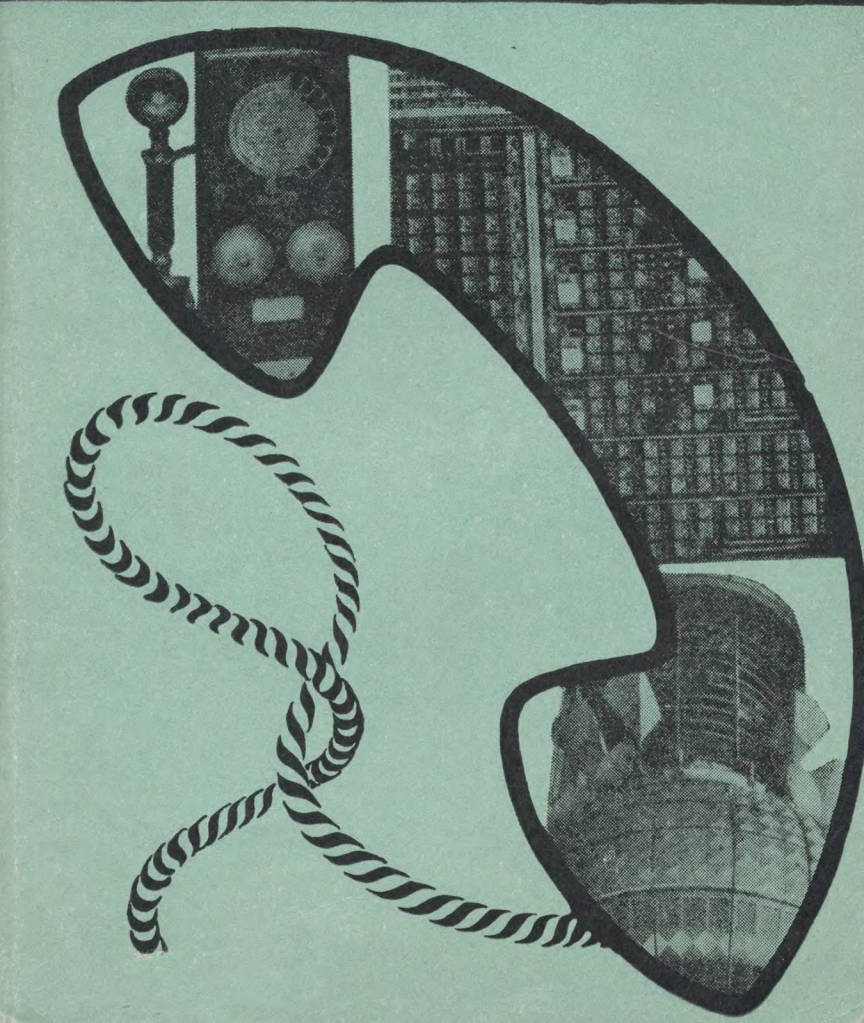
В МИРЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

НТ

К.-Г. РУМПФ

БАРАБАНЫ ТЕЛЕФОН ТРАНЗИСТОРЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИР

KARL-HEINZ RUMPF

TROMMELN, TELEFONE, TRANSISTOREN

VEB VERLAG TECHNIK
BERLIN 1971

КАРЛ-ГЕЙНЦ РУМПФ

БАРАБАНЫ, ТЕЛЕФОН, ТРАНЗИСТОРЫ

Перевод с немецкого
М. Н. Аронэ

Под редакцией и с предисловием
В. В. Маркова

ИЗДАТЕЛЬСТВО „МИР"
МОСКВА 1974

6Ф1
Р86

Румпф К.-Г.

Р86 Барабаны, телефон, транзисторы. Пер. с нем. М. Н. Аронэ. Под ред. и с предисл. В. В. Маркова. М., «Мир», 1974.
232 с. с илл. (В мире науки и техники)

В книге в живой и доступной форме рассказывается о развитии средств связи. Беспроволочная передача звуковых сигналов и знаков, первые телеграфные и телефонные аппараты и станции, первые автоматические телефонные станции на искателях, теоретические основы автоматической электросвязи и их конкретная реализация — вот вопросы, с которыми знакомит читателя автор.

Книга рассчитана на самые широкие круги читателей.

Р $\frac{0361—188}{041(01)—74}$ 6Ф1

Copyright by VEB Verlag Technik, Berlin, 1971

© Перевод на русский язык, «Мир», 1974

Редакция научно-популярной
и научно-фантастической литературы

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА РУССКОГО ПЕРЕВОДА

Успешная деятельность современного человеческого общества невозможна без научно организованного обмена сообщениями. Причем независимо от того, где приходится работать людям, каков результат их труда и в каком бы масштабе мы ни рассматривали общество (страна, отрасль производства, предприятие и т. д.), обмен сообщениями между людьми остается основой организации их деятельности. Насущная потребность в научной организации обмена сообщениями появилась лишь во второй половине XX столетия. Это можно объяснить следующим:

общение людей стало глобальным — при помощи современных средств связи, в том числе и спутников, мы получили возможность обмениваться не только речевыми, но и телевизионными сообщениями с любой точкой Земли;

быстрое развитие техники позволило намного увеличить интенсивность общения людей — скорость передачи сообщений возросла в сотни и тысячи раз;

существенно увеличился объем передаваемых сообщений — по современной широкополосной линии связи возможна передача фантастического их количества;

в последние десятилетия накоплено огромное количество информации, темпы роста которой непрерывно увеличиваются — современные средства связи обеспечивают быструю ее передачу в места использования;

современное производство настолько усложнилось и развилось, что для управления им необходимо создание автоматизированных систем управления (АСУ), использующих электронные вычислительные машины (ЭВМ); АСУ немыслимы без обмена сообщениями, причем такой обмен происходит не только между людьми, но и между ЭВМ.

Средства связи стали настолько неотъемлемой частью нашего быта, что все мы (за исключением, естественно, специалистов в области телефонии) зачастую замечаем их только тогда, когда они выходят из строя и мы не можем с кем-либо соединиться. Только тут мы вспоминаем (и то чаще всего недобрым словом) людей, трудами которых вошли в нашу жизнь средства связи.

Необходимость в передаче сообщений существовала с древнейших времен. Поэтому и развитие средств для передачи сообщений имеет свою историю. Не задумываясь над тем, каким образом происходит соединение по телефону или как передается поздравительная телеграмма, мы зачастую не знаем не только исторического пути, но и современных тенденций развития средств связи, а потому не всегда можем правильно оценить роль этих средств в нашей жизни.

Предлагаемая вниманию читателей книга, написанная специалистом из ГДР К.-Г. Румпфом, в популярной форме знакомит с историей и современным состоянием техники связи. Это книга о средствах связи, причем, если быть более точным, о средствах проводной (телефонной и телеграфной) связи, а также о методах и способах коммутации каналов связи. Автор почти не говорит о каналах передачи на большие расстояния, рассматривая лишь обычные телефонный и коаксиальный кабели, и лишь слегка касается современных методов и средств уплотнения линий связи.

Недостаточное внимание к системам передачи сообщений на большие расстояния объясняется, по-видимому, двумя причинами. Прежде всего, автор книги является специалистом в области телефонной связи и коммутации. Кроме того, в Германской Демократической Республике, где живет и работает автор, нет необходимости в передаче сообщений на значительные расстояния (за исключением международных линий). По меньшей мере экономически неоправданной выглядела бы система связи через искусственный спутник Земли — например, между Берлином и Лейпцигом, в то время как такая спутниковая система связи между Москвой и Владивостоком весьма целесообразна.

Поэтому, читая предлагаемую книгу, следует помнить, что, кроме тех средств связи, о которых в ней достаточно доходчиво говорится, в современную систему связи входят и собственно линии связи. Кроме многожильного и коаксиального кабелей, существуют радиорелейные линии прямой видимости, дальние тропосферные радиорелейные линии, спутниковые линии связи, коротковолновые и др. линии. Кроме того, упомянутый в книге коаксиальный кабель по существу представляет собой лишь элемент коаксиальной линии

связи, содержащей, помимо собственно кабеля, усилительные пункты, систему их дистанционного питания, а также аппаратуру частотного уплотнения. Именно по таким кабелям работает в Советском Союзе система высокочастотного телефонирования типа К-1920 на 1920 телефонных каналов или 300 телефонных каналов совместно с передачей телевизионного сигнала и сигналов звукового сопровождения. Усилительные пункты в такой системе расположены через каждые 6 км. В настоящее время разрабатываются коаксиальные линии связи, содержащие до 10 800 телефонных каналов. Подводные коаксиальные линии связи имеют усилители непосредственно в кабеле. Они обладают высокой пропускной способностью; так, введенная в 1970 г. кабельная линия ТАТ-5 протяженностью 6400 км, которая соединила Испанию и США, рассчитана на передачу по 720 телефонным каналам.

В настоящее время в ряде стран созданы опытные линии связи, использующие волноводы — металлические трубы круглого поперечного сечения, по которым сообщения передаются на миллиметровых волнах. Такие волноводы можно использовать для передачи по 200 000 телефонным каналам или для передачи сигналов 200 телевизионных программ. Еще выше пропускная способность оптических систем связи, работающих на видимых волнах (длина волны 0,3÷0,5 мк).

Однако создание двух последних систем передачи сообщений связано с определенными трудностями, которые пока еще не удалось полностью преодолеть. В какой-то мере это компенсируется широким применением радиорелейных линий прямой видимости и спутниковых линий связи.

В радиорелейных линиях используется диапазон ультракоротких волн. Распространение радиоволн в этом диапазоне в основном происходит в пределах прямой видимости. В зависимости от высоты установки антенны и характера местности она составляет 40—60 км. Для увеличения дальности передач в таких линиях применяется ретрансляция (переприем) сигналов на промежуточных станциях. Несмотря на увеличивающуюся при этом сложность всей системы с помощью радиорелейных линий перекрываются расстояния в тысячи километров. Количество телефонных каналов в

таких линиях доходит до нескольких тысяч; соответственно может быть передано несколько телевизионных программ с сигналами звукового сопровождения.

Спутниковая линия связи по существу представляет собой радиорелейную линию с одним ретранслятором, установленным на спутнике. В современных системах спутниковой связи чаще всего используются так называемые геостационарные орбиты (круговая орбита в плоскости экватора высотой 36 000 км) — спутник, находящийся на такой орбите и вращающийся в одном направлении с Землей, наблюдателю с Земли кажется неподвижным. Спутниковые линии позволяют перекрывать значительные расстояния (для геостационарного спутника до 18 000 км). Объем передаваемых через них сообщений такой же, как и через радиорелейные линии прямой видимости.

Различные виды линий связи, не исключающие, а дополняющие друг друга, аппаратура уплотнения и коммутации, а также оконечная аппаратура (телефонные и телеграфные аппараты и др.) объединяются в государственную систему связи. Автор упоминает в книге о системе связи, создаваемой в ГДР. В нашей стране также создается единая автоматизированная система связи (ЕАСС). Эта система предусматривает строительство на территории страны первичной сети магистральной связи (кабельной, радиорелейной, спутниковой). В свою очередь первичная сеть служит основой для создания вторичных сетей, отличающихся типом используемых каналов. Вторичная автоматически коммутируемая междугородная телефонная сеть предусматривает наличие автоматических междугородных телефонных станций (АМТС), являющихся оконечными станциями этой сети. Через них должны осуществляться соединения с зоновыми сетями. В зоновые сети входят областные, городские и сельские цепи и т. д. Даже не зная подробностей создаваемой системы связи, вы, должно быть, уже поняли, сколь технически сложное хозяйство она собой представляет.

Мы надеемся, что предлагаемая книга поможет вам познакомиться с историей, современным состоянием и перспективами одной из важных областей техники.

В. Марков

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лавина засыпала санаторий в Альпах, в Перу произошло землетрясение — такого рода тревожные известия благодаря радио, телевидению, телеграфу тут же разносятся по всему миру. Но не в них приметы нашего века: благодаря средствам связи мы узнаем, как человек покоряет природу, обуздывает и заставляет работать на себя воды Ангары и Енисея, с помощью турбобуров проникает на полтора десятка километров в толщу земной коры или воздвигает сооружения, на полукилометровую высоту возносящиеся к небу. Мы с волнением следим за борьбой за гражданские права американских негров и за первыми шагами человека в космосе. Кроме того, современная техника связи доставляет нам множество приятных минут: мы становимся свидетелями интересных событий, захватывающих спортивных состязаний, встреч, концертов.

Вы можете побеседовать с коллегой, если даже он не рядом с вами, а за океаном; вы нажимаете клавиши телеграфного аппарата и не удивляетесь, что на расстоянии сотен или даже тысяч километров от вас типовое колесо приемного аппарата воспроизводит вашу мысль на бумажной ленте; мы уже привыкли к тому, что спутники связи передают нам картины событий, которые разыгрываются в этот момент на других континентах и т. п.

А как было прежде? У человечества никогда не было недостатка в стихийных бедствиях и исторических катаклизмах, но сведения о них доползали весьма медленно. Так, например, об опустошительном землетрясении, которое произошло в Лиссабоне в 1775 г. и унесло множество человеческих жизней, наши предки узнали много времени спустя из уст случайных путешественников и странствующих купцов.

Человечество прошло долгий путь от устной передачи сообщений к технике электрической связи, которая позволяет протянуть живую нить человеческого общения между любыми пунктами на Земле, связать нашу планету с космосом.

В наш век становится явью давняя мечта человека — живая связь между людьми, разделенными пространством и временем. Больше того, уже сегодня

электронная вычислительная машина способна за тысячи километров принять информацию и, переработав ее, послать обратно соответствующие команды.

Автор стремился в этой книге познакомить вас с техникой электрической связи. Если, прочитав ее, вы получите некоторое представление о предмете, а может быть, даже в какой-то мере приобщитесь к решению грандиозной по величию и красоте задаче — позволить людям обмениваться мыслями через страны и континенты, — то автор будет считать, что цель его книги достигнута.

