на исполнительном посту модулирующие сигналы отделяются от несущей частоты и направляются разным объектам, заставляя их производить нужные действия. Этот способ дает возможность посылать по одной линии разнообразные приказы и хорошо обеспечивает надежность их выполнения.

Можно ли использовать ценные свойства управляющей сетки

в производственной технике, где приходится управлять большими токами, например при автоматическом регулировании работы электродвигателей. В вакуумных электронных лампах величина анодного тока недостаточна для питания мощных двигателей. Для этой цели больше подходят ионные приборы с небольшим количеством газа, в которых образуется мощный лавинный поток заряженных частиц. Вы спросите, нельзя ли сделать трехэлектродный ионный прибор, такой прибор, который сочетал бы в себе нужные свойства: способность пропускать сильные токи и управлять ими с помощью сетки? Такой прибор существует. Он называется тиратроном. Но у него оказались своеобразные особенности, свой «особый нрав», осложняющий его применение и заставляющий приспосабливаться к этому своеобразному прибору. Зато и пользу от него можно получить немалую.

Пусть на сетку тиратрона подано напряжение, положительное по отношению к катоду. Оно усилит влияние анода и отогрет тиратрон — через него пойдет ток. Пока все идет так же, как в обычной электронной лампе. Но вот понадобилось снова запереть тиратрон — прекратить идущий через него ток. На сетку подается отрицательное напряжение. Но тиратрон почему-то не запирается, анодный ток через него продолжает идти. Прибор начал проявлять свой «нрав». Дело в том, что внутри него есть некоторое количество газа, молекулы которого от ударов электронов ионизируются — превращаются в положительно заряженные ионы. Когда на сетку подается отрицательное напряжение, они притягиваются к ней, скапливаются вокруг нее и нейтрализуют ее заряд. Вот почему сетка не может теперь запереть тиратрон. Само название тиратрон происходит от слова дверь (тира). Его сетка хорошо открывает дверь для электрического тока, но не может закрыть ее.

Пришлось искать особые способы: как вернуть сетке ее управляющие свойства — способность закрывать дверь? Можно, например, на короткое время прекратить анодный ток. И тогда положительные ионы, присоединяя электроны, быстро превратятся в обычные нейтральные молекулы и перестанут мешать отрицательному напряжению сетки запиравать тиратрон. Правда, такую манипуляцию придется повторять после каждого его отпирания. Это осложняет и ограничивает применение прибора.

Пути развития и потребности современной техники бесконечно многообразны. И нехорошие с первого взгляда свойства тиратрона открыли новые возможности его применения. Они оказались очень полезными для управления переменным током.

При переменном напряжении в течение одного полупериода ток идет от катода тиратрона к аноду, в это время образуются положительные ионы, мешающие сетке управлять током. Но в течение следующего полупериода, когда направление приложенного напряжения становится противоположным, ток через тиратрон от анода к катоду протекать не может и наступает перерыв

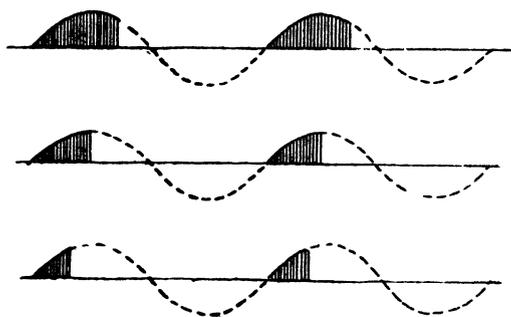


Рис. 139. Как тиратрон изменяет величину переменного тока

ного тока можно изменять тот момент времени, в который сетка откроет дверь и пустит анодный ток. Можно открывать дверь в самом начале каждого периода, и тогда ток будет идти через тиратрон в течение целого полупериода. А можно открывать дверь и несколько позже, так что ток от катода к аноду будет идти лишь в течение большей или меньшей части полупериода. Это наглядно видно на графиках переменного тока, показанных на рис. 139. В результате будет увеличиваться или уменьшаться средняя величина тока, проходящего через тиратрон (получающаяся от сложения этих отдельных коротких импульсов). Для регулирования напряжения на сетке нужны сложные дополнительные устройства.

Тиратрон дал возможность плавно управлять работой многих машин. Например, в текстильных машинах или при волочении проволоки важно постепенно изменять скорость двигателей в соответствии с измеряемым натяжением пряжи или проволоки. Автоматические устройства в ответ на показания контрольных приборов точно регулируют работу тиратронов — момент их отпирания в течение каждого периода переменного тока, поступающего в двигатели.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛУЧ

Окончился рабочий день, и вы садитесь против вашего любимого друга — телевизора. На экране ясное светящееся изображение — показывают новый кинофильм, театральные спектакль или спортивное состязание. Хорошо видны даже быстрые движения бегущих футболистов. Как передаются эти изображения и что происходит в стоящем перед вами отполированном ящике?

Прежде всего, есть ли, действительно, на экране телевизора то цельное изображение, которое воспринимает ваш глаз? Не удивляйтесь этому вопросу. Изображение, которое вы видите на экране, складывается из многих отдельных светящихся строчек, а

анодного тока. А за это время положительные ионы успевают превратиться в нейтральные молекулы газа. И сетка снова приобретает свою управляющую способность не только открывать, но и закрывать дверь анодному току. Задача эта, как видите, решается очень просто.

Но действие тиратрона этим не ограничивается. В течение каждого периода переменного

каждая строчка — из многих отдельных пятен. Причем, светятся они не одновременно, а строчка за строчкой, пятно за пятном. Но так как эта смена светящихся строчек и пятен происходит с огромной скоростью (за ничтожные доли секунды), то глаз ваш не воспринимает их в отдельности, а соединяет сотни строчек и сотни тысяч пятен в одно целое изображение.

По экрану телевизора движется электронный луч — узкий поток электронов. Экран же покрыт веществом, которое от действия быстро движущихся электронов (от их ударов) испускает свет. Электронный луч прочерчивает по экрану горизонтальные строчки и проходит их одну за другой по всему экрану. При этом ток в электронном луче все время меняется. Его большая величина соответствует светлым изображениям, а меньшая — темным. Те места экрана, на которые падает более сильный поток электронов, излучают больше света, а те, по которым проходит менее сильный луч, светятся слабее. Поэтому-то на экране и получается светящееся изображение, в точности соответствующее тому, которое передается посредством электронного луча.

Электрические процессы в телевизоре происходят с огромной скоростью. За $\frac{1}{25}$ долю секунды электронный луч прочерчивает по экрану 625 горизонтальных строчек. А каждая строчка состоит из 830 маленьких светящихся пятен — элементов изображения. Так что всего на экране около 520 тысяч таких пятен. Все строчки экрана луч пробегает 25 раз в секунду, а передача каждого из элементов изображения продолжается стомиллионные доли секунды. Такая невообразимая скорость автоматических процессов может быть получена лишь благодаря безынерционному действию электронных приборов.

Заглянем внутрь телевизора. Главная часть его — электронно-лучевая трубка (рис. 140). Это — родная дочь электронной лампы. Но, как часто бывает в развитии техники, — «дочь» стала сложней своей «матери» и приобрела новые свойства. Мы узнаем в ней знакомые части, но в измененном виде.

Вот накаленный катод *K*. Он испускает электроны и с него начинается работа трубки. За катодом на пути электронов находится две управляющие сетки *C1* и *C2*: одна в виде цилиндра, окружающего катод, а другая в виде плоского диска с отверстием посередине. Напряжение на этих сетках управляет величиной тока в электронном луче — увеличивает или уменьшает количество летящих в нем электронов. В телевизоре на электроды-сетки подается переменное напряжение, соответствующее более светлым или более темным элементам передаваемого изображения.

Как в сетках, так и в дальнейших электродах по оси трубки сделаны узкие отверстия. Они как бы срезают края потока электронов, летящих из катода, и превращают его в узкий пучок — электронный луч.

За сетками расположены два анода *A1* и *A2*. Анод *A2*, имеющий высокое напряжение (положительное по отношению к ка-

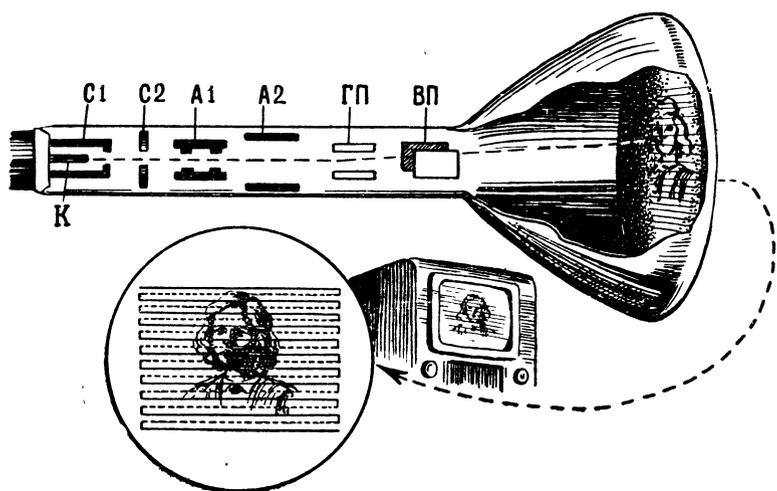


Рис. 140. Как устроена электронно-лучевая трубка

туду), разгоняет электроны до большой скорости и увеличивает энергию их движения. Анод $A1$ особого устройства создает сложное электрическое поле, которое сосредоточивает и направляет узкий пучок электронов, как говорят, фокусирует его, т. е. заставляет сходиться в определенном месте на экране, создавая на нем ясное изображение. Действие электродов подобно тому, как стеклянные линзы бинокля или фотоаппарата сводят в своем фокусе световые лучи. По аналогии с ними эти электроды называют электронными линзами.

Сложное сочетание электродов — катода, сеток и анодов — образует своего рода электронную пушку или электронный прожектор, создающий узкий пучок быстро летящих заряженных частиц. Но работа электронно-лучевой трубки на этом не кончается. Ведь надо еще, чтобы электронный луч двигался по экрану — по широкому дну лучевой трубки и одну за другой прочерчивал на нем строчки светящегося изображения. Для этого необходимо сообщить лучу два движения: горизонтальное, вдоль каждой строчки, и вертикальное, от одной строчки к другой.

На схеме трубки, после ее анодов, вы видите еще две пары пластин — горизонтальных $ГП$ и вертикальных $ВП$. Они-то и управляют движениями электронного луча. На пластины подается напряжение, и между ними в каждой паре образуется электрическое поле. Когда между парой пластин проходит поток электронов, от взаимодействия между его зарядами и силами электрического поля электронный луч отклоняется в сторону в плоскости, перпендикулярной пластинам. Напряжение на вертикальных пластинах $ВП$ регулируется так, что они отклоняют луч впра-

во и влево и заставляют его двигаться вдоль горизонтальных строчек экрана. А после каждого прохода по строчке подается напряжение на горизонтальные пластины, и от их действия луч смещается вертикально, переходя на следующую строчку. Смещение луча происходит безотказно — тысячи раз в секунду.

Без электронно-лучевой трубки не могло бы быть создано и другое важнейшее достижение современной техники — радиолокация.

Высоко в небе ночью или днем, за облаками, летит самолет, невидимый для глаз наблюдателя. Но радиолокатор посылает по направлению к самолету кратковременные импульсы направленных радиоволн. Они достигают самолета, отражаются его поверхностью, и часть этих волн возвращается обратно к радиолокатору и принимается его чувствительными приборами. По положению антенны можно узнать, в каком направлении от нас находится самолет. А по времени, в течение которого волна дошла до него и вернулась обратно, определить расстояние до самолета. Скорость радиоволн известна: 300 тыс. км/сек. Если умножить скорость на время, получится путь, пройденный волной туда и обратно. Но время здесь ничтожно мало. Если до самолета 30 км, то волна пройдет туда и обратно за две десятитысячные доли секунды. Измерить такие малые промежутки времени могут только автоматические электронные приборы.

Лучевая трубка (рис. 141) даже наглядно показывает измененное время и расстояние. На экране индикатора наблюдатель

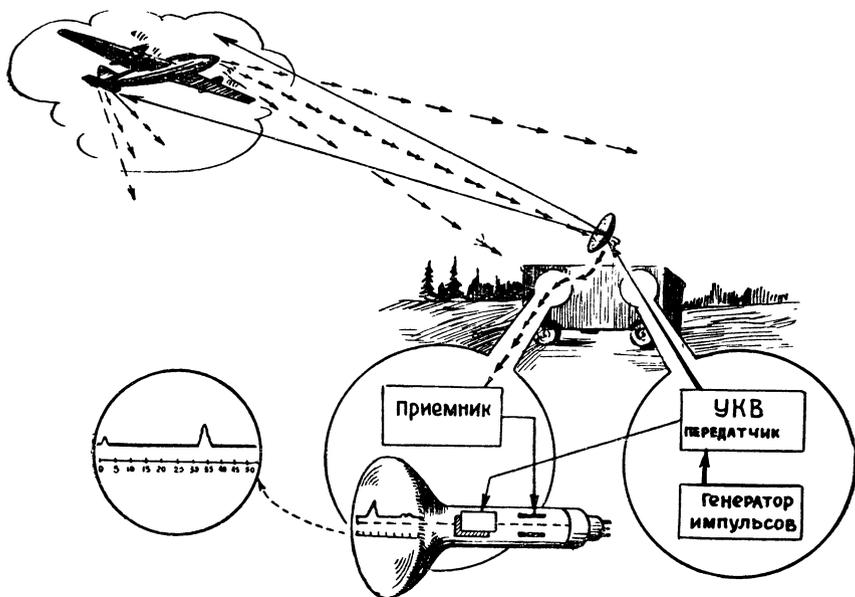


Рис. 141. Радиолокация

видит горизонтальную светящуюся линию, на которой в том или другом месте появляется зазубрина или всплеск. Если такого всплеска на линии не видно, значит самолета в небе нет. Но как только появится самолет, возникнет и всплеск, причем его расстояние от левого края шкалы индикатора в точности соответствует расстоянию до самолета. Если таких всплесков на линии несколько, значит в небе появилось несколько самолетов на различных расстояниях. Когда самолеты приближаются, «всплески» движутся от правого конца линии к левому. Если же появились новые всплески, движущиеся от левого конца к правому, значит поднялась в воздух эскадрилья своих самолетов и полетела навстречу приближающемуся противнику. На экране видно, как они встретились — завязался воздушный бой.

Чем достигается удивительная работа электронно-лучевого индикатора? И здесь движением электронного луча управляют две пары пластин: горизонтальная и вертикальная. Когда радиолокатор посылает свой очередной импульс радиоволн, напряжение подается на вертикальные пластины и электронный луч начинает быстро двигаться слева направо, прочерчивая на экране индикатора горизонтальную линию. А когда эти волны, отраженные самолетом, возвращаются обратно и принимаются станцией, напряжение подается на горизонтальные пластины, и луч совершает движение вверх и вниз, образуя всплеск. Чем дальше самолет и чем больше пройдет времени между посылкой импульса и его приемом (возвращением), за которое волна проходит туда и обратно, тем дальше от левого края образуется всплеск.