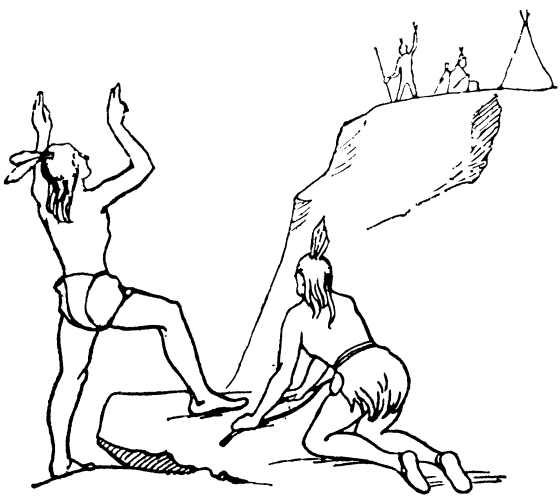
Карл-Гейнц Румпф

БАРАБАНЫ И КОСТРЫ

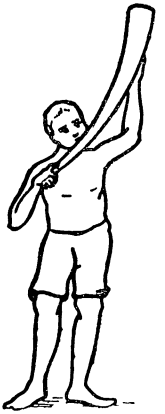
С древнейших времен звук и свет служили людям для передачи сообщений на дальние расстояния.

Звук — основа нашего речевого общения. Но если расстояние между собеседниками велико и силы голоса не хватает, требуются вспомогательные средства.

В Древнем Китае важные сообщения передавали с помощью разнообразных гонгов, а коренные жители Африки и Америки пользовались барабанами. Мерный гул тамтамов неизменно сопровождал экспедиции по исследованию черного континента: племена предупреждали друг друга о приближении и намерениях



В доисторические времена люди объяснялись на расстоянии с помощью условных знаков.

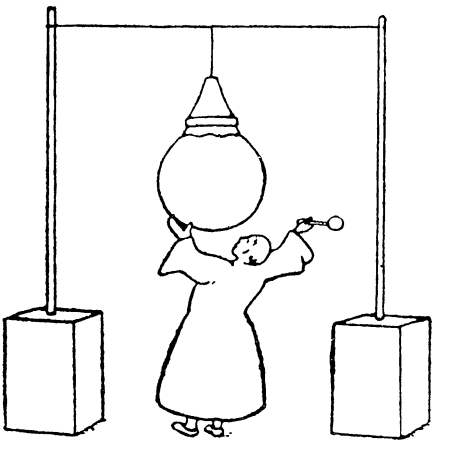


Многие племена созывали воинов звуками рога или боевой трубы.

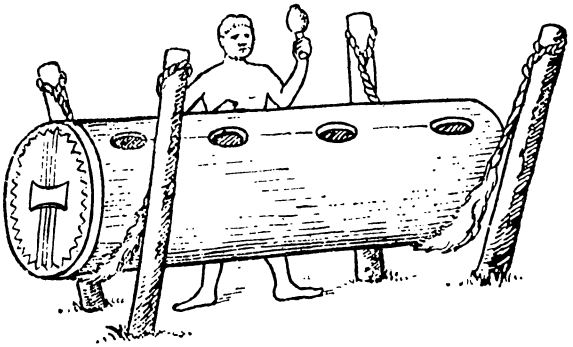
пришельцев. И даже сегодня, когда развивающиеся народы Африки успешно овладевают современными средствами связи, барабан все еще не утратил своего значения. На железнодорожном транспорте и по сей день, когда требуется экстренно остановить поезд, тоже используют звуковые сигналы: на рельсы на небольшом расстоянии друг от друга кладут три петарды, которые с шумом взрываются под колесами.

С незапамятных времен в качестве носителя информации применяется и свет. До нас дошла легенда трехтысячелетней давности о том, как огни костров, зажженных на вершинах гор, в ту же ночь донесли Клитемнестре, супруге Агамемнона, предводителя греков в Троянской войне, весть о падении Трои. За 250 лет до нашего летосчисления в походах Ганнибала сигнальные огни уже не были чем-то необычным, и даже сегодня, в наш технический век, мы не можем от них отказаться.

Каким бы видом транспорта ни пользовался житель современного города — наземным или подземным, —



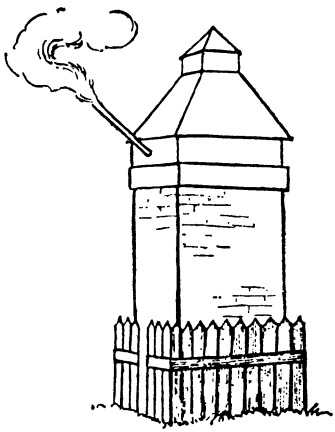
В Древнем Китае новости передавались с помощью гонга.



Барабаны индейцев племени тукано (Южная Америка) очень многозвучны, с их помощью можно передавать сообщения и о вторжении врага, и о прибытии корабля, и об удачной охоте.

он во власти «сигнальных огней» светофора. Конечно, сегодня зажечь такой «сигнальный огонь» — дело несложное, но так ли уж далеки современные светосигнальные устройства, регулирующие движение метро и наземных транспортных потоков, от огней, которые возвестили о падении Трои?

Звук и свет были и остаются важными средствами передачи информации. В 1793 г. Клод Шапп изобрел устройство, в котором три подвижных бруса крепились на раме таким образом, что, меняя их взаимное расположение, можно было получать видимые издалека фигуры — элементы передаваемых сообщений. Принцип действия этого устройства был положен в основу первой оптической телеграфной линии, сооруженной в 1794 г. в ходе войны Французской республики против Австрии. Более 20 станций связали Париж с



Факелы и «костры тревоги» издавна помогали передавать сообщения на большие расстояния, особенно в периоды смут и войн.

Станция оптической телеграфной линии.

Такие станции имели мачты, на которых сигнальные крылья устанавливались в нужное положение с помощью канатных строп. При определенных навыках один знак за 1 мин удавалось «пропустить» через 14 станций, так что, например, расстояние между Парижем и Страссбургом (423 км) перекрывалось менее чем за 6 мин.

Лиллем (225 км). 15 августа 1794 г. линия впервые продемонстрировала свои возможности: известие о том, что Ле-Кесне снова в руках революционных войск, достигло столицы через час [1].

В окрестностях Берлина, в Потсдаме, есть гора, которая называется Телеграфенберг. Свое название она получила со времен строительства оптической телеграфной линии Берлин — Магдебург — Кёльн — Кобленц, которая вступила в строй в 1832 г. и состояла из 61 станции. В ясную погоду сообщения с одного конца линии на другой передавались за 30 мин. На Телеграфенберг располагалась четвертая станция этой линии.

Попытки использовать для передачи сообщений электричество и его способность быстро распространяться по проводникам предпринимались с давних пор. В 1809 г. немецкий ученый С. Т. Зёммеринг использовал для этой цели разложение воды с помощью электрического тока [2]. В его установке приемное устройство состояло из 35 сосудов с водой, обозначенных соответствующей буквой или цифрой. В каждом сосуде помещалась пара электродов, к которым тянулись провода. Замыкание той или иной цепи через электрическую батарею на передающей станции вызывало выделение пузырьков газа в соответствующем сосуде приемного устройства. Однако, несмотря на то что Зёммеринг значительно усовершенствовал свое изобретение, электрохимический телеграф не получил практического применения из-за чрезвычайно высокой стоимости (требовалось огромное количество проводов) и большой величины рабочего тока.

В 1820 г. датский физик Ганс Х. Эрстед обнаружил, что электрический ток в прямолинейном проводнике,

[1] В том же 1794 г. выдающийся русский механик-изобретатель И. П Кулибин разработал механизм оптического телеграфа, систему передачи сигналов и оригинальный код. Однако царское правительство не воспользовалось изобретением Кулибина и только значительно позже под давлением военно-политических событий приступило к постройке оптического телеграфа, который связал Петербург с Шлиссельбургом (1824 г.), Кронштадтом (1834 г.), Царским Селом (1835 г.) и Гатчиной (1835 г.). Самая длинная в мире (1200 км) линия оптического телеграфа была открыта в 1839 г. между Петербургом и Варшавой. — *Прим. ред*

[2] Впервые электрохимическое телеграфное устройство было построено в 1802 г. испанским инженером Ф. Сальвой. — *Прим. ред.*

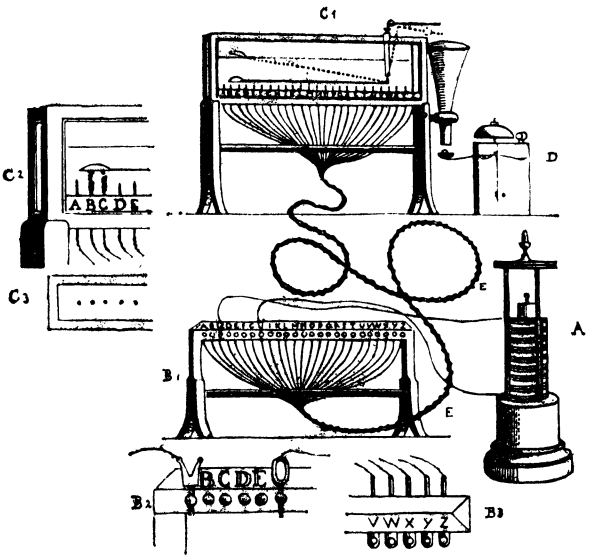


Схема электрохимического телеграфного аппарата С. Зёммеринга (1809 г.).

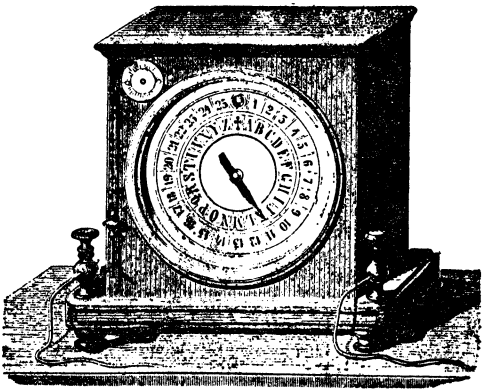
идущем вдоль меридиана, отклоняет от меридиана находящуюся рядом с проводником магнитную стрелку. Это открытие положило начало эпохе электромагнитного телеграфа. В последующие годы отклонение магнитной стрелки было использовано в телеграфных аппаратах разнообразных конструкций.

Ампер и Ритчи предложили телеграфную систему с 30 стрелками и 60 проводами (1820 г.); в разработанной Фехнером (1829 г.) установке применялись 24 стрелки и 48 проводов.

Русскому ученому П. Л. Шиллингу (1832 г.) удалось уменьшить число стрелок и проводов, использовав для представления букв различные комбинации отклонений стрелки в ту или другую сторону[1]. В этом направлении вели работы Гаусс и Вебер (1833 г.) Штейнхель, а также Кук и Уитстон (1837 г.).

---

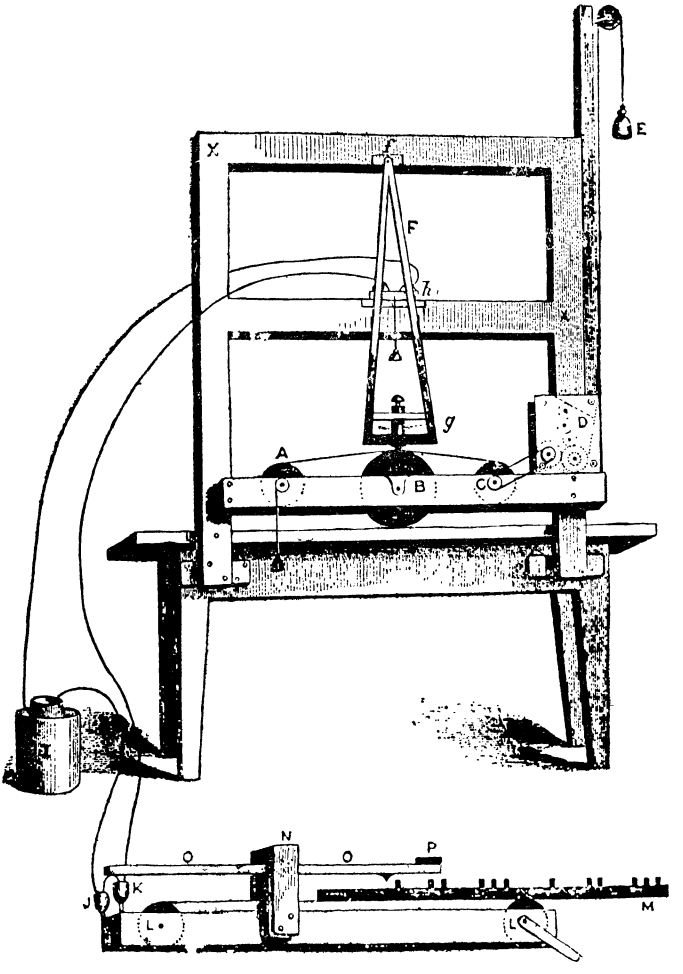
[1] Электромагнитный телеграф Павла Львовича Шиллинга был первым пригодным для эксплуатации устройством этого типа. — *Прим. ред.*



Приемник телеграфного аппарата Уитстона.
Стрелка указывает переданную букву.

В дальнейшем развитии телеграфии большую роль сыграл пишущий телеграфный аппарат, изобретенный в США Самюэлем Морзе (1836 г.) [1]. На передающей станции Морзе применил ключ (ключ Морзе) для замыкания и размыкания цепи постоянного тока. На приемной станции простой пружинный механизм протягивал бумажную ленту мимо пишущего штифта, который при замыкании цепи электромагнита прижимал якорь к бумаге. После кратковременного нажатия на ключ на бумажной ленте оставалась точка, а после более длительного — прочерчивалось тире. Морзе создал код, широко известный ныне как «азбука Морзе», в котором каждый знак (буква, цифра) изображается соответствующей комбинацией точек и тире. Наиболее часто употребимой букве «е» соответствует самая короткая комбинация — одна точка; по мере того как частота повторения буквы в речи уменьшается, число точек и тире в комбинации увеличивается. Интересно, что Морзе, художник по профессии, избрал такие соот-

[1] В России пишущий телеграф был создан русским ученым Б. С. Якоби. Его аппарат был установлен в Петербурге для связи Зимнего дворца с Главным штабом в 1841 г Первую в США линию пишущего телеграфа между Вашингтоном и Балтимором (63 км) С. Морзе ввел в эксплуатацию в 1844 г. — *Прим. ред.*

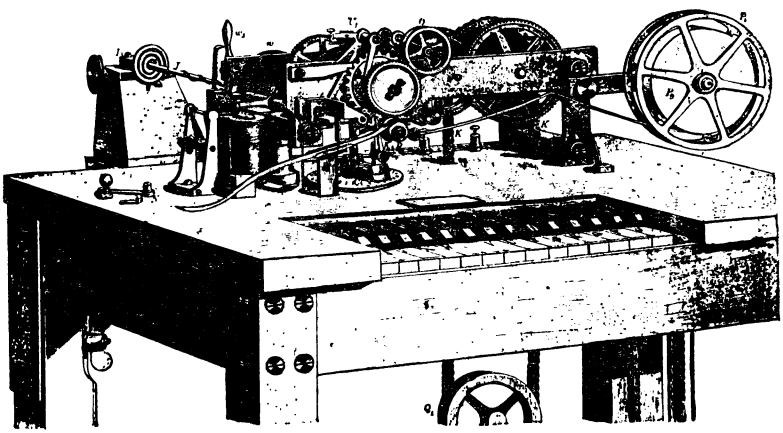


Передатчик и приемник первой опытной модели пищущего телеграфного аппарата Морзе (1837 г.)

ветствия между комбинациями точек и тире и отображаемыми ими символами, что сегодня, опираясь на достижения современной теории информации, мы едва ли сделали бы это лучше. Но к вопросам кодирования мы еще вернемся.

В 1855 г. американскому изобретателю Д. Юзу удалось создать аппарат, в котором вместо кодированных знаков на телеграфной ленте печатались всем понятные буквы алфавита. И еще сегодня мы с удивлением смотрим на клавиатуру телеграфного аппарата французского механика Э. Бодо (1874 г.), на котором передача велась пятизначным кодом. Импульсы, посылаемые передатчиком, управляли на приемной стороне типовым колесом, которое буква за буквой печатало на ленте передаваемый текст.

В следующих разделах книги, когда мы перенесемся уже в XX в., нам предстоит познакомиться с фототелеграфом, изобретенным в 1914 г., с появившимся в 1932 г. аппаратом Хелла и с принципами фототелеграфии. Мы расскажем о том, как с помощью телеграфа и фототелеграфа передаются карты погоды и полосы газет, как по беспроволочному фототелеграфу получают снимки с места событий; мы коснемся и современной



Буквопечатающий телеграфный аппарат Юза.

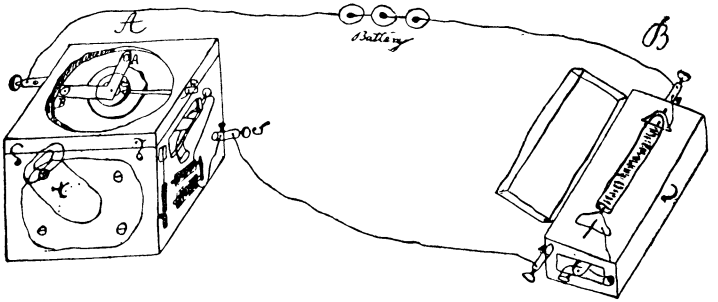
Каждая из 28 клавиш соответствует букве, цифре и знаку препинания. На задней стороне стола помещается печатающее устройство, которое приводится в действие гиревым (60 кг) движущим механизмом.

передачи данных. Это длинный путь — он протянулся через три тысячелетия от костров древней Трои в сегодняшний день. Можно ли предсказать, куда он приведет завтра.

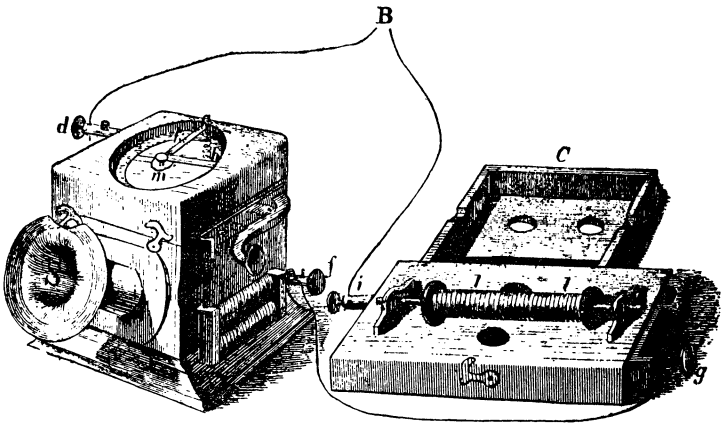
Когда учитель Ф. Рейс в 1861 г. экспериментировал со своим электрическим передатчиком тонов на одной из возвышенностей Фридрихсдорфа близ Хомберга, он и не предполагал, что стоит у истоков открытия, которое теперь, спустя немногим более ста лет, распространилось по всему миру. Об аппарате Рейса тогда писали, что он отчетливо воспроизводит мелодии, но звучание человеческого голоса имеет в нем неприятный носовой тембр. Аппарат восприняли как очень любопытную, но бесполезную техническую новинку. В предложенной форме изобретение практического применения не нашло.

В 1876 г. американский преподаватель школы глухонемых Александр Г. Белл продемонстрировал аппарат, который достаточно точно воспроизводил высоту, силу и звуковую окраску человеческого голоса. 7 марта 1876 г. Белл получил на этот аппарат патент. Физик Э. Грей из Чикаго подал заявку на аналогичное устройство на два часа позже Белла. Экономическое значение этого патента уже тогда было очевидным. Грей, а в конечном счете и правительство США затеяли против Белла судебный процесс. После более 600 (!) слушаний дела за Беллом сохранили права на патент до законного истечения срока.

В Германии первые телефонные аппараты Белла появились в 1877 г. Они вызвали там сенсацию, правда, вначале как интересная техническая игрушка. Поскольку Белл не пользовался в Германии патентной защитой (закон о патентном праве вступил в силу здесь только 1 июля 1877 г.), фирма по производству телеграфной аппаратуры «Сименс унд Гальске», основанная в 1847 г., могла выпускать такие аппараты без ограничений. Сименс усовершенствовал телефон Белла, в частности он заменил брусковые магниты подковообразными. Хотя спрос на телефонные аппараты непрерывно возрастал — началась поистине «телефонная лихорадка», — о коммерческом применении телефона пока речи не было. Новая техническая забава давала лишь пищу юмористическим отделам в газетах.



Эскиз аппарата Рейса, выполненный изобретателем.



Телефон и приемное устройство Рейса.

SCIENTIFIC AMERICAN

A WEEKLY JOURNAL OF PRACTICAL INFORMATION, ART, SCIENCE, MECHANICS, CHEMISTRY, AND MANUFACTURES.

Vol. XXXVII. No. 14. [NEW SERIES.] NEW YORK, OCTOBER 6, 1877. [$3.20 per Annum. [PORTAGE PREPAID.]

THE NEW BELL TELEPHONE.

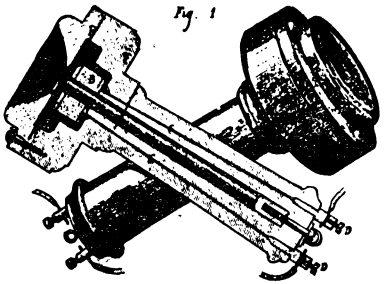
Professor Graham Bell's telephone has of late been somewhat simplified in construction and also arranged in more compact portable form. It consists now of but three metal portions and is contained in a casing of wood or light hard rubber, but five and five eighths inches in length and two and seven eighths inches in diameter at the enlarged end. It will be remembered that this telephone differs from all others in that it involves the use of no battery nor of any extraneous source of electricity whatever. The only current employed is that generated by the voice of the speaker himself.

The simplicity of the construction is clearly shown in Fig. 1 of our engravings, in which both sectional and exterior views of the device are given. Referring to the sectional view, A is a permanent magnet, held by the screw shown in the rear. Around one end of this magnet is wound a coil B of fine insulated copper wire (silk covered), the coils of which are attached to the larger wires C, which extend to the rear and terminate in the binding screws D. In front of the pole and coil B is a soft iron disk, E. Finally the whole is inclosed in a wooden casing having an aperture in front of the disk and which besides serving to protect the magnet, etc., acts somewhat as a resonator.

The principle of the apparatus we have already explained in some detail but it may be summarized here as follows. The influence of the magnet induces all around it a magnetic field and the iron diaphragm, E, is attracted towards the pole. Any alteration in the normal condition of the diaphragm, produces an alteration in the magnetic field by strengthening or weakening it, and any such alteration of the magnetic field causes the induction of a current of electricity in the coil B. The strength of this induced current is dependent upon the amplitude and rate of vibration of the disk and thus depend in turn upon the air disturbance made by the voice in speaking or in any other similar source. Therefore, first, a wave of air throws the diaphragm into vibration; second, such movement produces a change in the magnetic field and third an induced,

[Continued on page 212.]

Fig. 1



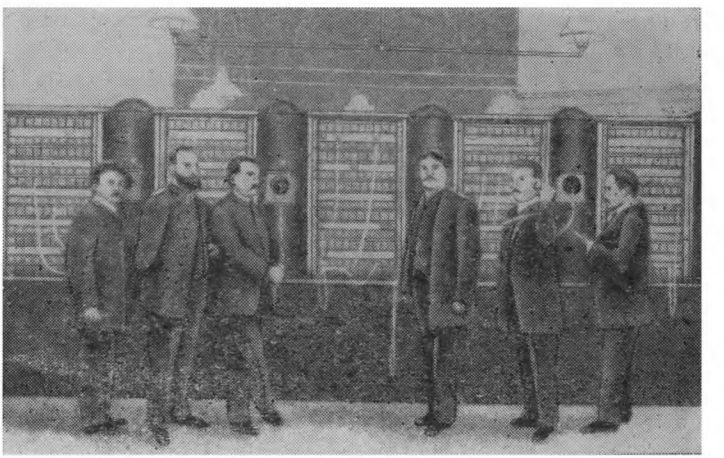
BELL'S NEW TELEPHONE

Первое сообщение о телефоне Г. Белла, опубликованное в американском научно-популярном журнале «Scientific American» от 6 октября 1877 г.

Между тем Белл сразу же после завершения первых опытов по практическому применению своего изобретения основал фирму «Белл телефон компани», а 25 января 1878 г. фирма открыла в Нью-Хейвене (шт. Коннектикут) первую в мире телефонную станцию. На первых коммутаторах этой станции линия каждого абонента имела клапан для сигнализации о поступившем вызове. Если абонент желал связаться с кем-либо, его клапан на коммутаторе откидывался и телефонист (в большинстве своем это были молодые люди в жилетах) отвечал на вызов. Телефонист повторял номер вызываемого абонента и с помощью штепселя, снабженного шнуром с гибкими изолированными проводниками («шнуровой пары») производил нужное соединение.

Один из первых телефонов Сименса (1880—1881 гг.)

В Берлине первая городская телефонная станция открылась в 1881 г. (к тому времени в США уже насчи-



Одна из первых телефонных станций на 50 номеров с вызывными приборами клапанного (бленкерного) типа.

тывалось 20 местных и несколько междугородных телефонных станций). Государственный секретарь лично уговаривал отдельных граждан дать согласие на подключение своих телефонов к станции. Перед шкафами коммутаторов теперь стояли солидные бородатые служащие в великолепных форменных сюртуках...

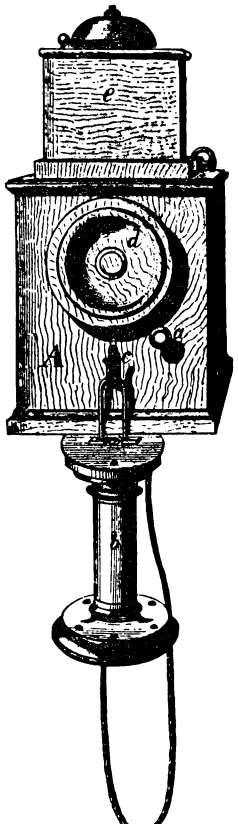
В небольших городах, включение которых в телеграфную сеть не оправдывало себя экономически, правительство распорядилось установить аппаратуру для дальних переговоров, которая позволяла диктовать телеграммы на большие расстояния. Прошло совсем немного времени, и жизнь без телефона представлялась уже невозможной.

Тем временем некий гробовщик из Канзас-Сити стал подозревать, что упадок в его делах связан с «утечкой информации», в которой повинен персонал местного телефонного коммутатора. Чтобы избежать разорительного влияния телефона на свои дела, А. Строуджер (так звали гробовщика) стал размышлять о возможностях автоматизации процесса соединения абонентов и изобрел названный позже его именем искатель, который позволял абоненту осуществлять нужное соединение с помощью номеронабирателя на своем аппарате [1]. В 1892 г. Строуджер основал в Чикаго фирму по производству автоматических телефонных станций, в том же году фирма построила первую экспериментальную АТС в Ла-Порте (шт. Индиана). Новая система получила дальнейшее развитие, и в 1898 г. в Аугусте (шт. Джорджия) в телефонную сеть была уже подключена автоматическая телефонная станция на 400 номеров.

И все же дела фирмы Строуджера шли не блестяще. Это объяснялось не только технической незрелостью ее АТС, но и сопротивлением, оказываемым автоматизации телефонной связи компанией Белла, которая до 1910 г. не придавала этой проблеме должного значения. Однако сотрудникам Строуджера удалось завязать деловые отношения с фирмами, представлявшими другие континенты и страны. Так, германское

[1] Почти одновременно искатель был изобретен нашим соотечественником М. Ф. Фрейденбергом. (См. Известия АН СССР, ОТН, 1950, № 8.) — *Прим. ред.*

ОДИН ИЗ ПЕРВЫХ ТЕЛЕФОННЫХ АППАРАТОВ И ИНСТРУКЦИЯ К ПОЛЬЗОВАНИЮ ИМ



Абонентам предоставляется возможность пользоваться услугами телефонной станции с 8 часов утра до 11 часов вечера.

При разговоре по телефону для лучшего понимания собеседника повышать голос не требуется, слова следует выговаривать отчетливо, не слишком замедляя темп речи.

В состоянии покоя (отсутствие связи) телефонная трубка должна висеть на крючке с — только при этом условии может быть приведен в действие звонок.

В целях быстрого и надежного обслуживания телефонная станция рекомендует абоненту следовать приведенным ниже указаниям.

I. Абонент А желает разговаривать с абонентом В. С этой целью А прежде всего вызывает телефонную станцию, для чего в течение 2—3 с нажимает на кнопку а, затем снимает трубку в с крючка с и прикладывает ее к уху. После ответа «Станция слушает, что угодно?» А просит «соединить его с номером... (называет номер находящегося в списке абонента В). Телефонная станция говорит либо «Вызываю» и предоставляет требуемое соединение, либо «Ваш абонент занят, когда он освободится, вам позвонят». В последнем случае А отвечает, что он понял телефониста и снова вешает трубку на крючок, где она висит до следующего звонка. Когда звонок зазвонит, трубка снимается, снова прикладывается к уху, и абонент уведомляет телефонную станцию о своей готовности словами «Вас слушает...». Телефонная станция сообщает: «Номер... свободен, вызывайте».