Не подумайте, однако, что наблюдатель видит на экране каждое движение луча, длящееся всего десятитысячные доли секунды. То, что он видит, — это светящийся след, образовавшийся от сложения многих движений луча. Ведь радиолокатор посылает и принимает сотни и тысячи импульсов волн в секунду. После каждого из них электронный луч прочерчивает свою линию и делает всплеск. Но светящееся вещество экрана обладает своего рода световой памятью — оно в течение некоторого времени сохраняет светящиеся следы луча и соединяет множество таких следов в одну видимую линию.

Есть и другой тип радиолокаторов с круговым обзором. С летящего самолета с помощью вращающейся антенны эти локаторы прощупывают окружающую местность, посылая лучи радиоволн и принимая обратно их отражение. А электронный луч рисует на экране как бы светящуюся карту местности. Для этого он вращается по экрану, и в то же время движется от его центра к краю, проходя, таким образом, с огромной скоростью все поле экрана. Такая электронно-лучевая трубка имеет магнитное устройство, управляющее движением луча. В горловине трубки создается вращающееся магнитное поле, которое увлекает за собой поток заряженных частиц и заставляет его описывать круги. В то же время луч отклоняется все дальше от оси.

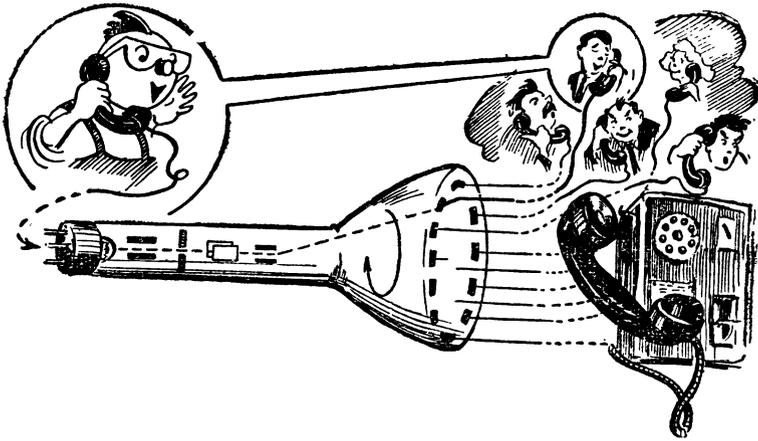


Рис. 142. Как электронный луч переключает цепи

Электронный луч и лучевые трубки находят все более разнообразное и новое применение в технике. Совершенствуются и сами трубки.

В междугородной телефонной связи на большие расстояния важно по возможности уменьшить число проводов и в то же время увеличить количество разговоров, передаваемых одновременно по одному и тому же проводу или на волне данной длины. При этом необходимо, конечно, чтобы разговаривающие не мешали друг другу. Один из способов такой телефонной связи состоит в том, что на обоих концах линии работают электронные переключатели — распределители, по очереди включающие каждый из многих разговорных каналов. Каждый из них включается прерывисто, лишь на небольшое время (доли секунды), но разговаривающие не замечают перерывов между импульсами тока, передающего их слова.

В качестве такого переключателя-распределителя, действующего с огромной скоростью, и оказалась полезной электронно-лучевая трубка (рис. 142). Электронная пушка, создающая луч и управляющая движением луча, осталась в ней прежней. Изменилось лишь дно широкой части трубки. Светящегося экрана на нем нет — он здесь не нужен. Зато вместо него по окружности дна расположился ряд электрических контактов, от которых отходят линии нескольких телефонных аппаратов. Электронный луч быстро вращается и по очереди, на очень короткое время, замыкает каждый из этих контактов. Телефонная цепь образуется через общую линию связи, а на обоих концах ее — через электронный луч, контакт в электронно-лучевой трубке и линии каждого из телефонных аппаратов. На таком электронном переключателе находится, например, 24 контакта, и луч обегает их

по кругу 40 раз в секунду. При этом 24 разговора происходят одновременно, не мешая один другому; говорящие не будут замечать никаких перерывов.

Если ток в электронном луче недостаточно силен, контакты покрывают веществом, из которого электроны луча выбивают большое число новых электронов, отчего ток в последующих звеньях цепи усиливается.

Этот же принцип электронно-лучевого распределителя можно применить и в телемеханике для посылки по одной линии различных электрических приказов на многие далекие управляемые объекты. На обоих концах линии — на командном и исполнительном — работают два электронно-лучевых переключателя. Лучи их вращаются с одинаковой скоростью и поочередно соединяют органы управления с соответствующим управляемым объектом. При каждом переключении образуется непрерывная цепь, проходящая через электронный луч и контакт на командном посту, далее через общую линию связи, а затем через электронный луч и контакт на исполнительном посту — до управляемого объекта включительно. И в то короткое время, когда возникает такая непрерывная линия, по ней посылаются электрические приказы. А в следующий момент образуется новая линия, и приказ может быть послан другому объекту.

СВЕРХТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Электронные и ионные приборы с каждым днем приобретают все большее значение в производственной автоматике — в работе «умных» самодействующих устройств в самых разнообразных производствах и их оборудовании: в металлорежущих станках, металлургических печах, химических аппаратах, в легкой промышленности. Электронная автоматика — это автоматика сегодняшнего дня и еще больше — автоматика будущего. Электронные приборы произвели подлинную революцию в автоматизации производства и подняли ее на новый, гораздо более высокий уровень.

Современное производство требует от автоматических приборов невиданной чувствительности, точности и быстроты действия. Шарик и ролики для подшипников изготавливаются и сортируются с точностью до десятитысячных долей миллиметра. Тонкая листовая сталь прокатывается со скоростью, достигающей десятков метров в секунду. Шлифование торцов поршневых колец продолжается лишь десятые доли секунды. В некоторых химических производствах температура регулируется до долей градуса. Электронные приборы лучше, чем какие-либо другие, удовлетворяют этим все возрастающим требованиям к скорости, чувствительности, точности.

Они стали незаменимым средством сверхточного контроля на

производстве. Точный контроль — основа хорошего производства. Измерять и контролировать приходится множество разнообразных процессов. Работу доменной печи и связанных с ней аппаратов необходимо контролировать по крайней мере в 30 местах: точно и непрерывно определять температуру, давление,

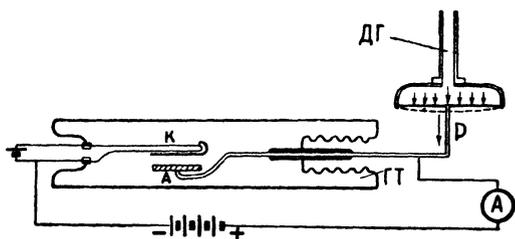


Рис. 143. Электронная лампа с подвижным анодом

состав газов, содержание влаги, уровень шихты и многое другое.

Электронная лампа — новое отличное средство контроля. На ее сетку подается напряжение, выражающее ту или другую измеренную величину. Лампа улавливает малейшие изменения напряжения, которые во много раз усиливаются в ее анодном токе.

Вот, например, электронный микрометр. Смещение его стрелки показывает ничтожно малые различия в размере изделий с точностью до стотысячных и даже миллионных долей миллиметра. Это — размер некоторых молекул — слой толщиной в одну молекулу... Заметьте для сравнения, что обычные механические приборы измеряют с точностью всего до сотых долей миллиметра — в тысячи и даже в десять тысяч раз меньшей точностью.

И здесь, в электронной измерительной технике, стоит задача перевести тот или другой неэлектрический процесс на язык электричества, доступный электронной лампе.

Для измерения механических величин — перемещений, сил, давлений — применяют иногда специальные двухэлектродные лампы с изменяющимся расстоянием между катодом К и анодом А (рис. 143). При малейшем изменении расстояния между ними заметно изменяется величина анодного тока, которую легко измерить. Анод введен в лампу через эластичную гофрированную металлическую трубку ГТ, позволяющую ему смещаться. На рычаг Р анода снаружи воздействует измеряемая сила или давление, на другом конце рычага пластина анода приближается к катоду или удаляется от него.

Так работают электронные виброметры, контролирующие малейшие колебания, сотрясения или толчки. В электронных манометрах на рычаг подвижного анода действует прогибающаяся пластинка — мембрана, передающая давление пара или газа ДГ. Прибор дает возможность улавливать очень быстро протекающие изменения давления, например, в цилиндрах автомобильных и авиационных двигателей.

Однако чаще для точного контроля в автоматике применяют-

ся лампы с управляющей сеткой, на которую подается напряжение, выражающее измеряемую величину. Электронные влагомеры, например, определяют влажность сыпучего материала, а на текстильной фабрике — влажность тканей. Но большую или меньшую влажность надо сначала выразить «язычком» электрического напряжения, понятным сетке лампы. Для этого пользуются тем, что при увеличении влажности ткани сильно уменьшается ее электрическое сопротивление. Ткань пропускают между двумя металлическими роликами — электродами, включенными в цепь сетки лампы (между сеткой и катодом). И в зависимости от изменения влажности и сопротивления ткани изменяется и напряжение на сетке лампы по отношению к ее катоду. А это тут же влияет на анодный ток. Включенный в его цепь амперметр, изменяя величину тока, тем самым показывает влажность ткани.

В чувствительных измерительных приборах электронные лампы часто служат усилителями, так как приходится контролировать очень малые величины. В печах и нагревательных приборах они дают возможность улавливать изменения температуры в малые доли градуса. Это делается с помощью терморпар или термоэлементов, в которых нагревается спай двух различных металлов и от этого возникает электрическое напряжение. Но напряжение подчас бывает ничтожно мало — тысячные доли вольта. Однако сетка лампы вполне его воспринимает. Каскады электронных ламп во много раз усиливают полученные сведения, и лишь после этого они могут приводить в действие небольшие двигатели регистрирующих и записывающих приборов.

Схемы измерительных устройств с электронными лампами обычно очень сложны, и мы ограничимся лишь общим представлением о некоторых принципах их работы.

Во многих из этих устройств используются индукционные датчики, включенные в сеточную цепь электронной лампы. Вот прибор для контроля ничтожных различий в размерах изделий или для измерения действия очень мало заметных сил (рис. 144). Он представляет видоизмененный трансформатор в сочетании с электронной лампой. Трансформатор имеет подвижный сердечник и две вторичные обмотки. Сердечник C перемещается от действия контролируемого предмета или силы. А от положения сердечника зависит распределение магнитного потока в трансформаторе и напряжения V_1 и V_2 , индуктируемые в каждой из обмоток. Чуть-чуть

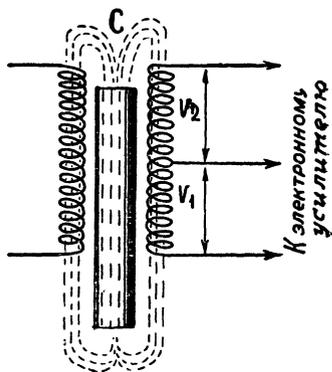


Рис. 144. Трансформатор с передвижным сердечником

передвинется сердечник — изменится соотношение напряжений в обеих вторичных обмотках. Изменение это очень мало, но оно улавливается электронными лампами, во много раз усиливается ими и действует на автоматическое устройство. Прибор настолько чувствителен, что улавливает перемещения сердечника на тысячные доли миллиметра.

Сочетая катушку индукционного датчика с электронной лампой, можно с большой точностью контролировать толщину закаленного слоя при поверхностной закалке стальных изделий. Это особенно важно в таких ответственных деталях, как вагонные или автомобильные оси. Их помещают внутри катушки, и ее переменное магнитное поле изменяется в зависимости от большей или меньшей толщины закаленного слоя. Изменения же индуктивного сопротивления катушки, включенной в сеточную цепь с большой чувствительностью, улавливаются электронной лампой.

Для подачи напряжения на сетку лампы применяются датчики и другого рода — конденсаторы с переменной емкостью (рис. 145). Емкость между их пластинами изменяется в зависимости от расстояния между ними, от размера пластин и от того, какое непроводящее вещество находится между пластинами конденсатора. Такие конденсаторы и используются для электрических измерений неэлектрических величин.

Щуп, измеряющий размер шариков или роликов для подшипников, давит на одну из пластин конденсатора. В зависимости от размера изделия подвижная пластина немного приближается к неподвижной или удаляется от нее, а от этого изменяется емкость конденсатора. К пластинам конденсатора приложено переменное напряжение высокой частоты. В сложную схему, построенную по типу моста сопротивлений, включают два конденсатора. Емкость одного из них $C1$ остается постоянной и

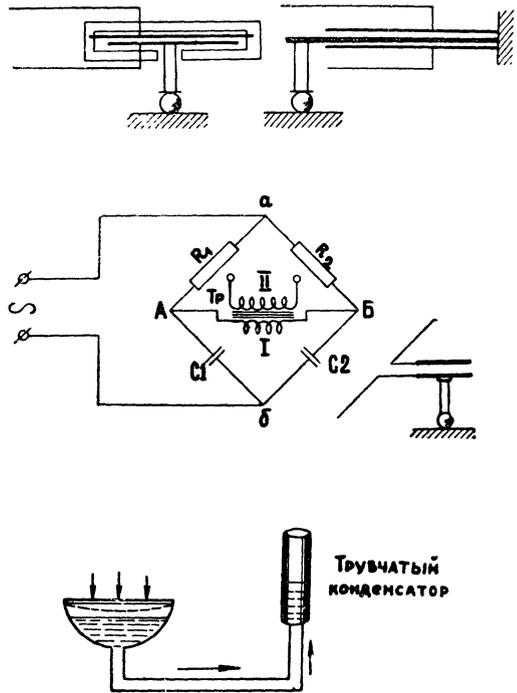


Рис. 145. Емкостные датчики

служит для сравнения, а емкость другого C_2 изменяется при измерении изделий. Напряжение высокой частоты включено между точками a и b . В зависимости от различия емкостей обоих конденсаторов в диагонали моста, между точками A и B , возникает большее или меньшее напряжение, которое через трансформатор Tr подается на сетку электронной лампы.

Емкостные датчики отличаются очень большой точностью. Ролики подшипников сортируются ими по диаметру на восемь размеров с промежутками в 2,5 тысячных миллиметра. Причем каждое измерение продолжается лишь 0,08 сек. Удалось даже зарегистрировать рост растения — насколько оно выросло за 15 мин. — перемещение конца его стебля на миллионные доли миллиметра!

Емкостные датчики вместе с электронными лампами применяются для решения многих задач автоматике. Ими можно измерять очень быстрые изменения давления, например при ударах или при взрывах. Эти давления воздействуют на пластины конденсатора.

Метод емкости вообще полезен при больших скоростях. На быстроходных прокатных листовых станах важно контролировать толщину металлической ленты, выходящей из валков. Она с большой скоростью проходит между пластинами особого конденсатора. И хотя лента к ним не прикасается, но при изменении ее толщины увеличивается или уменьшается емкость промежутка между пластинами, а от этого изменяется напряжение на сетке лампы, и автоматический контролер в тот же миг сигнализирует об этом. На заводах, изготовляющих электрические провода, важно обнаруживать обрывы металлической жилы провода, скрытого под изоляцией. Для этого провод тоже быстро пропускают между пластинами конденсатора. И ламповый прибор тут же дает знать, как только через конденсатор проходит разорванное место провода.