А вызывает В при помощи повторного нажатия кнопки, не отнимая при этом трубки от уха. После того как А услышит: «В слушает, кто говорит?», он начинает разговор словами: «Говорит А». Конец отдельных сообщений, фраз, вопросов и т. п. подчеркивается словами: «Пожалуйста, отвечайте» или «Я кончил».

Об окончании разговора А уведомляет станцию, нажимая в последний раз на кнопку а.

II. Вызывают абонента В. После того как зазвонит звонок, В снимает телефонную трубку с крючка и, держа ее возле уха, говорит: «У телефона В, кто говорит?» После этого А называет себя (см. п. I) и начинает разговор.

почтовое ведомство заказало опытную АТС на 400 номеров сначала для Берлина, а потом для Хильдесгейма, где она вошла в строй в 1906 г. Ввод этих АТС в эксплуатацию завоевал технике автоматической связи право на жизнь. Хотя искатели системы Строуджера обладали большими преимуществами, так как были просты и удобны в эксплуатации, они быстро изнашивались и требовали постоянного ухода. Поэтому поиски лучших конструктивных решений для станционных устройств, осуществляющих соединение абонентов, продолжались.

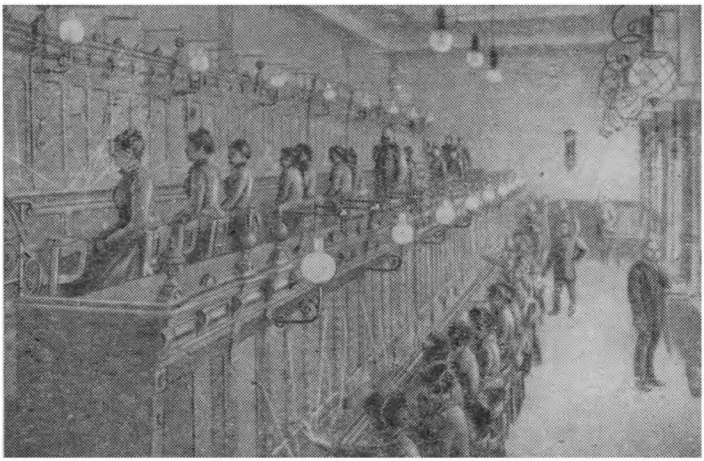
Еще в 1900 г. Бетуландер и Пальмгрен в Швеции начали работать над заменой искателя Строуджера. Новая конструкция получила название координатной системы коммутации. Хотя эти работы непосредственного практического выхода не имели, можно считать, что именно они легли в основу современных координатных систем.

В 1905 г. соотечественник Бетуландера и Пальмгрена Эриксон предложил создать на основе релейных схем так называемые координатные поля — идея, далеко опередившая свое время.

В 1919 г. фирма «Бетуландер компани» уже смогла построить несколько небольших экспериментальных координатных АТС, хорошо зарекомендовавших себя в работе. Однако техника координатной коммутации еще не получила широкого распространения, так как администрация, ведавшая вопросами связи, опасалась, что централизация ее управления может нанести ущерб сохранению служебных тайн. Между тем по случаю 300-летия города Гётеборга, которое праздновалось в 1923 г., там была открыта первая современная координатная АТС. Поэтому именно 1923 г. считается годом ввода в действие системы координатной коммутации.

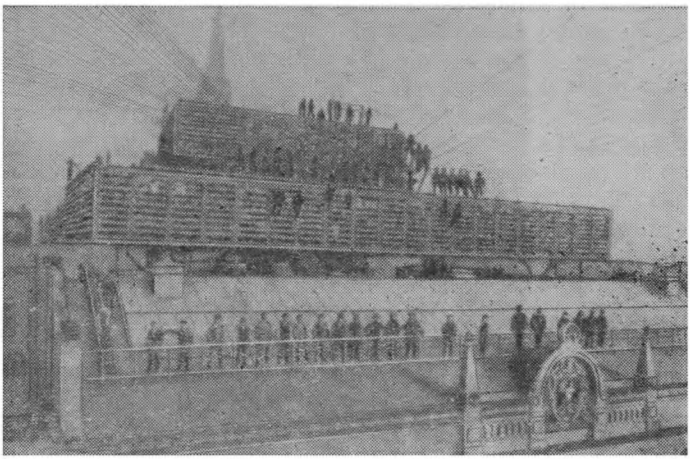
С 1930 г. на основе техники координатной коммутации в Швеции стали строиться центральные АТС. После того как в Мальмё была построена АТС на 40 000 номеров, началось триумфальное шествие координатных систем по всему миру.

Успехи шведов побудили фирму «Белл телефон компани» приступить к собственным разработкам, и в 1938 г. первая координатная АТС вступила в строй и в



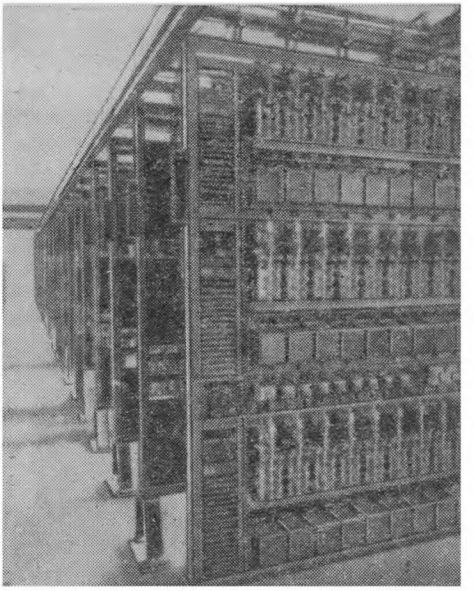
Телефонная станция № 1 в Берлине.

Телефонистки второго ряда располагаются на возвышении, чтобы первый ряд не загораживал им дневной свет.



Система оттяжных штанг на крыше телефонной станции в Гамбурге.

В начальный период развития телефонной связи абонентские и соединительные линии крепились на штангах, расположенных на крышах домов.



Одна из первых телефонных станций, оборудованных искателями.

США. С тех пор применение там координатных АТС непрерывно расширялось.

После второй мировой войны координатная система коммутации получила повсеместное распространение: в 1950 г. она вводится в Финляндии, в 1952 г. — в Голландии, в 1955 г. — в Бразилии, с этого же года она распространяется в странах Азии и в Австралии, а с 1950 г. — в странах Африки. Немалую роль сыграла здесь и продукция Германской Демократической Республики. Разработанная и сделанная в ГДР телефонная аппаратура, в которой применяются декадно-шаговые искатели, пользуется заслуженным спросом не только у себя в стране, но и в СССР, Чехословакии, Польше, Румынии и Венгрии, ее можно встретить в Демократической республике Вьетнам, в Турции, АРЕ.

Ученые и инженеры ГДР разработали электронные устройства и приборы, которые позволили совершить новый качественный скачок в технике коммутации. Но об этом мы поговорим отдельно.

Я снимаю трубку, набираю код Москвы 047, затем номер 224-30-30 и считаю само собой разумеющимся, что мне отвечает коммутатор гостиницы «Украина», а через несколько секунд я слышу голос друга, который проводит свой отпуск в Москве.

От соединений, осуществлявшихся вручную[1], до международной и межконтинентальной систем связи с автоматическим набором расстояние очень велико, и мы все еще не в конце пути. Автор обещал вам очерк об электросвязи, но до сих пор рассказывал — увы, достаточно бегло — только о развитии телеграфии и телефонии. К этой теме относится еще многое: кабельные и проводные линии, методы и средства их оптимального использования и — не в последнюю очередь — узлы и компоненты, из которых состоит аппаратура передачи сообщений,— от давно завоевавшего добрую славу реле до современной твердой схемы. Кое о чем из перечисленного я расскажу в следующих разделах, в том числе об одной из увлекательнейших теорий, на которой основана современная техника связи. Мне придется опустить рассказ о радиовещании и телевидении, которые тоже относятся к электросвязи, но я вынужден это сделать — каждой из этих областей связи можно посвятить по отдельному увесистому тому.

Прежде всего я познакомлю вас с некоторыми сведениями по теории вероятностей. С ее помощью удается рассчитать такие случайные явления, как загрузка телефонных линий или число отказов элементов аппаратуры; без ее понимания нельзя постичь суть других теорий, в частности рассматриваемой ниже теории информации. Я постараюсь не вдаваться слишком глубоко в этот очень интересный, но довольно сложный предмет, а познакомлю вас лишь с основными понятиями теории вероятностей применительно к технике связи. Если я несколько и обременю читателя этими сведениями, то, право, не от желания усложнить для него знакомство со столь увлекательной областью, какой является техника связи, а из-за насущной необходимости.

---

[1] Первых телефонистов в США так и называли switchmen — человек-переключатель. — *Прим. перев.*

ИГРА СЛУЧАЯ

«Ну и встреча!» — невольно восклицаете вы, встретив на залитом со́лнцем морском пляже давно забытого знакомого. Прогуливаясь, вы заглядываете в ближайшее кафе и находите на террасе местечко в тени — вам повезло. Но вот неудача: кончилось моро́женое! Случай, везение, неудача — всегда ли эти слова означают непредвиденные, неожиданные события? Не игрушка ли мы в руках какой-то неведомой силы, воле которой подчиняется наша «судьба»? Конечно, заранее вы не можете точно знать, заболеете ли гриппом во время следующей эпидемии или преодолеете ли — и когда именно — свои финансовые затруднения, но нельзя ли попытаться предвидеть наступление таких событий или оценить их вероятность количественно?

Во все времена находились любители легкой наживы, которые, стремясь мгновенно разбогатеть, пытались оценить случайность в азартных играх, дабы изобрести «беспроигрышную» систему, гарантирующую им беззаботную жизнь. Уже в XVII в. эта проблема занимала многие умы, и еще сегодня не исчезли авантю́ристы, которые ставят на карту все свое состояние (и в большинстве случаев теряют его) в надежде сорвать банк в Монте-Карло. Мы тоже займемся азартными играми, но не для того, чтобы быстро разбогатеть (если бы это действительно помогало, то кое-кто, наверное, только с этой целью и изучал бы математику), а для того, чтобы познакомиться с «игрой случая» — с закономерностями, которые позволяют предвидеть и рассчитывать, казалось бы, не поддающиеся расчету случайные события. Постигнув все это, вы едва ли быстро разбогатеете, но, безусловно, повысите уровень своих знаний, а тем самым, возможно, и своего

благосостояния. Особенно важно знать закономерности, которым подчинены случайные события в технике связи. Мы еще встретимся с этим ниже.

«Может, повезет», —

твердим мы про себя, решаясь попытать счастья в парковом аттракционе с игральной костью (три броска — полмарки) и надеясь получить главный выигрыш. Но, увы, бросить кубик так, чтобы выпало три шестерки подряд, непросто. Попробуем найти закономерности, которым в данных случаях подчиняется случай!

Если вы подбрасываете монету, то она падает на пол либо гербом, либо решеткой кверху. Налицо две возможности, и реализуется либо одна, либо другая из них. Предсказать, какая сторона монеты выпадет при следующем броске, мы не можем, следовательно, результат единичного броска есть событие случайное. Но если ту же монету мы будем бросать много раз подряд, скажем 10 000 раз, то обнаружим, что около 5000 раз выпадает герб и около 5000 — решетка. Если число всех бросков мы обозначим через n, а число бросков с выпадением решетки через m, то отношение m/n будет характеризовать частоту выпадения решетки, а отношение $(n—m)/n$ — частоту выпадения герба. При достаточно больших значениях n как величина m/n, так и величина $(n—m)/n$ приближается к 0,5.

Теперь будем бросать кубик. У нас шесть возможностей (может выпасть 1, 2, 3, 4, 5 или 6 очков), и хотя предсказать, сколько очков выпадет при каждом следующем броске, мы по-прежнему не можем, однако после большого числа бросков мы замечаем, что частота выпадения, скажем, шестерки равна приблизительно $^1/_6$.

Таким образом, результат бросания кубика — выпадение на его верхней грани 1, 2, 3, 4, 5 или 6 очков — тоже событие случайное. Броска, при котором на верхней грани окажется 0 или 7 и более очков, ожидать не приходится. В этом случае говорят, что частота появления такого события равна 0, и называют его *невозможным событием.* Но на верхней грани кубика наверняка выпадет какое-то целое число от 1 до 6, поэто-

му здесь мы можем говорить о *достоверном событии,* которое наступает с частотой, равной 1. И невозможные, и достоверные события относятся к случайным событиям.

Следовательно, вероятность P наступления случайного события E (например, выпадения шестерки) должна лежать между 0 (невозможное событие) и 1 (достоверное событие). Математики выражают это положение с помощью аксиомы:

> *Каждому случайному событию E можно сопоставить число* P (E) *— численную меру объективной возможности этого события, удовлетворяющее неравенству* $0 \leqslant P(E) \leqslant 1$, *это число называется вероятностью P* от *E.*

К этой аксиоме непосредственно примыкает следующая:

> *Вероятность достоверного события равна 1, вероятность невозможного события равна* 0.

Вероятность события E часто выражается в процентах:

$$P(E) = \frac{m}{n} \cdot 100\%.$$

Опытным путем мы установили, что при бросании кубика вероятность выпадения единицы P (E_1), двойки $P(E_2)$ и т. д. до $P(E_6)$ — вероятности выпадения шестерки — в каждом случае составляет 0,1666 или 16,66%, так как наш кубик совершенно симметричен (однороден). Но если на одной из граней кубика высверлить дырку и залить ее свинцом, результат станет иным. Утяжеленная свинцом грань гораздо чаще, чем другие, будет оказываться внизу, а противоположная ей грань, наоборот, будет попадать вниз реже. Правда, при бросании кубика мы по-прежнему могли бы получить все шесть значений очков, но вероятность выпадения грани со свинцом была бы меньше $^1/_6$, а вероятность выпадения противоположной грани — больше $^1/_6$. Но поскольку в наших опытах никто не плутует, мы продолжим их с симметричным кубиком.

После каждого броска на верхней грани кубика оказывается одно и только одно из шести возможных

значений очков от 1 до 6. Таким образом, события E_1,..., E_6 исключают друг друга. В этом случае говорят о *несовместных событиях.*

Чтобы определить, какова вероятность выпадения нечетного числа очков (1, 3 или 5), надо сложить вероятности выпадения единицы $P(E_1)$, тройки $P(E_3)$ и пятерки $P(E_5)$:

$$P(E_{\text{нечетн}}) = P(E_1) + P(E_3) + P(E_5) =$$
$$= {}^1/_6 + {}^1/_6 + {}^1/_6 = {}^1/_2.$$

Результат очевиден, поскольку число четных (2, 4, 6) и число нечетных (1, 3, 5) очков одинаково, иными словами, число возможных событий разделяется на две равные группы (вспомните о двух сторонах монеты!).