Емкость конденсатора изменяется и в зависимости от электрических свойств вещества (диэлектрика), находящегося между его пластинами. Этим пользуются, например, для измерения уровня жидкости в резервуаре. От резервуара отводится трубка вроде водомерного стекла. В стенку этой трубки вделаны пластины конденсатора в виде двух половин разрезанного цилиндра. И в зависимости от того, какая часть трубки заполнена жидкостью или воздухом, изменяется емкость конденсатора. Превратив ее в изменения напряжения, можно передать их через большое расстояние на сетку лампы, которая усилит сигналы и приведет в действие приборы на далеком посту управления.

Конденсатор подобного типа можно применить и для измерения очень слабых сил. Пусть они давят на упругую перепонку, покрывающую поверхность жидкости в широком колене двух сообщающихся сосудов. От этого жидкость поднимается по дру-

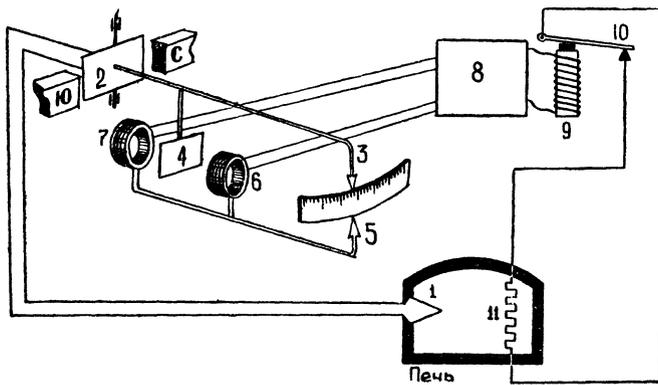


Рис. 146. Как электронная лампа регулирует температуру печи:

1 — термопара, 2 — гальванометр, 3 — стрелка, 4 — флажок, 5 — нижняя стрелка, 6, 7 — катушки, 8 — электронный прибор, 9 — электромагнит, 10 — контакт, 11 — нагревательный элемент

гому узкому колену. А в его стенке вделан трубчатый конденсатор, емкость которого изменяется по мере того, как жидкость подается по трубке и замещает в ней воздух. Электронная лампа тут же воспримет эти изменения.

Однако электронные приборы в автоматике используются не только для сверхточных измерений и контроля. Они приводят в действие автоматические регуляторы, управляющие различными процессами производства.

Перед нами электрическая печь (рис. 146), в которой необходимо с большой точностью поддерживать определенную температуру. Последняя измеряется термопарой 1 и связанном с ней гальванометром 2. При изменениях температуры в печи поворачивается рама гальванометра 2 и смещается в сторону стрелка 3, показывающая температуру на шкале. Но вместе со стрелкой сдвигается и флажок 4, расположенный между двумя катушками 6 и 7 индукционного датчика. Датчик связан с электронным прибором 8. При малейшем смещении флажка изменяются индуктивные свойства катушек датчика, а от этого меняется напряжение на сетке лампы, управляющее ее анодным током. От изменения же анодного тока лампы срабатывает реле. Электромагнит 9 замыкает или размыкает контакты 10 и включает или выключает в печи нагревательные элементы 11.

Передвигая по шкале нижнюю стрелку 5, а с ней и катушки датчика 6 и 7 вправо или влево, можно устанавливать автоматический регулятор так, чтобы он поддерживал определенную нужную температуру в печи. Чувствительность этого электронного регулятора так велика, что анодный ток лампы изменяется

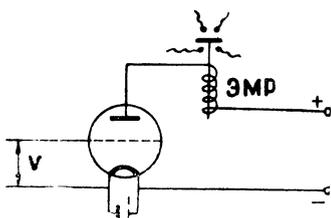


Рис. 147. Как действует электронное реле

при малейшем смещении флажка гальванометра, т. е. при очень малых отклонениях температуры в печи.

В этом устройстве было использовано электронное реле. С таким реле часто приходится встречаться в электронной автоматике. Рассмотрим отдельно его простейшую схему (рис. 147). В анодную цепь лампы включено чувствительное электромагнитное реле ЭМР. На сетку же

лампы подается напряжение от контролирующего прибора, изменяющего, например, температуру печи. Нормально на сетке лампы поддерживается такое отрицательное по отношению к катоду напряжение, при котором анодный ток недостаточно велик для срабатывания реле. Но вот отрицательное напряжение, подаваемое на сетку, уменьшается или даже сменяется положительным. Теперь через лампу проходит значительно более сильный анодный ток. А от этого ЭМР срабатывает, его электромагнит притягивает свой якорь и замыкает или размыкает контакты управляемой цепи, приводя в действие автоматическое устройство.

Электронные реле поразительно чувствительны. Они отвечают на воздействия ничтожной мощности в стомиллионные и миллиардные доли ватта. В анодной же цепи реле управляет током от тысячных долей ватта до целых ватт, а в цепи, замыкаемой электромагнитом, даже до 100 вт и выше. Это значит, что управляющий ток по мощности меньше управляемого в миллиарды раз и больше.

Исполнительными органами — руками электронной автоматики во многих случаях служат электродвигатели — мощные двигатели, вращающие машины и механизмы, или небольшие вспомогательные служебные двигатели. Вот, например, система регулирования электродов в электросварочных автоматах или в больших дуговых электрических печах. Напряжение электрической дуги зависит от ее длины — от расстояния между концом электрода и сварочным швом или расплавленным металлом в печи. При укорочении электрода изменяется напряжение.

В сложной схеме с двумя электронными лампами напряжение дуги сравнивается с заданным постоянным командным напряжением. При отклонении от него управляющая сетка лампы изменяет анодный ток, а он приводит в действие служебный двигатель, подающий электрод. Огромный электрод печи иногда в рост человека приходит в движение и медленно опускается над расплавленным металлом, пока не восстановится нормальная длина и напряжение дуги, а с ним и равновесие в электронном автомате.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЛАЗ

К воротам гаража подъезжает автомобиль. Вахтера-привратника нет. Шофер направляет свет своей фары на определенное место в воротах. И сейчас же ворота гаража раскрываются и пропускают машину. Невольно вспоминается древняя восточная сказка, в которой вход в таинственную пещеру послушно открылся в ответ на возглас: «Сезам, отворись!»

Однако здесь таинственного ничего нет. В воротах гаража установлен интересный прибор — фотоэлемент — электрический глаз. Он обладает ценным свойством: давать ток, когда на него попадает луч света, в данном случае от фар подъехавшего автомобиля. Ток от фотоэлемента приводит в действие автоматическое устройство, которое и открывает ворота.

А вот еще одно устройство с электрическим глазом. Посетитель идет по коридору и подходит к закрытой двери. Но как только он приблизился к ней — дверь сама перед ним открывается. Фотоэлемент установлен на стене с одной стороны коридора. С другой же стороны через коридор на него направлен луч света из небольшого прожектора. Когда человек проходит через это место, он своим телом пересекает луч света. Свет на электрический глаз уже не попадает. И в ответ на это автомат открывает дверь.

Сколько еще разнообразных применений нашел фотоэлемент в современной технике и производстве! В сельском хозяйстве приходится иногда сортировать семена по цвету. Темные и белые бобы движутся по лотку, а отраженный от них луч света сильнее или слабее освещает фотоэлемент, и автомат направляет одни зерна направо, а другие — налево.

А здесь прибор внимательно просматривает движущийся поток золотоносного песка и сам извлекает из него блестящие крупинки драгоценного металла.

Артиллерийский снаряд с электрическим глазом видит цель, и сам взрывается при приближении к ней.

Автоматическая зрительная труба сама следит за летящим самолетом и поворачивается вслед за ним.

Существуют даже станки, читающие чертежи и автоматически изготавливающие по ним изделия. Как же действуют эти приборы?

В 1888 г. в стенах старого Московского университета, прославленного центра русской науки и культуры, производил опыты выдающийся ученый-физик А. Г. Столетов. Он изучал влияние света на металлическую (цинковую) пластинку. Перед ней, на некотором расстоянии, находилась металлическая сетка, и как пластинка, так и сетка были включены в цепь электрической батареи, причем пластинка была соединена с отрицательным полюсом батареи, а сетка — с положительным. Пока на пластинку не действовал свет, тока в цепи не было, так как между

пластинкой и сеткой был размыкающий промежуток. Но как только свет освещал пластинку, в цепи появлялся ток. Значит, от действия света из металла вылетали электрические заряженные частицы, которые попадали на сетку и замыкали цепь.

А. Г. Столетов и другие ученые тщательно исследовали это новое, очень интересное и важное явление — возникновение электрического тока от действия света — неизвестное еще до тех пор превращение лучистой энергии в электрическую.

После упорной работы физики выяснили, что от действия света возникают очень сложные процессы в мире мельчайших частиц вещества. Вы уже знаете, что от атомов металла отрываются некоторые из их электронов. Поглощая энергию лучей света, эти свободные электроны сами приобретают большую энергию движения и скорость. В результате этого они преодолевают притяжение окружающих частиц, проникают через поверхность металла и вырываются в окружающее пространство. Происходит, как говорят, фотоэлектронная эмиссия — выбрасывание электронов из твердого вещества от действия на них лучей света. Оказалось, что она в особенности наблюдается у некоторых (щелочно-земельных) металлов: натрия, калия, цезия, которые и применяются в фотоэлементах.

Большое значение имеют свойства поверхности металла, через которую электроны должны вырваться наружу. Важно также, чтобы вокруг металла не было воздуха.

В основе тщательного изучения и был создан, а потом все более совершенствовался технический прибор — фотоэлемент (рис. 148). Рассмотрите его основные части. Два электрода (катод и анод) находятся в колбе, из которой тщательно удален воздух. Светочувствительный катод сделан в виде широкой вогнутой пластинки на внутренней поверхности колбы. На него через противоположную стенку проникает свет. Катод имеет

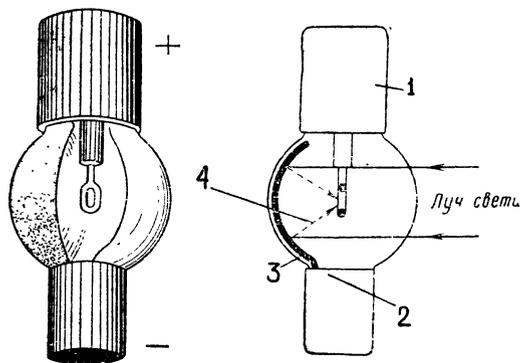


Рис. 148. Как устроен электрический глаз:

1 — анод, 2 — катод, 3 — светочувствительный слой, 4 — поток электронов

очень тонкий слой светочувствительного металла, нанесенного на подслой серебра. Его подвергают сложной химической обработке. А на некотором расстоянии от катода внутри колбы находится второй электрод — анод. Оба электрода включаются в цепь с источником тока, и между ними создается напряжение. Когда на «электрический глаз» попадает свет, электро-

ны выбрасываются из катода и летят к аноду. По цепи через фотоэлемент начинает идти ток. Свет на фотоэлемент направляется маленьким прожектором — осветителем, создающим узкий пучок лучей.

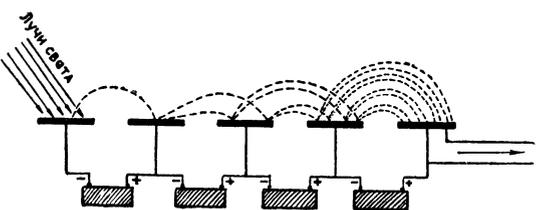


Рис. 149. Умножитель потока электронов

Надо, однако, заметить, что сам фотоэлемент дает довольно слабый ток. Поэтому его приходится усиливать электронными лампами или другими способами. Советский ученый Л. А. Кубецкий создал новый прибор — электронный умножитель (рис. 149).

Физики открыли, что быстро летящие электроны, ударяясь о поверхность некоторых веществ, вырывают из них еще большее количество электронов. Это называют вторичной электронной эмиссией. Посмотрите, как в умножителе Л. А. Кубецкого поток электронов направляется электрическими полями от одной пластинки к другой и как все больше становится в нем электронов; слабый ток, возникший в фотоэлементе, разрастается подобно какой-то снежной лавине.

«Электрический глаз» позволил создать особое реле — фотореле, реагирующее на свет и приводящее в действие различные автоматические устройства. Слабый ток, возникающий в фотоэлементе, усиливается электронной лампой и поступает в систему автоматического управления.

Пусть перед «электрическим глазом» на ленте транспортера непрерывно движется слой песка, содержащего золото. Песок освещается, и отраженные им лучи света падают на фотоэлемент. Как только в песке появится блестящая крупинка золота, на «электрический глаз» упадет более сильный отраженный свет. В цепи пойдет ток — фотореле сработает, и над потоком песка в нужном месте автоматически опустится трубочка, которая всасывает воздух, а с ним и крупинку драгоценного металла. Так же срабатывает фотореле и в автоматическом устройстве, открывающем ворота перед подъехавшим автомобилем.

Во многих более простых «видящих» автоматах «электрический глаз» реагирует лишь на появление или исчезновение светового луча. Но действие фотоэлемента бывает и иным. Он может различать большее или меньшее количество света и в ответ на него давать более или менее сильный ток.

Наступил вечер. На улицах города становится все темнее. Вдруг на всех улицах и площадях зажглись электрические фонари. Это сработало фотореле: от постепенного уменьшения света величина тока уменьшилась до определенного предела. Утром, когда будет становиться все светлее и ток в цепи фотоэлемента

достигнет определенной величины, видящий автомат сам погасит уличное освещение. На реке таким же образом устройство с фотоэлементом зажигает и гасит бакены — лутевые огни кораблей, на аэродромах — световые сигналы для самолетов.

Однако фотоэлементам приходится выполнять и гораздо более сложную работу. Вот, например, самонаводящаяся подзорная труба. Что заставляет ее поворачиваться и все время удерживать летящий самолет в центре своего поля зрения? Поле зрения трубы разделено перекрещивающимися нитями на четыре четверти. Каждая из них освещает отдельный фотоэлемент.

Если изображение самолета находится не в середине трубы, а в одной из этих четвертей, скажем, в верхней правой, то соответствующий фотоэлемент будет отчасти затенен и получит меньше света, чем остальные три. От этого в его фотореле потечет менее сильный ток. Автоматическое устройство с четырьмя фотореле построено так, что при меньшей освещенности одного из фотоэлементов небольшие вспомогательные электродвигатели начнут поворачивать трубу, в данном случае один вверх, а другой вправо до тех пор, пока изображение самолета снова окажется в середине (на пересечении нитей), и все четыре электрических глаза будут освещены одинаково. Так будет продолжаться непрерывно.