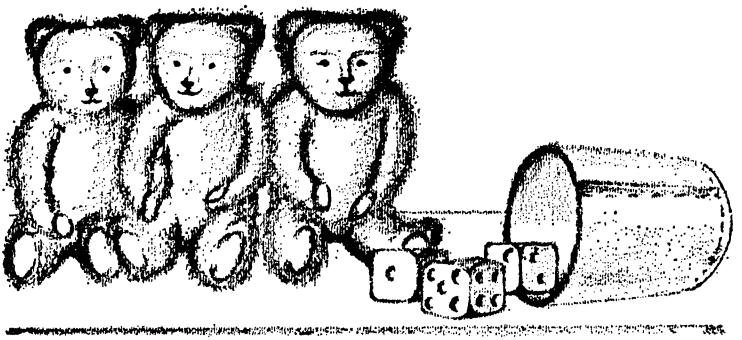
А теперь снова предоставим слово математикам, которые сформулировали *теорему сложения вероятностей:*

> *Вероятность наступления какого-либо события E, возникающего в результате осуществления суммы несовместных событий, равна сумме вероятностей наступления отдельных событий:*

$$P(E_1 \text{ или } E_2 \text{ или } E_3 \ldots) = P(E_1) + P(E_2) + P(E_3) \ldots$$

Осмыслим все это снова. Пусть из хорошо перемешанной для игры в скат колоды карт — по 8 карт (от семерки до туза) каждой масти — вы должны вытащить вполне определенную карту (какую именно — не существенно). Вероятность того, что вы действительно вытащите желаемую карту, равна ${}^1/_{32}$. Если вам нужен валет, то вероятность этого события, согласно теореме сложения, равна ${}^4/_{32}$ или ${}^1/_8$, поскольку в колоде 4 валета. Ваши шансы вытащить карту черной масти значительно выше, так как в колоде 16 карт черной масти (все трефы и пики), следовательно, по теореме сложения эта вероятность составляет ${}^{16}/_{32}$ или ${}^1/_2$.

Если же вам нужен валет или какая-либо карта черной масти, то вероятность такого события составит ${}^1/_8$ (для валета) + ${}^1/_2$ (для черной масти) = ${}^5/_8$. Заметили ли вы, что я вас только что ввел в заблуждение? Случайные события «вытащить валета» и «вытащить карту черной масти» не исключают друг друга, поскольку имеется не 20 карт (4 валета и 16 карт черной



масти), а только 18 (валет треф, валет пик, оставшиеся два валета и 14 карт черной масти), которые удовлетворяют поставленным выше условиям. Поэтому искомая вероятность составляет не $^{20}/_{32} = {}^{10}/_{16}$, а всего лишь $^{18}/_{32} = {}^{9}/_{16}$. К сожалению, на практике не всегда легко распознать, исключают ли случайные события друг друга на самом деле!

Если мы начнем экспериментировать с двумя кубиками (или будем бросать один и тот же кубик два раза подряд), то у каждого из двух кубиков (или при каждом броске одного кубика) может выпасть 1, 2, 3, 4, 5 или 6 очков независимо от того, что выпадало на другом кубике (или при другом броске). Поэтому мы говорим здесь о *независимых событиях*. Если, например, на первом кубике выпала единица, то на втором кубике на верхней грани может оказаться 1, 2, 3, 4, 5 или 6 очков. Точно так же, если при первом броске выпала двойка или тройка, то при втором броске может выпасть 1, 2, 3, 4, 5 или 6 очков. Итак, имеется 36 различных событий. Если теперь взять третий кубик (или три раза подряд бросать один и тот же кубик), то упомянутые 36 событий могут сочетаться с последующими шестью событиями, то есть выпадением 1, 2, 3, 4, 5 или 6 очков на третьем кубике (или при третьем броске). Число событий составит теперь $6 \cdot 6 \cdot 6 = 216$.

Используя и далее все тот же однородный кубик с вероятностью выпадения одного из шести возможных значений числа очков, равной 0,166, произведем три броска A, B и C. Чтобы определить вероятность $P(A_6$ и B_6 и $C_6)$ того, что при каждом броске выпадет

шестерка, следует перемножить вероятности выпадения шестерки при первом $P(A_6)$, втором $P(B_6)$ и третьем бросках $P(C_6)$:

$$P(A_6 \text{ и } B_6 \text{ и } C_6) = P(A_6) \cdot P(B_6) \cdot P(C_6) = {}^1/_6 \cdot {}^1/_6 \cdot {}^1/_6 = {}^1/_{216}.$$

Математики, исследующие закономерности случайных событий, обобщили все это в форме *теоремы умножения вероятностей* для независимых событий:

Вероятность совпадения двух или более независимых событий E равна произведению вероятностей наступления каждого отдельного события:

$$P(E_1 \text{ и } E_2 \text{ и } E_3 \ldots) = P(E_1) \cdot P(E_2) \cdot P(E_3) \ldots$$

Вооружившись только что приобретенными сведениями, попытаем счастья в аттракционе с кубиком. Главный выигрыш — медвежонок ценой в 10 марок — достанется нам, если мы выбросим три раза по три шестерки. Однако, прежде чем достать кошелек, попытаемся сделать простой подсчет. Вероятность выпадения трех шестерок подряд мы уже определили — она равна ${}^1/_{216}$. Таким образом, чтобы получить главный выигрыш, надо в *среднем* сделать 216 бросков. Так как каждые три броска стоят 0,5 марки, то для получения главного выигрыша мы должны потратить (опять в среднем) $(216 \cdot 0{,}5)/3 = 36$ марок. Не правда ли, дороговатый медвежонок?

Конечно, может случиться, что при двух или трех следующих друг за другом бросках будут выиграны два или даже три медвежонка, однако, поскольку эти выигрыши являются независимыми, вероятность их подчиняется теореме умножения вероятностей для независимых событий.

Вероятность выиграть двух медвежат при двух следующих друг за другом попытках составляет

$$\frac{1}{216} \cdot \frac{1}{216} = \frac{1}{46\,656},$$

а вероятность выиграть трех медвежат в трех последовательных попытках —

$$\frac{1}{216} \cdot \frac{1}{216} \cdot \frac{1}{216} = \frac{1}{10\,077\,696}.$$

Если считать, что аттракцион открыт круглый год по 50 часов в неделю и каждую минуту делается три броска, то, чтобы выиграть трех медвежат подряд, потребуется в среднем более 20 лет. Два медвежонка подряд при тех же условиях выигрывались бы несравненно «чаще» — в среднем раз в пять недель.

Нам известно, что вероятность выиграть двух медвежат подряд (за две последовательные попытки) составляет $^1/_{46656}$. А какова вероятность выиграть второго медвежонка при второй попытке, если первого медвежонка мы уже выиграли? Попробуем ответить на этот вопрос в более общей форме.

Бросая кубик, мы исходили из того, что условия, при которых проводились наши эксперименты, не изменяются: *во всех случаях* мы имели дело с симметричным однородным кубиком. Конечно, можно было пользоваться и кубиком, утяжеленным с одной стороны свинцом, но тогда мы во всех случаях должны были бы исходить из того, что результаты бросания кубика неравновероятны вследствие большей тяжести одной из его граней.

Теперь займемся, однако, нашей задачей определения вероятности $P(A)$ наступления события A (выигрыш второго медвежонка) при условии, что событие B (выигрыш первого медвежонка), наступление которого определяется вероятностью $P(B)$, уже осуществилось. Мы ищем, таким образом, *условную вероятность*, которую обозначим $P(A|B)$. Это выражение читается так: вероятность P события A при наличии B (при условии, что событие B уже наступило).

Теперь начнем все сначала. Будем бросать наш кубик часто, очень часто, скажем, n раз. Число бросков, при котором реализуется событие B (выигрыш медвежонка), при этом будет равно m. Таким образом, частота события B составит m/n. (Для этой величины в нашей игре на медвежат мы нашли значение, равное $^1/_{216}$.)

В k случаях из m, при которых наступает событие B, имеет место еще и событие A (то есть выигрыш второго медвежонка при следующем броске кубика). Очевидно, что $k \leqslant m$; для частоты события AB мы должны принять число k/n. В нашем примере $k/n = {}^1/_{46\,656}$.

Частота наступления события A при условии, что

событие B уже наступило, дается отношением k/m, поскольку в m случаях имеет место событие B, а в k случаях совершается еще и событие A.

Из соотношения

$$\frac{k}{m} = \frac{k}{n} : \frac{m}{n}$$

для нашего примера получим

$$\frac{k}{m} = \frac{1}{46\,656} : \frac{216}{46\,656} = \frac{1}{216}.$$

Итак, вероятность того, что после выигрыша первого медвежонка вы следующим броском выиграете второго, равна $^1/_{216}$.

Теперь снова дадим слово математикам:

Вероятность наступления события A при условии, что событие B уже наступило, равна отношению вероятности наступления события AB к вероятности события B:

$$\mathrm{P}(A \mid B) = \frac{\mathrm{P}(AB)}{\mathrm{P}(B)}.$$

Ну вот, вы можете гордиться собой, если при первом или повторном внимательном чтении во всем разобрались. Полученные знания вы можете применить не только в игре. В частности, теперь вам не составит труда понять, что соединения многочисленных абонентов телефонной сети между собой также подчинены законам случая.

Для вас не случайно, что в 10.58 утра вы снимаете телефонную трубку, чтобы сделать заказ на продукты, точно так же как для меня не случайно, что в 11.03 я снимаю трубку, чтобы обсудить по телефону редко встречающийся термин. Но для телефонной станции одновременное снятие наших трубок — событие случайное. Наши телефонные разговоры, как легко заметить, — события, друг от друга не зависимые. Однако в технике телефонной связи такие события должны заранее рассчитываться. И здесь не обойтись без теории вероятностей. Знакомясь в дальнейшем с теорией информации, мы снова столкнемся с понятием условной вероятности, когда, например, будем обсуждать воп-

рос о том, какова в немецком языке вероятность появления после буквы «q» буквы «u».

Но прежде чем мы начнем пожинать плоды своего труда, коснемся еще комбинаторики!

Выиграем ли мы на этот раз?

В ГДР уже более десяти лет играют в цифровое лото [1], но, к сожалению, как-то так получается, что в коллективе, где я работаю, мы всегда выбираем не те числа! При 50 попытках, которые делают еженедельно мои сослуживцы, кто-нибудь уже давно должен был бы вытащить «счастливую пятерку» или по меньшей мере «счастливую четверку» чисел!

Если наши познания позволили нам оценить вероятности мелких выигрышей, то нельзя ли их использовать и для оценки выигрышей более крупных?

Чтобы выяснить это, мы должны заняться *комбинаторикой.* С ее помощью мы сможем не только узнать, сколькими способами можно выбрать пять различных чисел из 90 различных чисел и сколько существует различных вариантов партий игры в скат, но и ответить на многие более серьезные вопросы.

Комбинаторика имеет дело с объектами (например, это могут быть карты для игры в скат), числами (скажем, с числами, встречающимися в игре в лото), буквами, опытами и т. д., которые принято называть *элементами* и обозначать цифрами или буквами.

Пронумеруем карты для игры в скат цифрами от 1 до 32 и постараемся подсчитать, сколькими различными способами их можно сгруппировать или — на языке математиков — какое количество перестановок можно составить из данных 32 элементов.

При *одном* элементе возможна лишь одна «перестановка»: мы обозначаем ее просто 1, никаких элементов ни перед этой единицей, ни после нее, естественно, нет. При *двух* элементах мы найдем две перестановки: 1—2 и 2—1; при *трех* — 6 перестановок: 1—2—3, 1—3—2, 2—1—3, 2—3—1, 3—1—2, а также 3—2—1. *Четыре* элемента позволяют составить 24 раз-

---

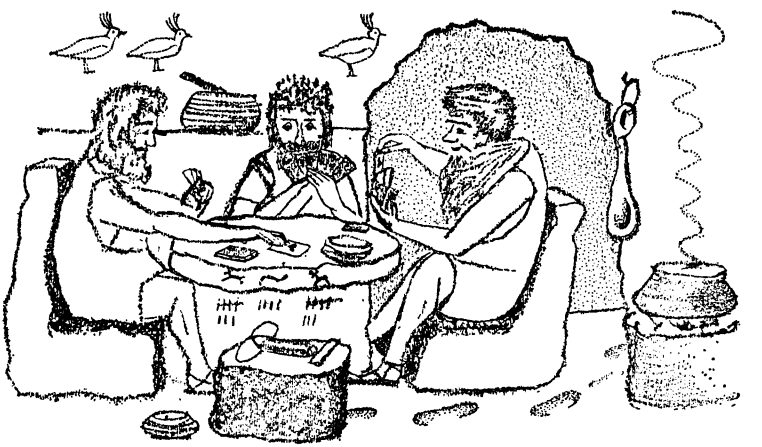
[1] Игра, сходная с нашим спортлото. Из 90 различных чисел следует выбрать 5 различных чисел — *Прим. перев.*

личных перестановки — попробуйте, пожалуйста, отыскать их сами!

Теперь попытаемся вывести закономерность. При наличии *двух* элементов первым может стоять каждый из них, поэтому имеются всего две перестановки. При *трех* элементах также каждый из них может быть первым — вот уже три перестановки. Но поскольку в каждом из этих случаев два последующих элемента могут быть поставлены двумя способами, всего получим $3 \cdot 2 = 6$ перестановок. При *четырех* элементах каждый из них может быть первым — отсюда получаем четыре перестановки. Три последующие цифры, как мы только что подсчитали, могут быть расставлены шестью способами. Всего, таким образом, будет $4 \cdot 6$ или $4 \cdot 3 \cdot 2 = 24$ перестановки.

Продолжая рассуждать подобным образом, нетрудно прийти к выводу, что при наличии n элементов их можно сгруппировать $n \cdot (n-1) \cdot \ldots \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1$ различными способами. Таким образом, число перестановок n различных элементов составляет $1 \cdot 2 \cdot 3 \ldots (n-1) \cdot n = n!$ (читается n-факториал).

Следовательно, 32 карты для игры в скат можно сгруппировать 32! различными способами. Это число, однако, не соответствует числу возможных комбинаций карт, поскольку каждый из трех игроков получает 10 карт и 2 карты идут в прикуп. Последовательность,



в которой вы получаете ваши 10 карт, для вас безразлична — ведь вы их распределяете согласно собственному плану игры. Так же безразлична эта последовательность и для ваших партнеров, равно как безразличен для всех порядок следования карт, образующих прикуп (скат).

Таким образом число возможных комбинаций карт мы можем подсчитать:

$$\frac{32!}{10!\ 10!\ 10!\ 2!}.$$

Подсчет окончательного результата довольно трудоемок, поэтому приведем его сразу: имеется 2 753 294 408 504 640 различных вариантов распределения карт. Если бы вы ежедневно играли по 200 партий, чтобы испробовать каждый вариант, вам понадобилось бы 37 716 361 760½ лет. Поскольку один вариант распределения карт позволяет сыграть несколько имеющих смысл партий, то даже при самой быстрой игре нечего и помышлять о том, чтобы перепробовать все варианты. В самом деле, если бы три хороших игрока сели играть одновременно с возникновением нашей Земли, то за 3 млрд. лет они опробовали бы лишь 10% возможных вариантов распределения карт!

Однако вернемся снова к лото. Если мы из n элементов (наши 90 чисел) выбираем k элементов (в данном случае 5 чисел, на которые делаем ставку), то говорят, что мы образовали комбинацию k-го порядка. Интересно, сколько всего комбинаций k-го порядка можно составить?

Из n элементов k элементов можно выбрать четырьмя различными способами.

Способ 1. Если из n элементов составлять группы по k элементов, отличающиеся хотя бы одним элементом, то получатся *сочетания без повторений.* Например, если из пяти элементов a, b, c, d, e ($n=5$) мы хотим отобрать по 2 элемента ($k=2$), то нам представятся следующие возможности:

ab			
ac	*bc*		
ad	*bd*	*cd*	
ae	*be*	*ce*	*de.*

Число сочетаний C_n^k k-го порядка без повторений подсчитывается по формуле

$$C_n^k = \binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)!\,k!}.$$

Символ $\binom{n}{k}$ читается «k из n» — его значение ясно из предыдущих примеров. В нашем случае при $n=5$ и $k=2$ получим

$$C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!\,k!} = \frac{120}{6 \cdot 2} = 10.$$

Способ 2. Если из n элементов составлять группы по k элементов, в которых могут содержаться и одинаковые элементы, то получатся *сочетания с повторениями*. При $n=5$ (элементы a, b, c, d, e) и $k=2$ получим следующие комбинации:

aa				
ab	*bb*			
ac	*bc*	*cc*		
ad	*bd*	*cd*	*dd*	
ae	*be*	*ce*	*de*	*ee*.

Число сочетаний k-го порядка с повторением ${}^wC_n^k$ из n элементов определяется выражением

$${}^wC_n^k = \binom{n+k-1}{k}.$$

В нашем случае

$${}^wC_n^k = \binom{5+2-1}{2} = \binom{6}{2} = \frac{6!}{4! \cdot 2!} = \frac{720}{24 \cdot 2} = 15.$$

Способ 3. Если из n элементов мы будем выбирать только различные элементы, а комбинации, отличающиеся друг от друга лишь порядком элементов, будем рассматривать как различные, то получим *размещения без повторений*. В нашем примере, где $n=5$ и $k=2$, получим следующие комбинации:

ab	*ba*	*ca*	*da*	*ea*
ac	*bc*	*cb*	*db*	*eb*
ad	*bd*	*cd*	*dc*	*ec*
ae	*be*	*ce*	*de*	*ed*

Число размещений k-го порядка без повторений из n элементов V_n^k определяется выражением

$$V_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}.$$

Для нашего примера

$$V_n^k = \frac{n!}{(n-k)!} = \frac{120}{6} = 20.$$

Способ 4. Если из n элементов составлять комбинации независимо от того, повторяются в них элементы или различаются, причем комбинации считать различными независимо от порядка следования элементов, то получим *размещения с повторениями.*

В нашем случае при $n=5$ и $k=2$ из элементов *a, b, c, d, e* получим следующие комбинации:

aa	*ba*	*ca*	*da*	*ea*
ab	*bb*	*cb*	*db*	*eb*
ac	*bc*	*cc*	*dc*	*ec*
ad	*bd*	*cd*	*dd*	*ed*
ae	*be*	*ce*	*de*	*ee*

Число размещений ${}^wV_n^k$ k-го порядка из n элементов можно найти по следующей формуле:

$${}^wV_n^k = n^k.$$

Проверим ее для нашего примера:

$${}^wV_n^k = 5^2 = 25.$$

Какой же способ надо применить для ответа на вопрос, сколько потребуется составить комбинаций, чтобы в них наверняка оказалась искомая счастливая пятерка чисел? Вы, наверное, уже сами догадались, что это способ 1.

Составляя по этому способу сочетания по 5 элементов ($k=5$) из $n=90$ элементов, получим

$$C_n^k\binom{90}{5} = 43\,949\,268$$

возможных сочетаний. Итак, вам нужно заполнить «только» 43 949 268 билетов, и счастливая пятерка чисел ваша!

Допустим, в неделю вы будете заполнять 50 билетов цифрового лото, тогда, чтобы сделать ставку на каждую возможную комбинацию, вам понадобится немногим более 16 900 лет. Однако пять выигрышных чисел каждую неделю меняются, поэтому даже за 16 900 лет вы можете счастливой пятерки чисел не вытащить.

Но не будем глубже вдаваться в расчеты: удовлетворимся пониманием того, почему за 10 лет участия в игре мы еще ни разу не выиграли. Именно здесь вы вправе спросить меня, как применить все, о чем говорилось, в технике связи? Минутку терпения — вот теперь-то мы к этому и переходим...

Линия свободна!

Вы, желаете переговорить с каким-то городом. Но линия эта еще не автоматизирована, поэтому вы не можете сами набрать нужный номер, а должны сделать заказ через междугородную. Вы набираете 07, междугородная отвечает, и вы делаете заказ. Здесь возможны два случая: телефонистка может сказать либо «Минуточку, соединяю», либо «Ждите вызова». В последнем случае вы должны терпеливо ждать...

Линии дальней телефонной связи дороги. При ручном обслуживании их можно эффективно использовать, предоставляя абонентам один разговор за другим в порядке очередности сделанных заказов. При автоматической междугородной связи абонент сам набирает нужный ему номер. При этом сигнал «занято» должен быть слышен в исключительных случаях, для чего требуется достаточное количество телефонных каналов. Но как определить число необходимых телефонных каналов? Ведь их нехватка приводит к тому, что в часы наибольшей «разговорной нагрузки» при по-

пытке набрать номер вы постоянно слышите непрерывные гудки «занято», в то же время избыточные телефонные каналы экономически не выгодны.

Прежде чем двигаться дальше, поясним два новых понятия: *«пиковая* нагрузка» и «сплошная занятость».

Время пиковой нагрузки — это те часы дня, когда телефонная связь становится наиболее интенсивной. Обычно это около 11 часов утра. Технические сооружения и число каналов связи должны быть рассчитаны таким образом, чтобы обеспечить связь в часы пик с потерями $\leqslant 1\%$. Иными словами, в среднем из 100 вызовов 99 должны удовлетворяться. Однако не секрет, что в телефонной связи потери нередко превышают 1% — это объясняется тем, что во всех развитых промышленных странах темпы роста потребностей в телефонной связи выше средних темпов развития техники. В то же время соответствующие ведомства терпят убытки, так как при наличии нужного количества каналов они «продавали» бы больше телефонных разговоров.

Режим *сплошной занятости* наступает тогда, когда заняты все телефонные каналы данного направления. В этом случае гудки «занято» прослушиваются уже во время набора номера.

Теперь рассмотрим пучок из 10 линий, соединяющих две АТС. Число, которое показывает, какое количество этих линий загружено разговором, есть *величина случайная* (так же, как и число очков при бросании кубика, которое может принимать значения от 1 до 6). Режиму занятости нашего пучка соответствуют 11 значений случайной величины, поскольку занятыми могут быть линии от 1 до 10 или ни одна из них.

Но одного значения случайной величины еще не достаточно — необходимо также знать и вероятность ее появления. Следовательно, мы должны знать *закон распределения* случайных величин. Из экспериментов с кубиком нам известно, что вероятность выпадения того или иного количества очков равна $^1/_6$.

Представляет также интерес величина, называемая математическим *ожиданием,* которая равна сумме произведений всех возможных значений случайной величины на вероятность ее появления. Посмотрим, чему равна эта величина в наших экспериментах с кубиком:

Число очков n	1	2	3	4	5	6
Вероятность P	$1/6$	$1/6$	$1/6$	$1/6$	$1/6$	$1/6$
$n \cdot P$	$1/6$	$1/3$	$1/2$	$2/3$	$5/6$	$1/1$
Ожидание	$3\,1/2$					

Этот пример поясняет, почему математическое ожидание величины называется еще и ее средним значением:

$$\frac{1+2+3+4+5+6}{6} = 3\frac{1}{2}.$$

Обратимся снова к нашему пучку из 10 соединительных линий. В помещенной здесь таблице распределения (табл. 1) даны значения вероятностей занятости пучка $P(x_i)$ для занятости 0, 1, ..., 9, 10 линий. Кроме того, подсчитана и величина ожидания занятости пучка.

Таблица 1

Число занятых линий x	$P(x_i)$	$x_i P(x_i)$
0	0,20	0
1	0,19	0,19
2	0,16	0,32
3	0,13	0,39
4	0,10	0,40
5	0,07	0,35
6	0,05	0,30
7	0,04	0,28
8	0,03	0,24
9	0,02	0,18
10	0,01	0,10
	Ожидание	2,75

Величина ожидания показывает, что в часы наиболее интенсивной нагрузки занято в среднем 2,75 линий (занятость линий измеряется еще в эрлангах, названных по имени А. К. Эрланга, который одним из первых применил теорию вероятностей в технике обслужива-

ния телефонной связи, свои первые работы он опубликовал в 1917 г.). В данном случае занятость характеризуется величиной, равной 2,75 ч или 2,75 Эрл.

На практике, однако, распределение случайной величины неизвестно и величину ожидания также нельзя рассчитать. Поэтому, исходя из интенсивности телефонного обмена в различных направлениях, определяют потери связи для пучка линий заданной емкости или емкость пучка при заданной величине потерь.

Чтобы рассчитать величину потерь для данного пучка (он может снова содержать 10 линий) при заданной интенсивности потока телефонных сообщений, возьмем такой пучок линий, режим занятости которых характеризуется довольно обычной величиной 5 Эрл. Ради простоты допустим, что число абонентов, которые хотят воспользоваться нашим пучком из 10 линий, очень велико и что каждый абонент имеет неограниченный доступ к любой линии пучка, если только она свободна. При этих допущениях мы можем применить в наших расчетах *формулу распределения Эрланга:*

$$P_x = \frac{\frac{A^x}{x!}}{1 + A + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!} + \ldots + \frac{A^n}{n!}}.$$

В этом уравнении приняты следующие обозначения:

P_x — вероятность того, что в пучке занято x линий (в нашем примере x может принимать значения 0, 1, ... 9, 10);

A — заданная для данного пучка интенсивность обмена в эрлангах (в нашем примере мы приняли эту величину равной 5 Эрл;

n — число линий в пучке (в нашем случае $n=10$).

К счастью, нет необходимости рассчитывать все значения вероятностей по приведенной формуле — задачу можно облегчить, применив упрощенное соотношение

$$P_x + 1 = \frac{A}{x+1} P_x.$$

Рассчитаем теперь вероятность того, что в пучке занято 0 линий:

$$P = \frac{\frac{5^0}{0!}}{1 + 5 + \frac{5^2}{2!} + \frac{5^3}{3!} + \ldots + \frac{5^{10}}{10!}} =$$

$$= \frac{\frac{1}{1}}{1 + 5 + \frac{25}{5} + \frac{125}{6} + \frac{625}{24} + \frac{3125}{120} + \frac{15\,625}{720} + \frac{78\,125}{5040} +}$$

$$\frac{\frac{1}{1}}{+ \frac{390\,625}{40\,320} + \frac{1\,953\,125}{362\,880} + \frac{9\,665\,625}{3\,628\,800}} =$$

$$= \frac{1}{1+5+12,5+20,8+26+26+21,7+15,5+9,7+5,4+2,7} =$$

$$= \frac{1}{146,3} = 0,00684.$$

Применяя сокращенную формулу, получим остальные значения вероятностей:

$$P_0 = 0,00684$$

$$P_1 = \frac{5}{1} \cdot 0,00684 = 0,0342$$

$$P_2 = \frac{5}{2} \cdot 0,0342 = 0,0855$$

$$P_3 = \frac{5}{3} \cdot 0,0855 = 0,1425$$

$$P_4 = \frac{5}{4} \cdot 0,1425 = 0,1781$$

$$P_5 = \frac{5}{5} \cdot 0,1781 = 0,1781$$

$$P_6 = \frac{5}{6} \cdot 0,1781 = 0,1484$$

$$P_7 = \frac{5}{7} \cdot 0,1484 = 0,1060$$

$$P_8 = \frac{5}{8} \cdot 0{,}1060 = 0{,}06625$$

$$P_9 = \frac{5}{9} \cdot 0{,}06625 = 0{,}03681$$

$$P_{10} = \frac{5}{10} \cdot 0{,}03681 = 0{,}1840$$

$$\sum_{x=0}^{10} P_x = 1{,}00110$$

Итак, мы рассчитали распределение случайных величин. Как и следовало ожидать, сумма вероятностей равна 1. (Небольшое отклонение вызвано тем, что мы пользовались логарифмической линейкой, но на результат это отклонение не влияет.)

Вычисленные нами вероятности показывают, сколько времени в среднем в течение часа пиковой нагрузки будут заняты линии нашего пучка при данной интенсивности обмена (5 Эрл); пересчитаем значения этих вероятностей в минуты часа пиковой нагрузки:

Число занятых линий	Минуты
0	0,4
1	2,1
2	5,1
3	8,6
4	10,7
5	10,7
6	8,9
7	6,3
8	3,9
9	2,2
10	1,1
Σ	60,0

Только в течение 1,1 мин, или 1,8% часа пиковой нагрузки, все 10 линий нашего пучка будут заняты.