Но на «электрический глаз» действуют не только лучи видимого нами света. Он видит и невидимые для нас инфракрасные лучи и в этом отношении работает даже лучше нашего зрения. В помещение банка или военного учреждения пробрался злоумышленник. Не подозревая для себя никакой опасности, он подбирается к несгораемому шкафу и собирается уже взломать его. Но в этот момент раздаются сигналы тревоги, и непрощенный гость оказывается в руках охраны. Дело в том, что через помещение с разных сторон были направлены пучки невидимых инфракрасных лучей, освещающих фотоэлементы. Злоумышленник, не видя этих лучей, пересек их своим телом, затенил фотоэлемент, и в тот же миг сработало фотореле тревоги.

На дворе совершенно темно и ничего не видно. Но по дороге быстро едет автомашина, и водитель уверенно и правильно делает повороты. Перед его глазами небольшой светящийся экран, на котором хорошо видна дорога. В автомобиле установлено сложное устройство — фотоэлектрический преобразователь невидимых изображений в видимые, тоже основанный на принципе фотоэлемента.

Рассмотрите схему его действия (рис. 150). Заметим, что автомобиль вместо обыкновенных фар с видимым светом, освещает или, лучше сказать, облучает перед собой дорогу невидимыми инфракрасными лучами. Они отражаются от окружающих предметов 1 и попадают в объектив 2, который направляет их на фотокатод 3. Здесь образуется невидимое изображение в инфракрасных лучах. От действия этих лучей так же, как и от видимых,

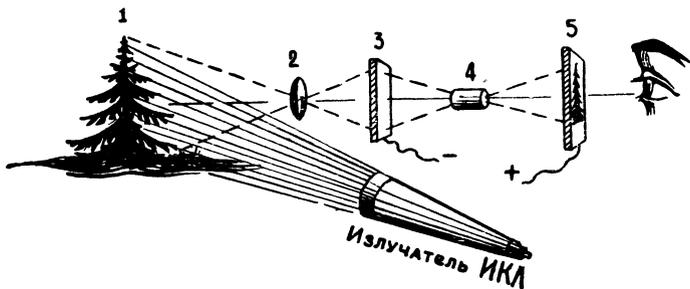


Рис. 150. Преобразователь невидимых изображений:

1 — предмет, 2 — объектив, 3 — фотокатод, 4 — электронная линза, 5 — анод

пластинка фотокатода испускает электроны, причем более сильно освещенные (облученные) места пластинки испускают больше электронов, а облученные слабее — меньше. Поэтому изображение предмета, произведенное инфракрасными лучами, преобразуется на фотокатоде в своего рода электронное изображение, пока еще тоже невидимое для глаза. Между фотокатодом 3 и следующей пластинкой — анодом 5 — приложено напряжение и создано электрическое поле. Поэтому электроны, выброшенные из фотокатода 3, движутся к аноду 5 и приобретают большую скорость. По дороге они проходят через электронную линзу 4, которая направляет потоки электронов и создает на пластинке — аноде 5 — ясное сфокусированное электронное изображение. Пластинка анода покрыта веществом, обладающим очень важным свойством: от действия быстро летящих электронов оно излучает видимый свет. Поэтому электронное изображение превращается на ней в видимое световое, которое можно воспринимать глазом или фотографировать.

Холодные предметы приходится освещать инфракрасными лучами. Горячие же тела излучают их сами. Поэтому в электронный преобразователь изображений можно в темноте, ночью видеть горячие предметы — натопленную печь, двигатель автомобиля или танка, стакан чая или тарелку супа и даже тело человека, которое тоже испускает тепловые, инфракрасные лучи.

На основе фотоэлемента были созданы новые области техники, в частности, звуковое кино. Как ни странно, но звук в нем передается и воспроизводится с помощью света. Советские ученые А. Ф. Шорин и П. Г. Тагер создали первоклассные системы звукового кино, заставившие заговорить «великого немого» (так раньше называли кино). Посмотрите на свет кусок киноплёнки: сбоку от кадров вы увидите какую-то странную полоску, ширина которой все время меняется. (Существует другая система записи звука в кино, в которой изменяется прозрачность полоски). Это и есть звуковая дорожка, посредством которой на пленке записаны различные звуки.

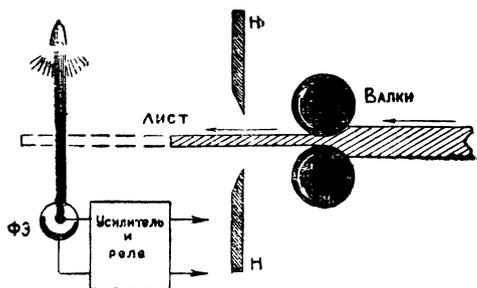
Записываются они так. Звуки — звуковые колебания воздуха — превращаются микрофоном в соответствующие изменения электрического тока. Они управляют модулятором света, который то усиливает, то ослабляет световой луч, направленный на край киноплёнки, в точном соответствии со звуковыми колебаниями. Этот переменный луч света и записывает на плёнке тенью звуковую дорожку.

Что же происходит в кинотеатре, когда вы смотрите и слушаете звуковой фильм? В киноаппарате звуковая дорожка плёнки просвечивается сосредоточенным в одном месте пучком света. Пройдя через плёнку, он направляется на фотоэлемент. В зависимости от изменений ширины звуковой дорожки (или ее прозрачности) на фотоэлемент падает то больше, то меньше света. От этого в нем образуется то больший, то меньший ток, причем изменения его в точности соответствуют передаваемым звуковым колебаниям. После усиления этот пульсирующий ток поступает в громкоговоритель, стоящий около экрана, где и превращается наконец в колебания воздуха — в звук. Таков сложный путь превращений от голоса актера на киностудии до вашего уха в кинотеатре — путь от звука к свету и от света к звуку.

ВИДЯЩИЕ МАШИНЫ

Перед нами листопрокатный стан (рис. 151). Непрерывной лентой выходит из его валков полоса прокатываемого металла. Но как только конец металлической ленты достигнет определенного расстояния от валков, сходятся лезвия механических ножниц и отрезают лист определенной длины. Один за другим отрезаются листы металла в точности одинаковой длины, словно эталонные сантиметровой линейкой, хотя никто их не отмеряет.

Спереди от валков, на нужном расстоянии, установлены фотоэлемент и осветитель, направляющий луч света в «электрический глаз». Световой луч пропущен поперек пути, по которому движется полоса прокатного металла. И как только конец



металлической ленты доходит до этого места, она пересекает световой луч и затеняет фотоэлемент ФЭ. А в ответ на это срабатывает фотореле и приводит в действие механизм автоматических ножниц *H*, находящихся на заданном расстоянии от фотоэлемента. Отрезанный лист падает вниз, луч света опять попадает на фотоэлемент и освещает его

Рис. 151. Фотоэлемент на листопрокатном стане

до тех пор, пока до него снова не дойдет конец металлической ленты. Фотоэлемент раскрыл новые огромные возможности автоматизации производства. Перед изобретателями встала задача создать видящие машины и механизмы — ввести в работу автоматических машин светозлектрическое звено, состоящее из фотоэлемента и светового луча. Для этого надо суметь нужные свойства производственных процессов перевести на язык лучей света, а фотореле заставить управлять автоматическими механизмами.

В работу машин вошла новая область световых или оптических явлений. Конструкторы стали думать над тем, как использовать различные световые явления: направление лучей света, их отражение, преломление, поглощение, силу света, различие цветов и т. д. Все это нашло интересное и разнообразное применение в машинах.

Понаблюдаем работу гигантского блюминга. Десятитонный стальной слиток надо прокатать несколько раз вперед и назад, причем с каждым проходом направление вращения валков изменяется. По обе стороны от стана проложен путь из вращающихся рольгангов, по которым движутся слитки. На некотором расстоянии от валков установлен фотоэлемент. Пройдя между валками и дойдя до этого места, слиток должен повернуть обратно к стану. Для этого даже не нужно специального светового луча — свет излучает сам раскаленный слиток. Дойдя до этого места, он освещает фотоэлемент, и тут же изменяется направление вращения как рольгангов, так и огромных валков самого стана.

Мыловаренный завод. Непрерывным потоком движутся по конвейеру сотни, тысячи кусков только что изготовленного мыла. Их надо считать — вести точный учет продукции завода. Это тоже поручается фотореле. Его освещает луч света, направленный поперек конвейера. Каждый проходящий кусок на короткое время затеняет фотоэлемент, и его реле приводит в действие счетное устройство. Фотоэлектрический счетчик может работать очень быстро, делая, если нужно, более тысячи отсчетов в минуту.

В кузнечном цехе работает быстродействующий пресс, с огромной силой нажимающий на поковки или штампы. Внимание рабочего было чем-то отвлечено, и его рука оказалась в опасной зоне прессы. Еще мгновение, и человек лишится руки... Но в этот миг движущиеся части прессы словно застыли в воздухе. Опасная зона была ограждена световым лучом, освещающим фотоэлемент. Как только рука рабочего пересекла этот луч и затенила фотоэлемент, сработало фотореле, и автоматическое устройство мгновенно остановило тяжелый пресс. Рука рабочего была спасена. Так фотореле несет службу техники безопасности.

Во многих производствах оно выступает в роли внимательного контролера. Детали шлифуются все с большей и большей точностью — до сотых, тысячных долей миллиметра. Обычными способами измерения уже трудно добиться этого, и немало деталей бракуется из-за недостаточно точного размера. А сколько раз

приходится останавливать станок, чтобы промерить шлифуемое изделие.

Видящая автоматика позволяет с большой точностью контролировать на станке размер деталей, не останавливая шлифования. Поверхности вращающегося изделия едва касается шуп, от которого изменение размера передается очень чувствительному измерительному прибору—миниметру. В его стенке прорезана узкая щель. Через эту щель пропускают луч света, освещающий фотоэлемент. По мере того как от шлифования размер изделия уменьшается, стрелка миниметра поворачивается. Когда размер в точности достигнет заданного, стрелка закроет щель, и луч света перестанет освещать фотоэлемент. В тот же миг сработает реле, и шлифование прекратится. Размер деталей получается с точностью до одной тысячной миллиметра.

Но контролировать надо не только размер изделий. В работе шлифовальщика важно и хорошее качество отшлифованной поверхности. Она вся должна блестеть, как зеркало, без единой царапинки или другого изъяна. Контролерам-браковщикам приходится рассматривать поверхность в лупу. Это отнимает много времени. Но и здесь можно установить фотореле. Луч света пробегает по шлифованной поверхности движущихся перед ним деталей, отражается от нее и попадает на фотоэлемент. Пока поверхность вполне гладка, она отражает более сильный свет. Но как только на ней окажется изъян, на фотоэлемент будет попадать менее сильный отраженный свет. Чувствительное фотореле тут же уловит это, и автоматический контролер отбросит деталь в ящик для брака.

«Электрический глаз» контролирует и толщину изготавливаемой проволоки. Она непрерывно движется перед ним и отчасти затеняет фотоэлемент. Пока толщина проволоки остается нормальной, на фотоэлемент попадает определенное количество света, и автоматический контролер бездействует. Но вот проволока стала толще или тоньше чем надо. Фотоэлемент получает меньше или больше света, в фотореле поступает больший или меньший ток (в сравнении с нормальным) и в ответ на это автоматический контролер исправляет работу машины.

Вы видите, как изобретателям каждый раз приходится учитывать особенности того или другого производства и соответственно им находить нередко остроумные способы применения фотоэлемента.

А как контролировать и регулировать постоянную плотность изготавливаемой бумаги (рис. 152)? Какие оптические свойства бумаги можно использовать для определения боль-

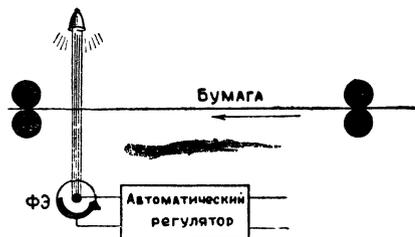


Рис. 152. Фотоэлемент контролирует плотность бумажной ленты

шей или меньшей плотности? Чем плотнее бумага, тем менее она прозрачна и тем хуже проходит через нее свет. Этим и воспользовались конструкторы. С бумагоделательной машины непрерывно сходит широкая бумажная лента. С одной стороны от нее установлен фотоэлемент $\Phi Э$, а с другой — осветитель, направляющий пучок света. Свет проходит через бумагу, просвечивает ее насквозь и уже после этого попадает на фотоэлемент. При нормальной плотности и прозрачности бумаги фотоэлемент освещается с определенной силой. Если же бумага становится более плотной и менее прозрачной, до фотоэлемента доходит меньше света. А от изменения силы света автоматический контролер подает сигнал, и регулятор изменяет ход машины.

Аналогичным способом, на просвет, по степени прозрачности фотоэлемент может контролировать и сортировать яйца на птицеводческой ферме.

А что, если изготавливается не бумажная лента, а прокатывается листовая металл и надо контролировать его толщину? Нельзя ли и это делать на просвет с помощью фотоэлемента? Конечно, для лучей видимого света металл не прозрачен. Но он прозрачен для невидимых рентгеновских лучей. Они проникают не только через наше тело (что используется в медицине), но и через довольно толстый слой металла. Рентгеновская трубка, выпускающая эти лучи, ставится по одну сторону от прокатываемого листа. Лучи проходят через металл и по другую сторону листа попадают на особый люминесцирующий экран, который от действия рентгеновских лучей светится видимым светом. И уже этот свет воспринимается фотоэлементом. Чем тоньше металлический лист, тем лучше проходят через него рентгеновские лучи, тем ярче от их действия светится экран и сильнее освещает фотоэлемент, а благодаря этому автоматический контролер все время определяет толщину металла.

С помощью «электрического глаза» можно создать также видящие печи и нагревательные приборы. Пусть в инкубаторе на птицеводческой ферме температуру измеряет ртутный термометр. На определенной высоте через его трубку проходит световой луч, направленный на фотоэлемент. Когда нагревание яиц в инкубаторе достигнет нужной температуры, столбик ртути в термометре поднимется до этой высоты и пересечет световой луч — фотоэлемент перестанет получать свет и автоматический регулятор уменьшит дальнейшее нагревание.

Чтобы определить высокую температуру раскаленного металла, применяют более сложные устройства, в которых используется чувствительность фотоэлемента к различным цветам, например красному или синему. При меньшей температуре (как говорят, красного каленья) горячий металл излучает больше красных лучей и меньше голубых; при более же высокой температуре (белого каленья) наоборот — больше голубых и меньше красных. Свет от нагретой стальной болванки или от расплавленно-

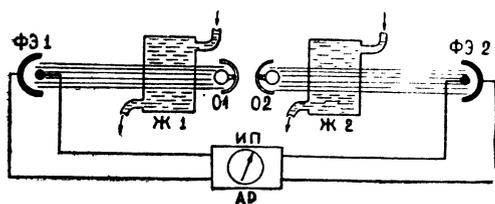


Рис. 153. «Электрический глаз» в химии

го металла освещает фотоэлемент. Но «электрический глаз» смотрит через особые цветные очки. Перед ним вращается диск, в который вставлены красные и синие стекла — светофильтры. Одни из них пропускают только красные лучи, другие — только синие. Поэтому те и другие лучи по очереди попадают на фотоэлемент. В зависимости от температуры металла на него падает больше красных и меньше синих лучей или, наоборот, больше синих и меньше красных, причем в том или другом количественном соотношении. А в зависимости от этого фотоэлемент дает более сильный или слабый ток. «Электрический глаз» точно оценивает соотношение цветов и на шкале в градусах показывает температуру металла.

В нашей стране быстрыми темпами развивается химическая промышленность, работают видящие химические аппараты. Они необходимы потому, что человеку проникнуть внутрь этих аппаратов вредно, да и невозможно.

В химическом производстве часто приходится контролировать жидкости по их различному цвету и по степени мутности или прозрачности. По мутности или по цвету можно надежно судить о составе многих веществ и об его изменениях в ходе химических процессов. Это и дало возможность с большой пользой применить фотоэлемент (рис. 153). Луч света от осветителя О1 проходит через контролируемую жидкость Ж1, которая непрерывной струей протекает по сосуду с прозрачными стенками. По другую сторону сосуда установлен фотоэлемент ФЭ1. Чем больше мутность жидкости или чем менее прозрачен ее цвет, тем больше поглощается в ней света и до фотоэлемента доходит менее сильный луч. А в ответ на это он посылает в цепь менее сильный ток.

Для большей чувствительности таких измерений мутность или цвет контролируемой жидкости сравнивается с другой жидкостью — эталоном, мутность или цвет которой считаются нормальными. Поэтому в контролирующем устройстве есть еще второй сосуд с эталонной жидкостью Ж2 и второй фотоэлемент ФЭ2. Измерительный прибор ИП включен между обоими фотоэлементами и показывает разность их токов, т. е. отклонение мутности или цвета от нормы. Здесь же может быть введен и автоматический регулятор АР, который сам изменит ход химического процесса, если мутность или цвет жидкости станут отличаться от нормальных.

А как быть, если жидкость прозрачна и не имеет цвета? Надо суметь заставить ее «заговорить на языке света», доступном «электрическому глазу».

На тепловых электростанциях вода, питающая котлы, должна содержать возможно меньше растворенной извести. Иначе на стенках котлов образуется вредный слой накипи. Но известь, растворенная в воде, не видна — вода кажется совершенно чистой и прозрачной. Однако, если добавить в нее небольшое количество некоторых химических веществ — индикаторов, вода окрасится или в ней появится заметная муть. И «видящий автомат» тогда уже хорошо определит, сколько содержится в ней вредной извести.

СТАНОК, ЧИТАЮЩИЙ ЧЕРТЕЖИ

Те, кто не видел работу этих необыкновенных машин, иногда с недоверием относятся к рассказам о них. Возможны ли они на самом деле? На станке установлен чертеж детали, сделанный толстыми черными линиями. По линиям чертежа движется освещающий их луч света. Отраженный от них, он попадает на фотоэлемент. А рабочий орган станка — суппорт с инструментом (фрезой) совершает движения, в точности следуя линиям чертежа. И фреза вырезает изделие той именно формы, какая изображена на чертеже. Все это происходит без непосредственного участия человека. В создании таких фотокопировальных станков внесли ценный вклад советские ученые и инженеры. Познакомимся с принципом одной из систем этих удивительных машин.

Присмотримся сперва к тому, как читается чертеж. Луч света из осветителя *O* (рис. 154, *a*) все время направлен на край толстой черной линии чертежа *Ч*. Отражаясь от него, он так освещает фотоэлемент *ФЭ*, что одна половина его поля зрения оказывается занятой тенью от черной линии чертежа, другая — освещенной лучами, отраженными от соседнего с линией белого поля бумаги. Таким образом, фотоэлемент освещен ровно наполовину. Это и есть его нормальное состояние, которое поддерживается автоматическим устройством.

Чтобы следить за линией чертежа, фотоэлемент вместе с осветителем приводится в движение двумя небольшими вспомогательными электродвигателями. Один из них сообщает движение вверх или вниз, другой — вправо или влево. Если же одновременно работают оба двигателя, фотоэлемент и осветитель движутся по наклонной или кривой линии, форма которой зависит от скорости того и другого двигателя.

Пусть сначала линия чертежа идет прямо и вертикально. Освещающий ее луч и фотоэлемент движутся вдоль нее снизу вверх. Фотоэлемент нормально освещен наполовину, и движение его продолжается по прямому направлению. Но вот линия на чертеже искривляется и поворачивается направо. Теперь нормальное половинное освещение фотоэлемента нарушается. Белая часть слева занимает уже больше половины его поля зрения,

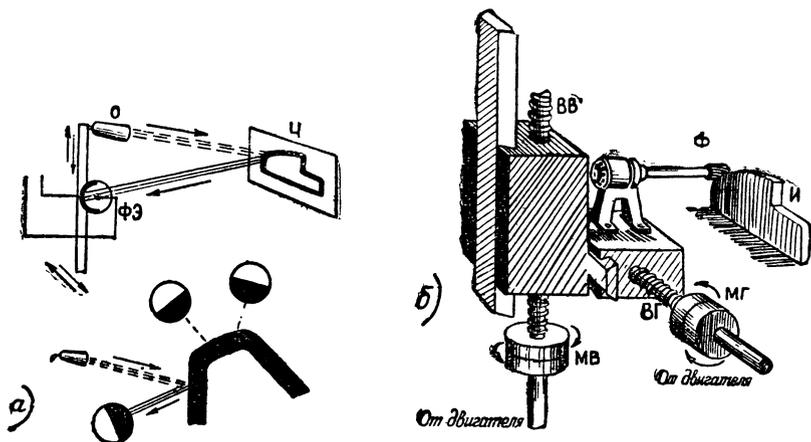


Рис. 154. Станок, читающий чертежи:

а — фотоэлемент, читающий чертеж, б — исполнительный орган станка

а черная справа — меньше половины. От этого автоматическое устройство включает второй двигатель горизонтального движения, и тогда луч света и фотоэлемент начинают двигаться вправо вдоль линии чертежа. Так восстанавливается нормальное половинное освещение фотоэлемента. Мы видим, что при каждом изгибе линии чертежа нарушается нормальное освещение фотоэлемента. А особое электронное следящее устройство тут же его восстанавливает. Оно управляет работой электродвигателей и изменяет направление движения фотоэлемента, все время направляя его вдоль линии чертежа.

Так движется вдоль линии чертежа читающий его «электрический глаз».

Посмотрим теперь, как повторяет движения фотоэлемента рабочий орган станка (суппорт) и как его инструмент (фреза Φ) вырезает изделие такой же формы, какая изображена на чертеже. Суппорт (рис. 154, б) приводится в движение двумя винтовыми механизмами: вертикальным $ВВ$ и горизонтальным $ВГ$. Каждый из них имеет свой двигатель, связанный с реверсивной электромагнитной сцепной муфтой, которая может в каждый нужный момент включить или выключить винт и вращать его в ту или другую сторону. Муфта вертикального винта $МВ$ передвигает суппорт вверх или вниз, а муфта горизонтального винта $МГ$ — вправо или влево. Сочетая действие обоих винтовых механизмов, можно получить движение суппорта под любым углом или по нужной кривой линии. А вместе с суппортом, в тех же направлениях, движется и вращающаяся фреза Φ , обрабатывающая из-

делии *И*. Она обходит его с разных сторон и вырезает форму, заданную чертежом.

Вспомните следящие устройства. С их помощью одни части машин могут в точности повторять любые движения других. Сложное автоматическое следящее устройство связывает механизмы суппорта с «электрическим глазом», читающим чертеж. Оно включает и переключает электромагнитные сцепные муфты обоих винтовых механизмов и заставляет суппорт в точности повторять все движения читающего устройства вдоль линии чертежа. И все это выполняется без всякого прямого участия рабочего, которому остается только снять со станка готовую деталь, в точности соответствующую чертежу. Хотя, конечно, основное руководство машиной и осуществляет человек.

НЕ ИЗОЛЯТОРЫ И НЕ ХОРОШИЕ ПРОВОДНИКИ

Слыхали ли вы о партизанском котелке? Это был необыкновенный котелок. В нем можно было сварить на костре пищу. В то же время котелок снабжал током небольшую походную радиостанцию. В годы Великой Отечественной войны нашим партизанам и разведчикам очень важно было поддерживать радиосвязь. Но для работы радиопередатчиков и приемников необходима была энергия. Ее давали особые батареи, вделанные в стенки котелка. Эти батареи были из новых замечательных материалов — полупроводников. Из них же делают и крошечные радиоприборы, так что весь приемник или передатчик имеет размер портсигара и свободно умещается в кармане.

В Америке придумали мяч для игры в гольф, который, говорят, нельзя потерять. Внутри мяча вделан миниатюрный полупроводниковый радиопередатчик, посылающий сигналы. А в кармане у игрока лежит такой же маленький приемник с устройством, определяющим направление принимаемых радиоволн. И если во время игры мяч затеряется в кустах, можно без труда узнать, где он находится. Подобный передатчик можно незаметно установить и на автомобиле. Если машина будет похищена, приемник в кармане шофера позволит найти, где она находится.

С помощью миниатюрных полупроводниковых приборов можно вести радиопередачу и... — не удивляйтесь — изнутри человеческого желудка. При некоторых болезнях врачам важно определить, сколь часто и как сокращаются стенки желудка. Крошечная радиостанция помещена в цилиндрической ампуле длиной 3 см и поперечником 1 см. В ней же находится и батарейка, дающая энергию. Больной проглатывает эту радиостанцию, и она из его желудка посылает свои волны. В ампуле есть также гибкая резиновая пластинка, которая воспринимает сокращения желудка и в соответствии с ними модулирует радиоволны. Они проходят через стенки желудка, через покровы тела, а затем принимаются и расшифровываются радиоприемником врача.

Полупроводниковые приборы удивительно прочны. Передатчик внутри мяча не боится ударов палки. В виде опыта такой крошечный радиопередатчик поместили даже внутри бойка молотка. Слесарь изо всей силы бил этим молотком по зубилу или расплющивал им головки заклепок, а полупроводниковый передатчик изнутри молотка по-прежнему нормально передавал свои сигналы.

У полупроводниковых материалов открыты многие замечательные свойства и они находят все больше разнообразных и очень важных применений в технике. Из них делают, например, крошечные приборы для очень точного измерения температуры, которые можно удобно устанавливать в любой части машины или внутри органов больного.

Полупроводники создают новую энергетику. С их помощью можно получать электроэнергию из тепла керосиновой лампы. Другие полупроводниковые приборы производят электроэнергию за счет света. Таковы солнечные батареи, работающие на искусственных спутниках земли. Создаются читающие машины для слепых и много других удивительных изобретений. Наступает новая революция в технике.

Что же такое полупроводники и почему они приобрели такое исключительное значение?

Вспомним то время, когда молодая еще электротехника прошлого столетия искала материалы, хорошо проводящие ток или хорошо изолирующие электрические устройства. Электротехнические материалы делились на две группы: проводники и изоляторы. Все остальные вещества считались бесполезными для электриков. А их в природе было большинство.

Но успехи современной физики и техники раскрыли совершенно иную картину. Оказалось, что есть очень много веществ, которые не являются ни хорошими проводниками, ни хорошими изоляторами, но обладают важными электрическими свойствами. Они проводят ток не очень хорошо, но и не очень плохо. А, главное, проводят его совершенно особенно. Их назвали полупроводниками. Открытые в них особые свойства и новые явления сыграли громадную роль в прогрессе современной электротехники.

Эти свойства и явления найдены в мире мельчайших заряженных частиц. Свойства полупроводников тоже относятся к электронике, но уже не газов и вакуума, а к электронике твердых тел. Попробуем разобраться в увлекательной области этих сложных явлений.

Посмотрите, как своеобразно движутся внешние электроны вокруг остатков атомов, образующих правильную кристаллическую решетку полупроводника (рис. 155). Два электрона обращаются вокруг двух соседних атомов. Некоторые из них отделяются от атомов и могут превращаться в свободные электроны. Если приложить напряжение и создать электродвижущую силу, то эти свободные электроны начнут двигаться в определенном

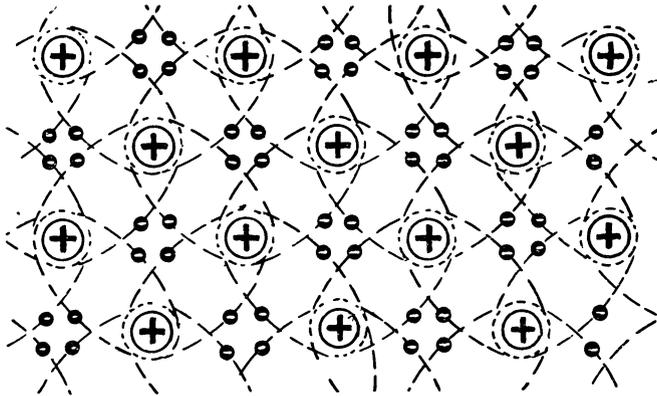


Рис. 155. В мире мельчайших частиц полупроводника

направлении от отрицательного полюса к положительному. Пока что эта электронная проводимость полупроводников подобна току в металлах, хотя она и значительно меньше.

Но у полупроводников есть и другая необыкновенная проводимость. Что происходит, когда от пары атомов отделяется один из внешних электронов? Вместо него остается пустое место, не заполненное электроном, как говорят «дырка». Правда оно недолго остается пустым. Какой-нибудь электрон, оторвавшийся от соседних атомов, перескакивает и заполняет дырку. На его месте образуется новая дырка, но в нее перескакивает еще какой-нибудь электрон и т. д.

А что получится с этими дырками, если к полупроводнику приложить напряжение? Тогда отрывающиеся электроны движутся в определенном направлении к положительному полюсу (на рис. 156 слева направо). Пусть дырка образовалась у правого края рисунка. В нее перескакивает электрон из соседней слеза пары атомов. Значит новая дырка образуется левее. Но в нее снова перескакивает электрон слева — новая дырка возникает еще левее. Таким образом, дырка как бы перемещается все дальше справа налево.

Вспомните, как бывает в кино, когда остается свободное хорошее место против экрана. На него пересаживается зритель с соседнего кресла; на его освободившееся место пересаживается следующий и т. д. И в результате свободное место как бы перемещается вдоль ряда навстречу пересаживающимся зрителям.

Нечто в этом роде происходит и в полупроводнике. Электроны перескакивают в направлении от отрицательного полюса к положительному (слева направо). А дырки передвигаются им навстречу — от положительного полюса к отрицательному (справа налево). Заметьте, что в парах атомов с дыркой не хватает отрицательного заряда (электрона). Поэтому они заряжены положи-

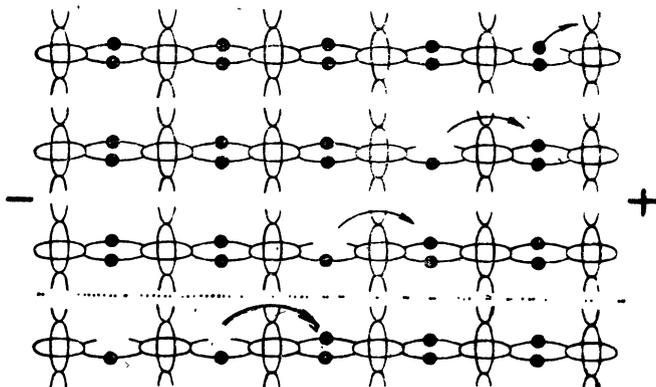


Рис. 156. Как движутся «дырки»

тельно. Значит движение дырок подобно движению положительных зарядов. В полупроводниках возникают как бы два встречных электрических тока — один из электронов, другой из дырок. Так и говорят об их электронной и дырочной проводимости.