В течение этого времени возникает *опасность* потери связи — в этом случае говорят об *опасном времени.* При принятых нами допущениях (большое число абонентов, полнодоступность) без большой ошибки опасное время и потери связи можно считать эквивалентными величинами. Поэтому распределение Эрланга было дано им в форме, позволяющей непосредственно оценивать величину потерь связи:

$$B = \frac{\frac{A^n}{n!}}{1 + A + \frac{A^2}{2!} + \ldots + \frac{A^n}{n!}}.$$

Проверим, насколько отличается результат, полученный с помощью рекуррентной формулы, от результата прямого подсчета с помощью последнего выражения для B:

$$B = \frac{\frac{5^{10}}{10!}}{146{,}3} = \frac{2{,}7}{146{,}3} = 0{,}0185.$$

Мы видим, что результаты с достаточной точностью совпадают. В час пиковой нагрузки потери связи составляют 1,8%.

На вопрос, какова должна быть емкость пучка линий при заданной интенсивности потока сообщений и заданных потерях связи, применяя такого рода формулы, ответить нельзя. На практике ответ на этот вопрос получают с помощью специальных, заранее рассчитываемых и довольно подробных таблиц.

УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР ЧИСЕЛ ГОТФРИДА ЛЕЙБНИЦА

Великий немецкий математик и философ Готфрид Вильгельм Лейбниц занимался системой счисления, которая содержала всего лишь две цифры: 0 и 1. Пользуясь этими двумя цифрами, он мог производить все вычисления, для которых выдающиеся математики того времени употребляли 10 цифр. Не удивительно, что свой двоичный мир чисел Лейбниц считал неким символом сотворения всего сущего: из ничего (0) путем прибавления единицы (1) возникло, согласно Лейбницу, все. Не разделяя философских взглядов Лейбница, мы не можем не удивляться его труду «Arithmetique binaire», в котором он еще в 1703 г. дал глубокое объяснение двоичной системы счисления, намного опередив свое время. До Лейбница о двоичной системе счисления упоминал в своей работе «Mathesis biceps» епископ Иоган Карамюэль (1670 г.). В 1769 г. в Аугсбурге увидело свет введение в двоичное исчисление Брандера — «Arithmetica binaria».

Однако как расходятся людские мнения: то, что для Лейбница было символом творения, другим казалось доказательством тупоумия:

«До трех считать не может»

Так говорят в народе о глупце. Если эта народная мудрость справедлива, то как ее примирить со способностями электронной вычислительной машины, которая решает самые сложные задачи быстрее и надежнее человека, не умея считать даже до двух?

И действительно, компьютеры и многие другие электронные вычислительные устройства оперируют только нулем и единицей, какие бы сложные задачи они ни решали.

Как же эти устройства выполняют вычисления, обходясь лишь двумя цифрами —0 и 1?

В привычной нам всем *десятичной системе счисления* мы применяем 10 цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Число 10 служит основанием нашей системы и при помощи его степеней образуются старшие разряды. Рассмотрим пример:

$$\begin{array}{cccc} 9 & 1 & 0 & 3 \\ | & | & | & | \\ 9\text{ тысяч} & +\,1\text{ сотня} & +\,0\text{ десятков} & +\,3\text{ единицы} \\ | & | & | & | \\ 9\cdot 10^3 + & 1\cdot 10^2 + & 0\cdot 10^1 + & 3\cdot 10^0 \end{array}$$

Мы видим, что значение цифры от 0 до 9 зависит от ее местоположения (позиции) в десятичном числе. Поскольку вместо громоздкого способа записи чисел с помощью степеней 10 (нижний ряд) мы употребляем более простой и короткий способ, для того чтобы сохранить соответствующие позиции цифр, нам приходится записывать 0 в том месте, где степень 10-ти отсутствует (в нашем примере 0 десятков).

Десятичная система счисления укоренилась, вероятно, потому, что люди (возможно, еще в первобытном обществе) стали считать предметы при помощи своих десяти пальцев. А сегодня мы так привыкли к десятичной системе счисления, что воспринимаем ее как нечто само собой разумеющееся, вполне обычное, совершенно не задумываясь ни над ее происхождением, ни над возможностью создания иных систем счисления.

На самом же деле систем счисления может быть бесконечное множество, поскольку любое целое положительное число может служить основанием системы. Но так ли уж удачен выбор наших предков? Ведь 10 делится без остатка только на 2 и на 5; будь у нас двенадцатеричная система (с основанием 12), оно делилось бы без остатка на 2, 3, 4 и 6. Система счисления с основанием 60 была бы с этой точки зрения еще удобней, так как это основание делилось бы без остатка на 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 и 30. Не случайно в древнем Вавилоне около 4 тыс. лет назад применялась шестидесятеричная система — самая древняя из известных нам позиционных систем счисления.

Для электронных вычислительных устройств ни система счисления с основанием 10, ни системы с основаниями 12 или 60 не являются оптимальными, по-

скольку электронные устройства могут надежно различать только два состояния: «включено» — «выключено», «нет тока» — «есть ток», «малое напряжение» — «большое напряжение». Вот поэтому система, которая оперирует лишь двумя цифрами, 0 и 1, то есть система с основанием 2, или двоичная система счисления, подходит для ЭВМ как нельзя лучше. Чтобы избежать путаницы, мы будем обозначать единицу в двоичной системе символом L, а нуль — символом O [1].

Для нас привычен счет 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, затем мы переходим к двухразрядным числам: 10, 11, 12, 13, ..., 96, 97, 98, 99, затем добавляется еще один разряд: 100, 101, 102 и т. д.

Теперь попробуем проделать то же самое в двоичной системе счисления: O, L — и наш запас цифр исчерпан, поэтому мы должны переходить к следующему разряду LO—LL; снова добавляем разряд LOO — LOL — LLO — LLL; вновь необходимо переходить к следующему разряду LOOO—LOOL—LOLO и т. д. Запишем нагляднее.

Десятичное число	Двоичное число	Двоичное число при подробной записи	
1	L	$1\cdot2^0$	$=1$
2	LO	$1\cdot2^1$	$=2$
3	LL	$1\cdot2^1+1\cdot2^0$	$=2+1$
4	LOO	$1\cdot2^2$	$=4$
5	LOL	$1\cdot2^2+1\cdot2^0$	$=4+1$
6	LLO	$1\cdot2^2+1\cdot2^1$	$=4+2$
7	LLL	$1\cdot2^2+1\cdot2^1+1\cdot2^0$	$=4+2+1$
8	LOOO	$1\cdot2^3$	$=8$
9	LOOL	$1\cdot2^3+1\cdot2^0$	$=8+1$
10	LOLO	$1\cdot2^3+1\cdot2^1$	$=8+2$
11	LOLL	$1\cdot2^3+1\cdot1\cdot2^1+1\cdot2^0$	$=8+2+1$
12	LLOO	$1\cdot2^3+1\cdot2^2$	$=8+4$
13	LLOL	$1\cdot2^3+1\cdot2^2+1\cdot2^0$	$=8+4+1$
14	LLLO	$1\cdot2^3+1\cdot2^2+1\cdot2^1$	$=8+4+2$
15	LLLL	$1\cdot2^3+1\cdot2^2+1\cdot2^1+1\cdot2^0$	$=8+4+2+1$
16	LOOOOO	$1\cdot2^4$	$=16$
и т. д.			

[1] Обычно такое обозначение в литературе не принято, автор ввел его для большей наглядности; тем самым число, написанное

Вы видите, что в двоичной системе счисления счет ведется так же просто (и даже еще проще), чем в десятичной, поскольку мы используем всего две цифры O и L и переход к новому разряду (который удваивается при продвижении справа налево: ...64—32—16—8—4—2—1) с прибавлением L (единицы) к L в предыдущем разряде.

Как же в двоичной системе производятся вычисления? Прежде всего поясним некоторые правила сложения и умножения:

O + O = O	O · O = O
O + L = L	O · L = O
L + O = L	L · O = O
L + L = LO	L · L = L

При сложении мы должны лишь принять во внимание одну особенность, а именно что L+L=LO, так как цифра 2 в двоичной системе отсутствует. Не без удовлетворения мы замечаем, как упростилась таблица умножения.

Теперь попробуем складывать:

LLOL	13	LOLL	11
+ LOL	+ 5	LLO	6
LOOLO	18	LOOL	+ 9
		LO	2
		LLLOO	28

На основании правого примера вряд ли можно сказать, что сложение в двоичной системе проще.

А как обстоит дело с умножением?

LLOL · LOL	13 · 5	LOLL · LLOL	11 · 13
LLOL	65	LOLL	11
OOOO		LOLL	33
LLOL		OOOO	143
LOOOOOL		LOLL	
		LOOOLLLL	

в двоичной системе счисления, вы сразу же отличаете от числа, написанного в десятичной системе (например, LOO от 100). — *Прим. перев.*

Вы видите, что вычисления стали очень простыми, потому что множимое умножается только на О и L. Следовательно, оно либо остается таким же, как было, либо превращается в нуль. Мы должны лишь следить за изменением числа разрядов.

Теперь займемся вычитанием:

LLOL	13	LOLO	10
− LLOO	− 6	− LOL	− 5
LLL	7	LOL	5

Давайте проверим левый пример! Правый столбец: О плюс L равно L; второй столбец справа: L плюс L равно LO—L переносится влево; третий столбец справа: LO (перенос и имеющаяся здесь единица) +L равно LL. Подчеркнутые цифры мы выписываем как результат.

Теперь сами попробуйте решить правый пример.

Приступим к делению:

LLOL : LLO = LO	13 : 6 = 2
LLO	12
Остаток OL	Остаток 1
	11 : 3 = 3
	9
	Остаток 2

Давайте вместе решим верхний пример. Начинаем с того, что первые три цифры делимого LLO будем делить на делитель LLO : LLO : LLO = L. Результат деления записываем в частное. Теперь умножаем этот результат на делитель L·LLO=LLO и записываем результат под тремя левыми цифрами делимого. Вычитаем LLO из LLO и пишем под чертой результат—О. Последнюю цифру L делимого сносим и делим OL: LLO=O. Этот О записываем в частное, в остатке OL. Очевидно, и деление не вызывает никаких затруднений, следует иметь лишь некоторый навык.

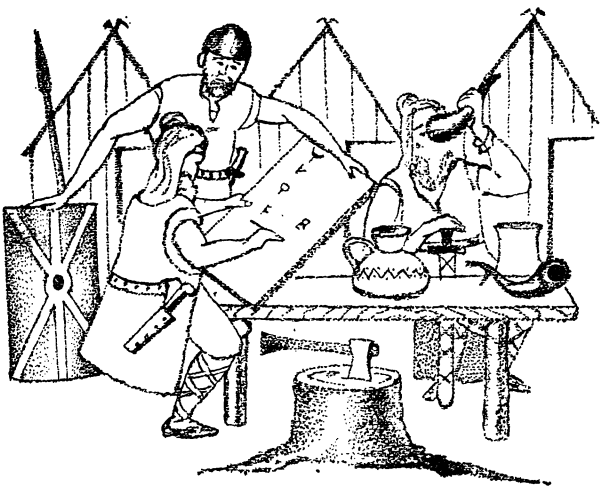
Итак, все арифметические действия можно выполнять и в том случае, когда в вашем распоряжении есть всего две цифры: О и L. Для электронно-вычислительных устройств это удобно потому, что они особенно хорошо различают два состояния, соответствующие

этим цифрам: О — цепь, например, разомкнута и L — цепь замкнута. Для человека вычисления в двоичной системе счисления непривычны и вследствие большого количества требуемых при этом разрядов громоздки. Если бы удалось найти простые способы перехода от десятичной системы счисления к двоичной и наоборот, то это значительно облегчило бы «общение» человека и ЭВМ.

Приносят ли несчастье четные числа?

По преданиям, древние германцы хорошо владели сложением, но не знали умножения. Кроме того, они умели удваивать числа и делить их пополам, правда, последнее удавалось не всегда точно, так как германцы не знали дробей. Но каким образом столь скудные познания в арифметике позволяли им сосчитать, сколько меду надо наварить на год, если каждый из 37 членов одной общины, лежа на медвежьей шкуре, выпивал его 23 литра в год?

Нашлась хитроумная голова, которая предложила такой способ вычислений:



37 · 23

74	11

Левое число удваивается, правое уменьшается вдвое: 37, взятое два раза, составлет 74; 23, деленное на 2, приближенно равно 11 (12—слишком много, а точнее разделить древний человек не мог!).

148	5
296	2
592	1

Процесс продолжается до тех пор, пока справа не появится 1!

Поскольку, как известно, четные числа в правом столбце могут разгневать бога Тора и принести несчастье, их следует вычеркнуть и, разумеется, то же самое надо сделать и с относящимися к ним числами, стоящими в столбце слева. Для большей ясности выпишем все это еще раз:

37	23
74	11
148	5
~~296~~	~~2~~
592	1
851	

Если результат вызывает у вас сомнения, перемножьте 37 и 23 сами доступным вам способом. Может быть, это только случайное совпадение? Попробуем с другими числами:

~~136~~	~~76~~
~~272~~	~~38~~
544	19
1088	9
~~2176~~	~~4~~
~~4352~~	~~2~~
8704	1
10 336	

85	85
~~170~~	~~42~~
340	21
~~680~~	~~10~~
1360	5
~~2720~~	~~2~~
5440	1
7225	

Перемножив исходные числа в обоих примерах, вы убедитесь, что ответы совпадут с полученными вами произведениями.

Что вы скажете теперь? Можете проделать это с другими числами — способ никогда не подводит. Я не

убежден, что вам легко удастся уверить меня, будто бог Тор здесь ни при чем; но до того, как все это получается на самом деле, я предоставлю вам возможность докопаться в час досуга!

Обратимся снова к нашим двоичным числам и попытаемся сообразить, как преобразуется большое десятичное число в двоичную форму. (Сходство с приведенной выше числовой игрой будет при этом чисто случайным!) Запишем десятичное число и поделим его на 2. При этом заметим, разделится ли оно с остатком или без остатка. При чтении снизу вверх остатки образуют искомое двоичное число. Опуская довольно длинное теоретическое доказательство, я просто покажу вам этот способ на числовом примере:

$$
\begin{aligned}
225 : 2 &= 112, && \text{остаток } 1 \rightarrow \mathrm{L} \\
112 : 2 &= 56, && \text{остаток } 0 \rightarrow \mathrm{O} \\
56 : 2 &= 28, && \text{остаток } 0 \rightarrow \mathrm{O} \\
28 : 2 &= 14, && \text{остаток } 0 \rightarrow \mathrm{O} \\
14 : 2 &= 7, && \text{остаток } 0 \rightarrow \mathrm{O} \\
7 : 2 &= 3, && \text{остаток } 1 \rightarrow \mathrm{L} \\
3 : 2 &= 1, && \text{остаток } 1 \rightarrow \mathrm{L}. \\
1 : 2 &= 0, && \text{остаток } 1 \rightarrow \mathrm{L}
\end{aligned}
$$

Запишем теперь полученное двоичное число:

LLLOOOOL

или

$$1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

$$128 + 64 + 32 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1 = 225.$$

Контрольный подсчет сразу покажет вам, как из двоичного числа получить десятичное.