Исследования показали, что на электрические свойства полупроводников большое влияние оказывают малейшие примеси посторонних веществ — их пришлые атомы, чужие для данного материала. Если, например, в закись меди вкраплены атомы чистой меди, от которых гораздо легче отделяются свободные электроны, у полупроводника значительно увеличивается электронная проводимость. Она становится даже основной в сравнении с дырочной. Если же в закись меди попадут лишние атомы кислорода, они отнимают и присоединяют к себе внешние электроны от соседних атомов полупроводника. В нем становится больше дырок и значительно увеличивается дырочная проводимость. Она становится главной.

Изучение полупроводников дало возможность управлять их свойствами. Добавляя в них те или иные примеси посторонние атомы, можно во много раз усилить их электропроводность, причем по выбору делать ее электронной или дырочной. А это, как мы сейчас увидим, имеет большое значение в новой технике полупроводников.

Широко применяются твердые или сухие полупроводниковые выпрямители, например для питания электромагнитов, в электрохимических производствах, для возбуждения генераторов на электростанциях, для зарядки аккумуляторов. Они проводят ток лишь в одном направлении и превращают переменный ток в постоянный. Выпрямитель (рис. 157) состоит из двух полупроводников различной проводимости. Добавляя нужные примеси, со-

здают у правого полупроводника Э электронную проводимость, а у левого Д — дырочную. (Кружки с минусами изображают электроны, а кружки с плюсами — дырки). Пусть к левому контакту ЛК присоединен положительный полюс, а к правому ПК — отрицательный.

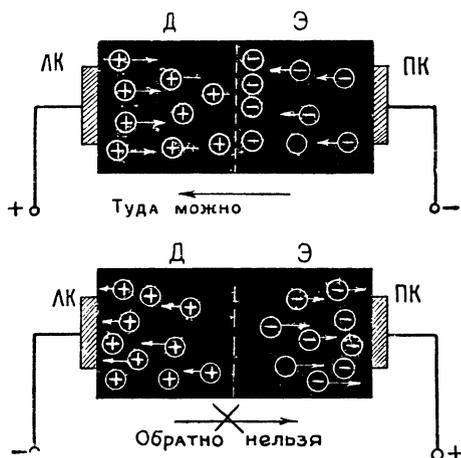


Рис. 157. Как действует полупроводниковый выпрямитель

Электронны движутся справа налево, а дырки — слева направо. Они движутся навстречу одни к другим и в средней части прибора превращаются в нейтральные атомы. Но справа из цепи поступают все новые электроны и свободно проходят через средний пограничный слой. В этом направлении прибор проводит ток.

Но вот полюсы переменялись: правый контакт ПК стал положительным, а левый ЛК — отрицательным. Теперь электроны движутся направо, а дырки — налево. В правом и левом полупроводниках они движутся в противоположные стороны. От этого в пограничном слое между ними остается очень мало заряженных частиц — носителей электрического тока. Ток в пограничном слое встречает большое сопротивление и почти не проходит через него. Такой слой запирает путь току, отчего его называют запиорным слоем. Вот почему в данном направлении прибор не проводит ток и служит выпрямителем.

Применяются, например, селеновые выпрямители. Выпрямляющее действие возникает в них между слоем чистого селена с дырочной проводимостью и слоем селена с примесью металла кадмия, придающего ему электронную проводимость.

Такой полупроводниковый выпрямитель заменяет электронную лампу с двумя электродами (диод). Но у ученых возникла мысль, нельзя ли заменить полупроводниками и трехэлектродную лампу с управляющей сеткой? Нельзя ли управлять потоком электронов не в вакууме лампы, а внутри твердого тела — кристалла? Были созданы новые приборы — полупроводниковые триоды — усилители электрических импульсов (рис. 158). Величиной они бывают с горошину, из которой выходят три тоненькие проволоки. В этой горошине совершается сложная работа электронов и дырок.

Попробуем разобраться в сложном действии одного из таких приборов. Кристалл полупроводника состоит в нем из трех сло-

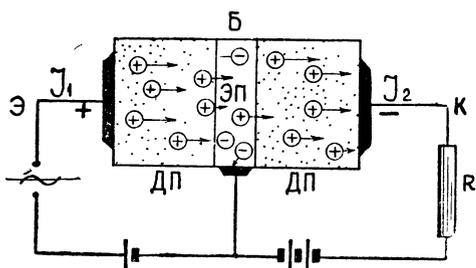


Рис. 158. Как действует полупроводниковый усилитель

ев — тонкого среднего или внутреннего слоя с электронной проводимостью *ЭП* (который называется основанием или базой *Б*) и двух крайних слоев (справа и слева) с дырочной проводимостью *ДП*. К этим боковым слоям подведены два электрода — слева эмиттер *Э*, по которому подаются сигналы слабого переменного

напряжения, а справа коллектор *К*, по которому отводятся сигналы с значительно усиленными изменениями напряжения. Третий электрод подведен к основанию (онизу).

Что происходит между средним и правым слоями прибора? Правый слой связан с отрицательным полюсом цепи коллектора. Поэтому подвижные дырки в этом слое притягиваются им, движутся вправо и уходят в коллектор. В среднем же слое с электронной проводимостью свободные электроны отталкиваются от отрицательного полюса и уходят влево к эмиттеру или к нижнему третьему электроду. От этого близ границы между средним и правым слоями остается мало подвижных носителей электричества и образуется запорный слой с очень большим сопротивлением (подобно тому, что мы видели в полупроводниковых диодах — выпрямителях).

Что же происходит с левой стороны прибора? Сюда подведен положительный полюс цепи эмиттера. Поэтому подвижные дырки левого крайнего слоя отталкиваются от этого полюса и движутся вправо. Они проходят через тонкий слой основания и устремляются дальше в правый крайний слой к отрицательному полюсу. На пути их находится запорный слой. Но в этом направлении — от положительного полюса к отрицательному — положительно заряженные дырки преодолевают его сопротивление. Пройдя через правый крайний слой, они уходят в коллектор.

Таким образом, в цепи коллектора образуется ток. Величина его I_2 примерно такая же, как I_1 в цепи эмиттера. Но из-за большей электродвижущей силы в цепи коллектора на включенном в нее сопротивлении R возникает значительно большее падение напряжения V_2 . В цепь эмиттера включен источник переменного напряжения V_1 . Напряжение V_2 в коллекторе повторяет все его изменения, но в значительно усиленном виде. Поэтому-то такой полупроводниковый прибор и работает как очень чувствительный и точный усилитель напряжения.

База, эмиттер и коллектор полупроводникового триода-усилителя производят работу, подобную катоду, сетке и аноду электронной лампы.

Мы видели, какую революцию в технике еще недавно произвели электронные лампы и другие вакуумные приборы. Но теперь они уступают первенство еще более совершенным и прогрессивным полупроводниковым приборам. Эти приборы гораздо проще, прочнее, надежнее, дольше служат, занимают мало места и обладают многими другими ценными свойствами.

НОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В ТЕХНИКЕ

Всё новые свойства раскрываются у полупроводников и все новые области техники быстро движутся вперед благодаря их применению. Оказалось, например, что их электрическая проводимость очень чувствительна к изменениям температуры. С повышением температуры сопротивление полупроводников резко падает. Если такой прибор включить в электрическую цепь, то при повышении температуры ток в этой цепи усилится. Как же так — спросите вы — ведь сопротивление металлических проводников от нагревания увеличивается? В полупроводниках дело обстоит иначе: от нагревания электроны движутся быстрее, легче отрываются от атомов и образуется больше свободных электронов. Значит через горячий полупроводник проходит ток большей величины, чем через холодный. Причем, электропроводность некоторых полупроводников возрастает очень сильно — с каждым градусом на 3—6%, а при нагревании на 100° — раз в 50. Такое свойство полупроводников дало возможность сделать новые очень чувствительные и удобные приборы для измерения температуры. Их называют термисторы. Термисторы — это крошечные бусинки, диски, палочки или тонкие проволочки размером в несколько миллиметров. Их можно легко вставить в любом месте внутри сложной машины — в ее подшипники и другие трущиеся части, в обмотку электродвигателя или генератора, в цилиндры автомобильного или авиационного мотора — всюду, где надо контролировать температуру. Они измеряют ее очень быстро, почти мгновенно и с невиданной точностью, порой до 0,0005°. Устанавливая термистор в фокусе телескопа и направляя на него видимые или невидимые инфракрасные лучи, астрономы определяют температуру далеких планет, находящихся от нас на расстоянии десятков миллионов километров. Можно обнаружить тепло тела человека на расстоянии 500 м, а пламя спички или горящую папиросу — за километры. Агрономы измеряют термисторами температуру почвы и даже различных частей растений. А врачи создали особую иглу, которую можно вводить в ткани и даже в кровеносные сосуды и измерять температуру внутри отдельных больных органов. Можно расставить любое число термисторов и контролировать температуру в тысячах мест большого теплохода или металлургического цеха, а сведения передавать по проводам на центральный пост управления.

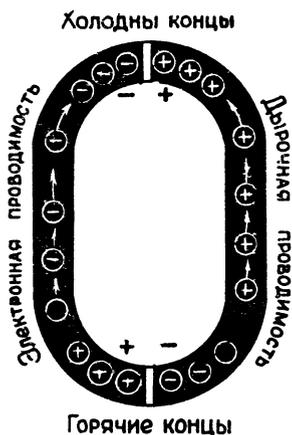


Рис. 159. Как полупроводники превращают тепло в электричество

Термисторы контролируют и другие производственные процессы, переводя их «на язык температуры». Пусть надо узнать скорость течения газа в трубе. В трубу помещают термистор, нагреваемый током так, чтобы струя газа обдувала его и уносила тепло. По степени охлаждения прибора можно определить скорость струи. Чтобы узнать влажность дутья, поступающего в печь, термистор обертывают смоченной тканью. По охлаждению ткани от испарения воды можно измерить влажность воздуха.

Ученые и изобретатели много думали над тем, нельзя ли создать такие генераторы электроэнергии, в которых тепло прямо и непосредственно превращалось бы в электричество.

Нельзя ли миновать то сложное и невыгодное превращение тепловой энергии в механическую, которое приходится производить в турбинах тепловых электростанций? Вспомните термопары измерительных приборов, в которых нагревание спая двух различных металлов создавало электрическое напряжение и ток. Правда, напряжение в них было очень слабым и коэффициент полезного действия ничтожным (всего 0,5%). Совершенно новые возможности такого прямого превращения тепловой энергии в электричество открылись благодаря полупроводникам.

Если взять два полупроводниковых стержня — один с электронной, а другой с дырочной проводимостью — соединить их обоими концами в виде продолговатого кольца и одни концы нагреть, а другие охладить, в цепи появится значительное напряжение и ток (рис. 159). Что происходит в обоих стержнях? В стержне с электронной проводимостью в нагретом конце свободные электроны движутся быстрее и переходят в холодный конец. От этого на холодном конце, где скапливается больше электронов, образуется отрицательный заряд, а на горячем конце, где их остается меньше, — положительный. В стержне же с дырочной проводимостью происходит иное. В горячем конце усиленно отделяются электроны и образуются дырки. Эти дырки движутся к холодному концу, скапливаются на нем и образуют положительный заряд. На горячем же конце, из которого дырки уходят, заряд получается отрицательным. В результате в обоих стержнях возникают электродвижущие силы. И если соединить стержни горячими и холодными концами, эти э. д. с. складываются.

Такие пары полупроводников соединяют в батареи. Их коэф-

фициент полезного действия (к. п. д.) достигает 80% и больше, т. е. выше, чем у паровозов.

Вот интересный вид такого термогенератора (рис. 160). На столе стоит керосиновая лампа с необычным по своей форме стеклом. А на стекле надето какое-то кольцо. Это — батарея. Одни концы полупроводниковых стержней направлены внутрь и нагреваются образующимися в лампе горячими газами. Другие же концы направлены наружу и охлаждаются окружающим воздухом. Такая батарея может дать ток, вполне достаточный для питания радиоприемника. Батареи эти хороши для далеких таежных районов или для экспедиций, где нельзя получить энергию от электростанции.

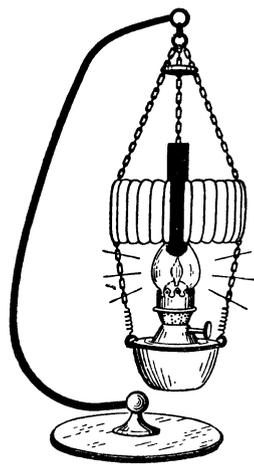


Рис. 160. Электростанция на керосиновой лампе

Советская промышленность выпустила еще более мощные батареи «Урожай», нагреваемые керогазами, которые питают энергией колхозные радиоузлы или телефонную связь на полевых станах в безбрежных просторах целинных и залежных земель. По этому же принципу работает и партизанский котелок.

Техника будущего сможет производить немало электроэнергии за счет тепла низкой температуры, например дымовых газов в трубах, и вообще используя отбросы тепла на производстве, в двигателях и т. д.

А что получится, если такую пару полупроводников не нагревать с одного конца и охлаждать с другого (для получения электроэнергии), а, наоборот, пропускать через нее ток? Оказалось, что тогда произойдет интересное противоположное явление: одни концы соединенных стержней сами нагреются, а другие концы охладятся. Это тоже открыло разносторонние возможности практических применений. Один конец такого устройства может служить нагревателем, а другой — холодильником, причем холодильником совершенно нового, более простого и совершенного типа — без двигателя, без химических веществ. Малые размеры полупроводниковых приборов дают возможность даже замораживать живые ткани, чтобы наблюдать их под микроскопом. Техника будущего, вероятно, создаст такие устройства, которые зимой будут обогревать наши цехи и жилища, а летом создавать в них приятную прохладу — поддерживать в доме искусственный климат, ровный в течение всего года. Изменяя направление тока в приборах, можно будет менять нагревание и охлаждение концов, введенных внутрь дома и выведенных наружу. Интересно, что зимой, чем холоднее будут остывать наружные концы пары полупроводников, тем жарче будут нагреваться внутренние. Это

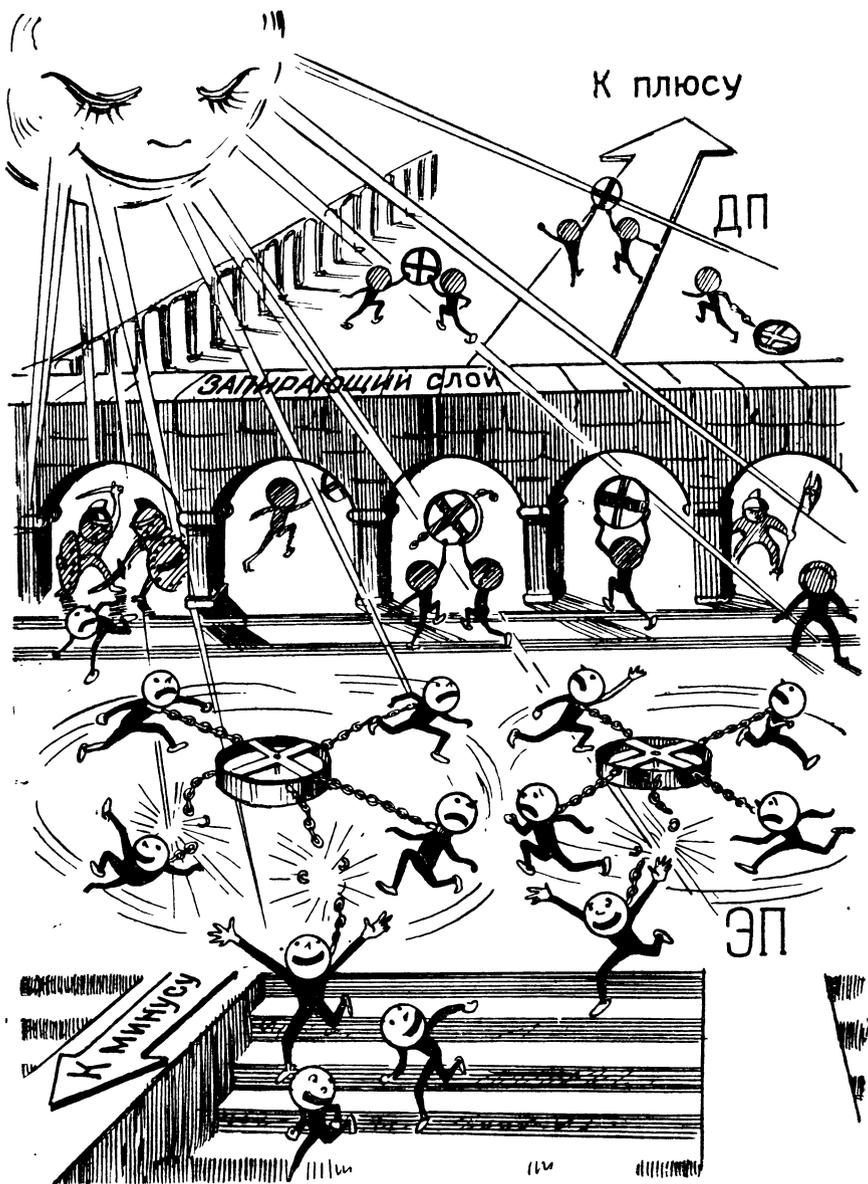


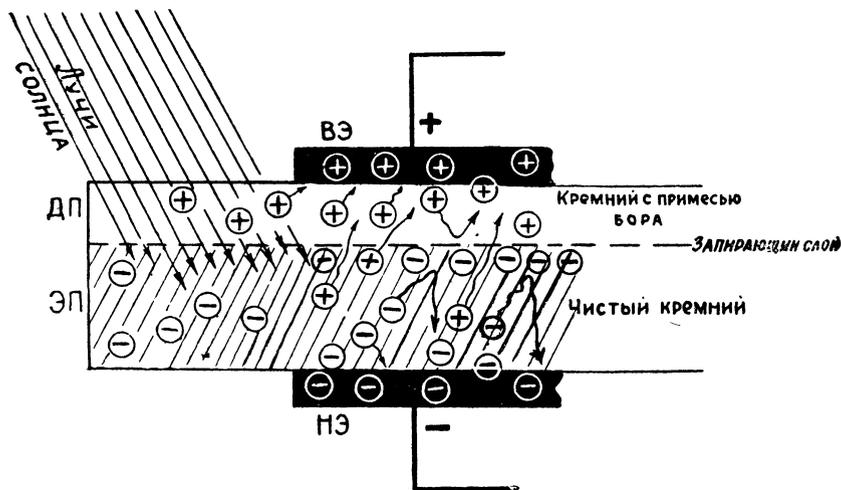
Рис. 161. Как работает

странно звучит, но помещение, в известном смысле, будет нагреваться за счет наружного холода.

Тысячи оборотов вокруг Земли совершают ее искусственные спутники, впервые созданные советскими учеными. В них работают новые источники электроэнергии — солнечные батареи. Они превращают лучистую энергию солнечного света в электрическую и в течение многих месяцев питают ток радиопередатчики и другие приборы спутников.

Мы уже знакомы с «электрическим глазом» — фотоэлементом, создающим ток под влиянием лучей света. Но ток в нем возникает очень малой мощности, и прибор имеет низкий к. п. д. превращения лучистой энергии в электрическую. Как источник энергии вакуумный фотоэлемент непригоден. Но ученые давно мечтали создать такой генератор, который непосредственно и выгодно, с большим к. п. д. превращал бы неисчерпаемую энергию солнечных лучей в электрическую и производил бы мощный ток. Благодаря полупроводникам и эта мечта превратилась в действительность.

Как устроена и работает солнечная батарея (рис. 161)? Что происходит внутри ее полупроводников? Берется пластинка, вырезанная из кристалла кремния. Кремний очень распространенное вещество, из него состоит обыкновенный песок, только его надо тщательно очистить от примесей. Такая кремниевая пластинка имеет электронную проводимость *ЭП*. В верхний слой ее вводится небольшая примесь бора, и его атомы создают здесь другую, дырочную, проводимость *ДП*. Так образуются два слоя полупроводников с различной проводимостью — электронной и дырочной. Снаружи к ним прикреплены металлические электроды *ВЭ* и *НЭ* (верхний и нижний) с отводами для тока.



солнечная батарея

Верхний дырочный слой *ДП* очень тонок и прозрачен для лучей света. Они проходят через него до нижнего электронного слоя *ЭП*. Что происходит от их действия? Получая добавочную энергию от лучей света, электроны отрываются от атомов кремния, и в нижнем слое образуется больше свободных электронов. Они стремятся перейти в верхний дырочный слой. Но на границе обоих полупроводников образуется запирающий слой. Здесь скапливается много электронов — «пограничников», которые мешают новым электронам переходить из нижнего полупроводника в верхний. Эти электроны уходят в нижний металлический электрод *НЭ* и накапливаются в нем. Поэтому здесь образуется отрицательный заряд.

При отделении электронов от атомов в нижнем полупроводнике образуются новые дырки. Для них путь через пограничный слой свободен. Поэтому они переходят из нижнего полупроводника в верхний, скапливаются в нем и в верхнем металлическом электроде *ВЭ*. Кроме того, в верхней пластинке *ДП* от действия лучей света образуются свои дырки, которые не могут проникнуть в нижнюю (через запорный слой) и тоже скапливаются в верхнем электроде *ВЭ*. От этого в нем образуется положительный заряд. Если теперь включить оба электрода в цепь, появится ток. Так удалось создать новый световой генератор электроэнергии. Большое число таких маленьких пластинок соединяется в батареи (последовательно и параллельно) и от этого увеличивается напряжение и величина тока.

На третьем советском искусственном спутнике было установлено несколько тысяч элементов, причем они были расположены с разных его сторон, чтобы лучше улавливать лучи солнца. Солнечные батареи превращают в электричество 9—11% энергии освещающих их лучей.

В будущем раскрываются заманчивые перспективы. Покрыв солнечными батареями крыши домов, можно будет полностью удовлетворить потребность их жителей в электрической энергии. А сколько энергии смогут получать колхозы! И чем сильнее будет светить солнце в засушливое время, тем больше энергии будет подаваться насосами, поливающими поля и опороды. Установив солнечные батареи в знойных пустынях, можно будет превращать их в цветущие сады и поля. Научные экспедиции и туристы будут брать с собой свернутую солнечную ткань и, где нужно, быстро раскладывать свои походные электростанции.

Начался новый век атомной техники. В ней тоже находят применение полупроводники. Вот крошечная атомная батарея — это родная сестра батареи солнечной. Но вместо лучей свега на нее воздействуют быстро летящие мельчайшие частицы — электроны, которые выбрасывают из себя неустойчивые ядра атомов радиоактивной разновидности (изотопа) стронция. Мы видим в этой батарее те же два слоя чистого и нечистого кремния с электронной и с дырочной проводимостью, как и в солнечной бата-

рее. Но, кроме того, нанесен слой радиоактивного стронция. Каждый из излученных им электронов выбивает из атомов полупроводника около 200 тысяч новых (вторичных) электронов. Поэтому крошечная батарея дает много энергии и работает более 20 лет. Радиоактивный стронций выбран потому, что он не излучает гамма-лучей, опасных для человека. Он легко получается, как побочный продукт на атомных электростанциях. Атомным батареям, несомненно, принадлежит огромное будущее. Уже делаются попытки создать, например, атомные автомобили и мотоциклы, работающие на таких батареях.

Трудно охватить то множество новых завоеваний техники, которые с каждым годом совершаются благодаря полупроводникам. Созданы, например, отличные новые магнитные материалы — ферриты. Они обладают высокой магнитной проницаемостью и в то же время почти не проводят ток. Поэтому в них не происходит вредного нагревания и потерь энергии на вихревые токи. Из ферритов можно делать крошечные сердечники для радиоприборов, работающих на токах очень высокой частоты.

Другие полупроводниковые материалы являются отличными диэлектриками и из них делают карликовые конденсаторы с очень большой емкостью.

В химической промышленности полупроводники оказались прекрасными катализаторами — ускорителями реакции. Высказано даже предположение, что из полупроводников состоят некоторые элементы нервной системы человека. И кто знает, может быть, когда-нибудь хирурги будут делать из них искусственные нервы.

ЭЛЕКТРОННЫЙ МАТЕМАТИК

Много новых замечательных завоеваний техники принесла электроника — изучение и покорение мира мельчайших заряженных частиц. Но, пожалуй, наиболее удивительным достижением современной науки и техники, вызывающим у нас чувство восхищения перед могуществом человеческого разума, являются новые электронные вычислительные машины. Эти машины-математики выполняют сложнейшие расчеты и производят их несравненно быстрее человека. В течение одной секунды машина совершает 10 тыс. операций. Меньше чем за час она производит столько вычислений, что человеку для этого понадобилось бы 10—15 лет кропотливой работы, причем электронный математик может решать такие сложные задачи, для которых до него требовался целый штат квалифицированных специалистов.

Математические вычисления приобретают все большее значение в нашей жизни и технике. Они необходимы на производстве при расчете работы станков и машин, металлургических печей, химических аппаратов. Многочисленные расчеты производят

ученые в научных институтах при проведении своей исследовательской работы. Запуск советских искусственных спутников и ракет был основан на сложнейших расчетах траектории и скорости их движения в мировом пространстве. Предсказания погоды, которые мы каждый день слушаем по радио, тоже требуют сложной математической обработки наблюдений, полученных из многих тысяч пунктов нашей страны. Причем расчеты эти надо делать очень быстро. Во всех этих и во многих других случаях электронные машины-математики приносят неоценимую пользу человеку.

Огромная машина, состоящая из многих аппаратов, занимает большой зал площадью около 100 м². Войдя в этот зал, вы увидите бы ряды каких-то специальных столов и шкафов, в которых постукивают электрические приборы. В них совершается сложная автоматическая работа «электрического мозга», заменяющая мышление человека. Машина состоит из нескольких тысяч электронных ламп или полупроводниковых приборов и различных других радиодеталей. Она потребляет более 50 квт энергии.

Как работают эти замечательные машины-математики? Они очень сложны, и мы попытаемся дать лишь самое общее представление о некоторых основных принципах их работы.

Начнем с того, что они ведут счет по совершенно иной числовой системе, чем та, к которой мы привыкли. Обычно считают по десятичной системе. В многозначных цифрах (например 1959) каждый следующий разряд (справа налево) в десять раз больше предыдущего: единицы, десятки, сотни, тысячи и т. д. Электронный же математик считает по двоичной системе. Это значит, что в его цифрах каждый следующий высший разряд всего в два раза больше предыдущего — единицы, двойки, четверки, восьмерки и т. д. Возьмем для примера число пять. Не удивляйтесь, но оно выразится так: 101. Это значит: одна четверка, двоек нет (их ноль) и одна единица. Число шесть выразится 110: одна четверка, одна двойка и ноль единиц. Числа от 8 до 15 будут иметь уже четыре знака, например десять выразится 1010: одна восьмерка, ноль четверок, одна двойка и ноль единиц. Двенадцать — 1100: одна восьмерка, одна четверка, ноль двоек и ноль единиц.

Поупражняйтесь сами в составлении и чтении цифр по такой необыкновенной двоичной системе (см. таблицу).

Вы, может быть, спросите: «к чему выдумывать такую сложную, громоздкую систему цифр?» Громоздка она, действительно, но сложной кажется только с непривычки. Для электрических же приборов машины-математика она гораздо проще и удобнее. Заметьте, что в ней приходится обращаться только с двумя знаками: нулем и единицей (вместо десяти различных знаков в нашем обычном счете).

Цифры, над которыми машина производит различные расчеты, надо перевести на язык электричества — выразить их элек-

Т а б л и ц а

В десятич- ной системе	В двоичной системе					
	32	16	8	4	2	1
20	—	1	0	1	0	0
21	—	1	0	1	0	1
25	—	1	1	0	0	1
30	—	1	1	1	1	0
32	1	0	0	0	0	0
33	1	0	0	0	0	1
35	1	0	0	0	1	1
40	1	0	1	0	0	0
45	1	0	1	1	0	1
50	1	1	0	0	1	0

трическими сигналами. Понятно, что гораздо легче сделать электрическое устройство, оперирующее всего лишь с двумя различными сигналами, чем десятью. Даже простым выключателем с лампочкой можно выразить два знака: «Включено — единица», «Выключено — ноль». Электромагнитное реле тоже имеет два положения: «Замкнуто — разомкнуто», «Единица — ноль». Однако оно работает слишком медленно. Гораздо быстрее и лучше действуют электронные реле (а еще лучше — полупроводниковые приборы) с двумя положениями: «Есть ток — нет тока». Все свои сложные расчеты электронный математик производит по такому принципу: «Есть ток или нет тока», «Да или нет», что означает 1 или 0 в каждом разряде цифр двоичной системы.

Надо прежде всего подать в машину все числа, над которыми она будет производить вычисления. Для этого их записывают на бумажной или магнитной ленте. Там, где стоит единица, на бумажной ленте пробивают отверстие, а там, где ноль, оставляют промежуток между отверстиями. Запись ведется на специальных машинках, которые обычные десятичные цифры сами переводят в двоичные, а затем пробивают соответствующие отверстия в ленте. А внутри машины-математика записанные цифры считываются особым прибором, который через отверстия в ленте замыкает контакты и посылает дальше электрические сигналы: «Есть или нет тока», что означают единицы или нули.

Главная часть — сердце электронного математика — это его арифметическое устройство. Надо сказать, что все сложные математические расчеты совершаются машиной путем основных четырех арифметических действий: сложения, вычитания, умножения и деления. Посмотрим, как производится сложение.

Но сначала сложим сами два числа, записанные по двоичной системе, например 1010 (что значит десять) и 1100 (т. е. двенадцать). Подпишем их одно под другим и будем складывать цифры каждого разряда (справа налево). Здесь в вертикальных

$$\begin{array}{r}
 + 1010 \\
 1100 \\
 \hline
 10110 \\
 \text{(двадцать два)}
 \end{array}$$

столбцах придется складывать: $0+0=0$, $1+0=1$ или $0+1=1$. Пока, как видите, все обстоит очень просто!

А что получится, если одна под другой окажутся две единицы и придется складывать $1+1$, как в левом крайнем столбце нашего примера. Получится 2.

Но это уже единицы следующего высшего разряда. Поэтому мы пишем ноль и переносим 1 в следующий разряд, как вы привыкли переносить и в обычном счете.

Такие операции над цифрами каждого разряда производит и электронное арифметическое устройство — сумматор. Но он совершает их не над цифрами 1 и 0, а над электрическими сигналами «Есть импульс тока» и «Нет импульса тока».

Устройство состоит из трех рядов электронных ламп или полупроводниковых приборов. На верхний и нижний ряды подается электрическая запись чисел, которые надо сложить. А на лампах среднего ряда сумматора образуется сумма, полученная от их сложения. Каждая лампа (справа налево) соответствует разрядам цифр: единицам, двойкам, четверкам, восьмеркам и т. д. Лампы среднего ряда сумматора работают следующим образом.

Когда на них не поступает импульса тока, они сохраняют свое прежнее состояние (оно может соответствовать нулю или единице).

Когда же на лампы поступает импульс, они изменяют свое прежнее состояние на противоположное — переходят с 0 на 1 или с 1 на 0. При этом подача импульса на лампу соответствует прибавлению новой единицы, а отсутствие импульса — прибавлению нуля.

В работе ламп сумматора (в каждом из разрядов чисел) бывают четыре случая:

1) было состояние, соответствующее 0, нового импульса не поступило, осталось прежнее состояние лампы 0. Это случай: $0+0=0$;

2) было состояние 0, но поступил импульс, и лампа изменила свое состояние, перешла с 0 на 1. Это: $0+1=1$;

3) было состояние 1, импульса не поступило, осталось прежнее состояние 1. Это: $1+0=1$;

4) наконец, было состояние 1, поступил импульс, лампа изменила свое состояние и перешла с 1 на 0.

Но при этом дополнительное устройство совершило перенос 1 в следующий высший разряд. Это $1+1=1$ 0 (с переносом в высший разряд).

$$\begin{array}{r}
 + 10011 \\
 + 10110 \\
 \hline
 101001 \\
 \text{(т. е. сорок один)}
 \end{array}$$

Пусть надо сложить два числа: 10 011 (т. е. 19) и 10 110 (т. е. 22). Сложите их сами.

А теперь посмотрите, как делает это электрический математик.

На верхний и нижний ряды ламп поданы числа для сложения (рис. 162, а). На средний же ряд (сумматор) они еще не переданы, и в нем все лампы находятся в состоянии 0. Но вот число с верхнего ряда подано на сумматор (рис. 162, б). В разрядах 1, 2 и 5 лампы среднего ряда изменили свое состояние с 0 на 1. Лампы остальных разрядов (3, 4 и 6) остались в прежнем состоянии 0.

На сумматор подано второе число с нижнего ряда (рис. 162, в). Происходит сложение. Рассмотрите внимательно, в каких разрядах среднего ряда и как изменилось состояние ламп? Импульсы тока поданы на лампы 2, 3 и 5 разрядов. Во втором разряде состояние ламп изменилось с 1 на 0, в третьем с 0 на 1, в пятом с 1 на 0. На лампы остальных разрядов импульсов тока не поступало, и их состояние пока осталось прежним.

Однако сложение еще не закончилось. Ведь надо еще перенести единицы в высшие разряды там, где произведено сложение $1 + 1$ и лампы перешли из состояния 1 в 0 (рис. 162, г). Такие переносы придется сделать из 2 разряда в 3 и из 5 в 6. Нужно сделать перенос и из третьего разряда в четвертый, так как в третьем к прежней единице прибавилась новая, перенесенная из второго разряда. В среднем ряду (рис. 162, г) показано окончательное число 101 001 (т. е. 41), полученное после этих переносов.

У электронной машины-математика есть и другие очень важные части. Ей необходима хорошая память. Сколько чисел приходится записывать или держать в уме, когда производишь сложные расчеты или решаешь задачу со многими действиями. Запоминающее устройство вычислительной машины прежде всего должно сохранять те первоначальные данные (числа), которые были введены в машину и над которыми ей предстояло совершить вычисления. Затем надо «сохранять в памяти» различные промежуточные числа — результаты одних действий, над которыми потом будут производиться другие. И, наконец, окон-

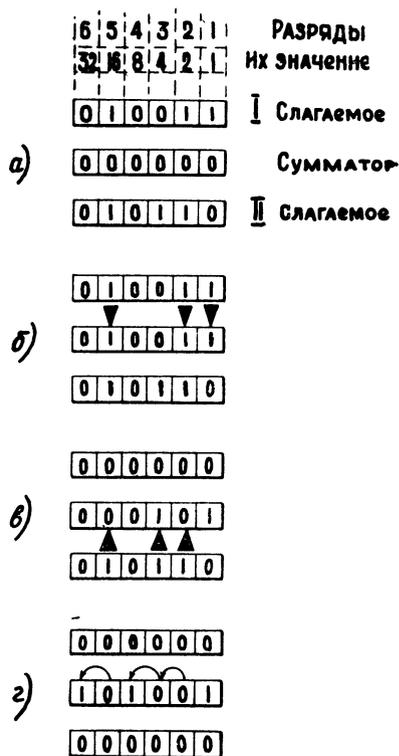


Рис. 162. Как электронный математик производит сложение

чательные результаты вычислений. Машина должна обладать хорошей «электрической памятью» — очень обширной, точной, правильной и позволяющей быстро «вспоминать» — находить и использовать хранящиеся «в памяти» числа.

Один из видов такой «электрической памяти» основан на принципе знакомой уже вам электронно-лучевой трубки. Но вместо светящегося экрана широкое дно ее покрыто слоем хорошего изолятора. На нем, в различных местах, можно наносить многочисленные электрические заряды, которые будут сохраняться, не соединяясь и не мешая один другому. Такое устройство и служит «электрической памятью», в которой записываются и хранятся тысячи чисел. Заряды на непроводящий слой наносит электронный луч. Управляющее устройство трубки направляет его для этого в нужное место широкого дна — в ту или другую ячейку «памяти».

«Электрическая память» тоже работает по двоичной системе чисел. Ее единицы и нули сохраняются на непроводящем слое в виде зарядов противоположного знака: единицы — положительные заряды, а нули — отрицательные. Причем, знаки разных разрядов многозначных чисел: единиц, двоек, четверок и т. д., хранятся даже в разных трубках. Такая «электрическая память» имеет огромную емкость: в каждой из многих трубок хранится более тысячи знаков.

Чтобы «вспомнить» — найти «в памяти», выбрать из нее и использовать нужные числа, управляющее устройство снова направляет электронный луч в нужную ячейку памяти по заданному адресу. Луч снимает заряды и многозначные числа, составленные из единиц и нулей, в виде импульсов тока передаются в нужные части машины к тем или другим арифметическим устройствам.

Как «запоминание», запись, так и воспроизведение чисел происходит с молниеносной быстротой.

Работа электронной вычислительной машины очень сложна. Для решения той или другой арифметической задачи часто нужно произвести ряд действий в определенной последовательности по сложному плану. Для этого электронный математик имеет еще одну важную часть: управляющее устройство — «центральную нервную систему». Оно посылает команды в различные органы сложной машины: «Взять числа из таких-то ячеек памяти», «Произвести над ними такие-то арифметические действия», «Результаты направить в такие-то отделы памяти и записать их там», «После таких-то вычислений выполнить такие-то дальнейшие» и т. д.

Все это производится автоматически, с помощью очень сложных электрических схем с многочисленными электронными лампами или полупроводниковыми приборами, распределителями, переключателями, вентилями.

Но машина — не человек. Как ни сложны и ни совершенны ее автоматические устройства, выбрать нужные действия, установить их связь и последовательность, составить план решения задачи она не может. Машина лишь выполняет задания человека. Она работает по составленной им программе. Поэтому важнейшее значение имеет составление программы работы электронного математика.

Программу предварительно составляет математик—человек. В ней точно указывается: какие действия, какие вычисления должны быть произведены машиной для решения данной задачи; в какой последовательности надо произвести эти действия и вычисления, что и когда должно быть передано запоминающему устройству или получено из него. Эта программа работы тоже записывается на перфорированную или магнитную ленту и вводится в машину вместе с исходными числовыми данными. Машина переводит эту запись на язык электрических знаков. А ее управляющее устройство осуществляет заданную программу и в указанной последовательности посылает приказы различным вычисляющим аппаратам.

Проделав все сложные вычисления, электронный математик через какие-нибудь секунды выдает полученные им результаты записанными на бумагу в виде всем понятных обычных цифр.

Техника неуклонно идет вперед. Совершенствуются и электронные математики. Их «электрический мозг» совершает все более сложные математические операции. Возрастает и скорость их выполнения. Уже разрабатываются проекты машин, производящих до миллиона действий в секунду. Важно также уменьшить размеры вычислительных машин.

Машины-математики были созданы на основе электронных ламп. Но теперь им на смену приходят полупроводниковые приборы. Они работают надежнее и дольше служат, а места занимают гораздо меньше.

Наряду с большими универсальными машинами, решающими всевозможные задачи, создаются специализированные вычислители для той или другой отдельной области техники. Они нужны, например, в авиации, для навигационных расчетов, которые при огромной скорости современных самолетов надо производить как можно скорей. Специализированные электронные математики размером с обычную пишущую машинку принесли большую пользу и на производстве для управления автоматическими цехами, электростанциями и различными сложными системами «умных» машин.

С каждым годом развивается новая передовая область науки — кибернетика, вооружающая умственный труд человека. Созданные ею аппараты не только производят математические вычисления, но и управляют сложными производственными процессами и выполняют другие логические, мыслительные операции.

* * *

Так все больше растет могущество человека, вооруженного современной наукой и техникой. Разнообразные применения электричества не только облегчают его физический труд, но и помогают управлять производством, все чаще заменяя работу его ума, его мышления. Машины и аппараты становятся «самоуправляющимися» автоматами.

В нашей стране строящегося коммунизма всесторонняя электрификация и автоматизация производства имеют особенно большое значение.

Конечно, высшее управление производством всегда останется за человеком. Он создает машины-автоматы, которые служат лишь орудиями его сознательного, разумного труда. Советские люди, вооруженные самой высшей, передовой техникой, уверенно строят новое, богатое и счастливое коммунистическое общество.

* * *

Юные читатели, овладевайте знаниями, изучайте технику и науку! Если эта книга заинтересовала вас затронутыми в ней вопросами — она сделала свое дело. Но это лишь первые шаги тех больших познаний, которые нужны вам. Изучайте дальше заинтересовавшие вас вопросы, читайте другие книги, из которых вы получите более полные и углубленные знания. Становитесь мастерами социалистического производства, вооруженными современной наукой и передовой техникой.



ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Глава I. Век электричества	3
Электричество исчезло	3
Сердце современной энергетики. Великий посредник	5
Победа над расстоянием	9
Гиганты и карлики	13
Ступени великого пути	15
Глава II. Электрические цепи и схемы	20
Электрическому току — хорошие пути	20
От полюса до полюса	27
О простых вещах — об электрических лампочках и выключателях	29
Последовательно или параллельно	35
Электрический командир	39
Как электрические цепи сами себя запирают	44
Сосуды с электрической энергией	47
Человек в электрической цепи (немного о технике безопасности)	52
Глава III. Электричество управляет	57
«Умные» схемы автоматики	57
«Глаза и уши» электрических автоматов (как и чем замыкаются контакты)	61
Как перевести с «неэлектрического языка на электрический»?	68
«Электрический мозг»	75
Электрическая арифметика	82
Регуляторы, работающие по заданной программе	87
Как управляют машинами с большого расстояния	92
Язык электрических приказов	99
Глава IV. Электричество нагревает	107
Печи без топлива и без огня	107
Как электрический нагрев все глубже проникает в производство	112
Электрическая дуга соревнуется с солнцем	115
Электросварщик проникает всюду	119
Электрическая искра вместо резцов и сверл	123
Электричество-химик тоже заменяет резец	126

Глава V. Магниты в современной технике	129
Могучая сила электромагнитов	129
Магниты-технологи	136
Необыкновенные электромагниты	141
Электромагниты тонкого действия	146
Глава VI. Что дало открытие электромагнитной индукции	152
Об одном открытии, сделавшем эпоху в технике	152
Сердце электростанции	156
Генераторы-карлики в автоматике	161
Может ли происходить индукция без движущихся частей? Как работает трансформатор?	163
Необыкновенные трансформаторы	167
Индукционные приборы в «умных» устройствах автоматике (воздушный зазор вместо контактов)	173
Как трансформатор превратился в электрическую печь	179
Сотни тысяч и миллионы периодов в секунду	183
Глава VII. Как электричество приводит в движение машины	189
Электрические и магнитные колеса	189
Электродвигатель вооружает труд строителей коммунизма	194
Рождение новой машины	197
Необыкновенные электродвигатели	202
«Умные» электродвигатели в автоматике	204
Невидимый электрический вал	210
Глава VIII. В невидимом мире электронов	214
Лампа, которая произвела переворот в современной технике	214
Туда можно — обратно нельзя	218
О необыкновенной сетке и о замечательном способе управления током	222
Электронный луч	228
Сверхточные измерения	234
Электрический глаз	241
Видящие машины	246
Станок, читающий чертежи	251
Не изоляторы и не хорошие проводники	253
Новая революция в технике	259
Электронный математик	265

Вальдгард Сергей Леонидович

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

* * *

Научный редактор *Черняк Б. А.*

Редактор *Демина Г. А.*

Художник *Крюков Ю. В.*

Техн. редактор *Персон М. Н.*

Корректоры: *Черняк-Быховская С. А., Каплева Р. И.*

* * *

Сдано в набор 29/VI 1960 г.

А 10649. Подписано в печать 6/XII 1960 г.

Форм. бум. 60×90^{1/16}-17,25 п. л. В 1 п. л. 37400 зн.

Уч. - изд. л. 16,12. Уч. № 99/4535. Зак. 1057.

Тираж 50 000 экз.

Цена 54 коп.

Набрано в типографии Профтехиздата. Москва, Хохловский пер., 7.
Огпечатано с готового набора в 1-й тип. Трансжелдориздата МПС. Зак. 986.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
54 268	14 снизу 6 и 5 снизу	0,25 а. 1 в следующий высший разряд. Это $1+1=1$ 0 (с переносом в высший разряд).	0,025 а. 1 в следующий высший разряд. Это $1+1=1$ 0 (с переносом в высший разряд).

Цена 54 коп.



Занимательная ЭЛЕКТРОТЕХНИКА