Эти необычные способы вычисления, возможно, и весьма интересны, но для практического применения, особенно для ЭВМ, не совсем удобны. Причем по мере увеличения числа, которое подлежит преобразованию из десятичной системы счисления в двоичную, неудобства возрастают. В связи с этим была предпринята попытка — и небезуспешная — преобразовать десятичное число в двоичное не все сразу, а цифра за цифрой.

Такое преобразование чисел из одной системы счисления в другую, букв — в знаки азбуки Морзе или, в общем случае, преобразование информации из одной формы в другую называют *кодированием.* Таким образом, код — это своеобразное предписание, по которому информация может быть представлена в другой форме. Если же кодированную информацию снова преобразовывают в исходную форму, то в этом случае преобразование называют *декодированием.* Еще Агамемнон кодировал свое сообщение о падении Трои, приказав зажечь на вершинах гор сигнальные костры.

Десятичная цифра может иметь десять различных значений: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Поэтому мы вынуждены ее изображать четырехразрядным двоичным числом. Как вы уже знаете, при помощи трех разрядов мы можем отобразить лишь восемь различных значений (OOO, OOL, OLO, OLL, LOO, LOL, LLO, LLL); четыре разряда позволяют нам обозначить даже 16 различных значений — попробуйте их выписать сами.

Четырехразрядные двоичные числа мы будем называть *тетрадами* — группами, состоящими из четырех цифр (от греческого слова тетра — четыре). Поскольку из 16 тетрад мы используем только 10, 6 тетрад остаются неиспользованными, такие тетрады носят название *псевдотетрад.* Какие именно тетрады мы присвоим десяти цифрам от 0 до 9 и какие из них оставим псевдотетрадами, вообще говоря, безразлично. Однако на практике утвердились соответствия, приведенные в табл. 2. В первом столбце таблицы представлено прямое кодирование, при котором каждой из десятичных цифр от 0 до 9 соответствует двоичный эквивалент. Значениям от 10 до 15 соответствуют псевдотетрады. Полезно выбрать такой способ кодирования, при котором значения десятичных чисел и двоичных цифр согласуются друг с другом. Однако для применения в вычислительной технике такое кодирование не очень удобно.

Там используются код с избытком «3» и код Айкена. Оба кода характеризуются тем, что путем простой замены O на L и наоборот в тетраде получается десятичное дополнение к данному числу; это облегчает решение задач на вычитание и деление. Мы больше не будем останавливаться на разнообразных способах

Таблица 2

Кодирование цифр от 0 до 9 с помощью шестнадцати тетрад

Тетрада	Прямое кодирование	Код с избытком «3»	Код Айкена
OOOO	0		0
OOOL	1	Псевдо-	1
OOLO	2		2
OOLL	3	0	3
OLOO	4	1	4
OLOL	5	2	
OLLO	6	3	Псевдо-
OLLL	7	4	тетрады
LOOO	8	5	
LOOL	9	6	
LOLO		7	
LOLL		8	5
LLOO	Псевдотетрады	9	6
LLOL			7
LLLO		тетрады	8
LLLL			9

двоичного кодирования десятичных цифр [1], но, если вас это увлекло, попробуйте сами изобрести несколько вариантов кода.

Если каждой из шестнадцати разных тетрад мы будем присваивать свое значение (тетрады не обязательно состоят из цифр), то исчерпаем все возможности данного кода, которые предоставляет нам четырехразрядное двоичное число. Такой код называют *минимальным кодом,* так как кодовое слово имеет в этом случае минимальную длину, которая позволяет точно определить *одно* значение из всего заданного запаса значений. Если же из 16 предложенных значений мы используем только 10, то остальные 6 будут *избыточными* (они не выражают никаких значений). Избыточ-

[1] Каждый код, в котором для представления чисел используются двузначные символы, относится к бинарным системам Двоичная, или диадная, система представляет собой особую бинарную систему с основанием 2.

ность мешает нам полностью использовать пропускную способность тракта передачи, емкость накопителей и т. п. Мы встречаемся с нею в тех случаях, когда, скажем, из 16 возможностей, предоставляемых четырехзначным двоичным числом, используем только 7 тетрад, а оставшиеся 9 тетрад объявляем псевдотетрадами — например, для кодирования дней недели от воскресенья до субботы. Поставленную задачу можно было бы решить и трехзначным двоичным числом (одна комбинация даже осталась бы у нас свободной). Один разряд четырехразрядного числа в нашем примере был бы тогда избыточным — он не имел бы никакого значения.

Минимальные коды обладают тем преимуществом, что позволяют максимально использовать возможности кодирования сообщений. Однако их недостаток в том, что искажения в сообщениях, например из-за помех в тракте передачи, не могут быть обнаружены, а это приводит порой к нежелательным последствиям.

Можно ли такие искажения предотвратить? Чтобы сделать передачу абсолютно надежной, полностью исключающей возможности ошибок, потребовались бы очень большие (в пределе бесконечно большие) затраты на чрезвычайно сложную аппаратуру. Поэтому исходят из того, что искажения в реальных условиях появляются не столь часто, например из 2000 телеграфных знаков в среднем искажается один. Это соответствует одной ошибке на страницу машинописного текста, напечатанного через два интервала. В электрических и электронных системах передачи искажения появляются еще реже.

Вероятность того, что телеграфный знак будет искажен двумя помехами, чрезвычайно мала. Поскольку помехи возникают случайно и независимо друг от друга, вероятность их совпадения равна произведению вероятностей появления каждой помехи (помните, мы об этом говорили на стр. 35). При упомянутых выше условиях вероятность того, что один телеграфный знак будет искажен двумя помехами, равна $0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3} = 0{,}25 \cdot 10^{-6}$.

В нашем примере это значит, что в среднем на 4 000 000 телеграфных знаков или на 2000 машинописных страниц, напечатанных через два интервала, при-

Таблица 3

Дополнение тетрад битами проверки на четность

Тетрада	Бит проверки на четность	Тетрада	Бит проверки на четность
OOOO	O	LOOO	L
OOOL	L	LOOL	L
OOLO	L	LOLO	O
OOLL	O	LOLL	L
OLOO	L	LLOO	O
OLOL	O	LLOL	L
OLLO	O	LLLO	L
OLLL	L	LLLL	O

ходится один телеграфный знак, искаженный двумя помехами. Очевидно, практически надо исходить из того, что один знак искажается под воздействием только одной помехи. Теми редкими случаями, когда на один знак воздействуют две или более помех, следует пренебречь.

Однако возвратимся к нашим тетрадам. Как распознать те случаи, когда искажение было вызвано одной помехой?

Будем исходить из того, что искажению подвергается только один разряд тетрады, иными словами, из-за помехи один из нулей превращается в единицу или одна из единиц в нуль. Очень редкие случаи, когда помеха воздействует на два разряда тетрады, мы не рассматриваем.

Теперь попробуем применить с пользой неприятную до сих пор избыточность и вместо четырехразрядных двоичных чисел возьмем пятиразрядные. Как и прежде, четыре разряда, из которых строятся сообщения, будем называть тетрадой, пятый же разряд назовем разрядом проверки на четность, или *битом четности* [1]. В качестве последнего будем выбирать единицу или нуль с тем, чтобы сумма цифр тетрады сделалась четной. Посмотрите на табл. 3. Если, например, передаваемая кодовая группа LLOL принята нами в форме LLOLL, то мы видим, что сумма цифр четная (4), и,

[1] О том, что такое бит, речь пойдет в следующем разделе.

стало быть, тетрада LLOL передана правильно. Если же мы обнаруживаем, что приняли кодовую группу OLOLL, то, поскольку сумма цифр ее нечетна (3), с приемного пункта на передающий посылают запрос. Так распознается искажение.

Если мы захотим с помощью пятиразрядного числа закодировать лишь десять десятичных цифр, от 0 до 9, то можем применить также *код 2 из 5-ти,* построенный так, что в правильной кодовой группе, всегда имеется два L-элемента. Отсюда получаем десять возможных комбинаций, представленных в табл. 4. Код 2 из 5-ти отличается тем, что из пяти его элементов (разрядов) два элемента всегда L.

Таблица 4

Код 2 из 5-ти

Десятичная цифра	Лексикографическая структура	Структура числовых цепочек	Значимость				
			0	1	2	4	7
1	LLOO	LLOOO	L	L	O	O	O
2	LOLOO	LOLOO	L	O	L	O	O
3	LOOLO	OLLOO	O	L	L	O	O
4	LOOOL	OLOLO	L	O	O	L	O
5	OLLOO	OOLLO	O	L	O	L	O
6	OLOLO	OOLOL	O	O	L	L	O
7	OLOOL	OOOLL	L	O	O	O	L
8	OOLLO	LOOLO	O	L	O	O	L
9	OOLOL	LOOOL	O	O	L	O	L
10	OOOLL	OLOOL	O	O	O	L	L

Какие именно цифры от 0 до 9 мы присвоим кодовым группам, вообще говоря, безразлично. Наряду с расположением элементов в кодовой группе, имеющим лексикографический смысл, используются и два других вида расположения: одно позволяет легко различать десятичные цифры и другое, при котором от комбинации к комбинации меняется всегда только один элемент, весьма удобно для построения числовых последовательностей. Таким образом, если мы примем сообщение, содержащее один или более двух L-элементов, то будем знать, что это сообщение искажено.

Заметим еще, что код, позволяющий распознать ошибки, называется *кодом с обнаружением ошибок,* или *самокорректирующимся кодом.* От сообщения, которое принимается на веру, до критической оценки его, позволяющей обнаружить ошибку, — огромный шаг. Еще лучше было бы, если бы мы могли точно установить, какая именно ошибка содержится в сообщении, чтобы искаженное сообщение можно было исправить.

Разрешима ли эта задача? Давайте посмотрим. Снова будем исходить из того, что в тетраде искажается только один разряд и что воздействием двух или более помех можно пренебречь. Теперь применим такой «трюк»: будем замыкать тетрады не одним битом проверки на четность, а тремя. Первый бит проверки на четность дополняет до четного числа сумму разрядов 2^3, 2^2 и 2^0, второй — сумму разрядов 2^3, 2^1 и 2^0 и третий — сумму разрядов 2^2, 2^1 и 2^0. Все это представлено в табл. 5.

Таблица 5

Совместное расположение разрядов проверки на четность с элементами тетрады

Тетрада	Контрольная группа 1	Контрольная группа 2	Контрольная группа 3	Код Хемминга
0000	00·00	0·000	·0000	0000000
0001	00·11	0·011	·0001	1101001
0010	00·01	0·101	·0010	1010101
0011	00·10	0·110	·0011	0111100
0100	01·01	0·001	·0100	1001011
0101	01·10	0·010	·0101	0100110
0110	01·00	0·100	·0110	0011010
0111	01·11	0·111	·0111	1110111
1000	10·01	1·000	·1000	1000011
1001	10·10	1·011	·1001	0101010
1010	10·00	1·101	·1010	0010110
1011	10·11	1·110	·1011	1111111
1100	11·00	1·001	·1100	0110100
1101	11·11	1·010	·1101	1011001
1110	11·01	1·100	·1110	1100101
1111	11·10	1·111	·1111	0001111

Приняв семиразрядное сообщение (одна четырехразрядная тетрада плюс три разряда проверки на четность), подвергнем его троекратному испытанию на четность:

Испытание 1 : 2^3 — 2^2 — 2^0 — бит проверки на четность 1;

Испытание 2 : 2^3 — 2^1 — 2^0 — бит проверки на четность 2;

Испытание 3 : 2^2 — 2^1 — 2^0 — бит проверки на четность 3.

Если все три испытания дают четные суммы, значит, сообщение принято правильно. Если же только первое испытание дало отрицательный результат, то есть сумма соответствующих разрядов оказалась нечетной, то искажен 1-й бит четности, поскольку он участвует лишь в первом испытании, но не в двух последующих. Точно так же искажен 2-й бит четности (или 3-й), если только второе испытание (или только третье) дают нечетную сумму. При отрицательном результате первого и второго испытаний (но не третьего) искаженным будет разряд 2^3 тетрады, потому что только этот разряд участвует в первых двух испытаниях, а в третьем он отсутствует. Разряды 2^2 (или 2^1) искажены, если первое и третье испытания не дают, а второе дает отрицательный результат (или второе и третье не дают отрицательного результата, но первое дает). Если все три испытания дают отрицательный результат, то это означает, что разряд 2^0 тетрады искажен, так как лишь этот разряд причастен ко всем трем испытаниям.

Прием, в котором вам еще предстоит разобраться, достаточно прост. Выпишем по определенным правилам полученные результаты в таблицу (табл. 6).

В столбцах «Испытательные циклы 3—2—1» запишем результаты испытаний: О при четной сумме и L при нечетной. Если результаты испытаний прочесть как двоичное число, то можно заметить, что десятичные значения двоичных чисел соответствуют стоящим в левом столбце десятичным числам. В крайнем правом столбце указано, какой разряд при соответствующих результатах испытаний оказался искаженным. Применим обещанный трюк — запишем семь разрядов сообщений в такой последовательности: бит четности 1 — бит четности 2—2^3 — бит четности 3—2^2—2^1—2^0 (так,

Таблица 6

Десятичное число	Испытательный цикл			Ошибочный разряд
	3	2	1	
0	O	O	O	Нет
1	O	O	L	Бит проверки на четность 1
2	O	L	O	Бит проверки на четность 2
3	O	L	L	2^3
4	L	O	L	Бит проверки на четность 3
5	L	O	L	2^2
6	L	L	O	2^1
7	L	L	L	2^0

как они записаны в правом столбце таблицы сверху вниз). Теперь остается лишь закодировать результаты трех испытаний в десятичное число, которое и покажет, какой разряд оказался искаженным.

Описанный нами код относится к *самокорректирующимся кодам* и называется по имени его изобретателя *кодом Хемминга.*

Когда хотят передать что-нибудь по телеграфу...

одних цифр мало, нужно еще знать буквы алфавита и уметь их закодировать. Мы уже говорили, что с этой задачей успешно справился еще Морзе. Он изобрел систему символов, состоящую из точек и тире, с помощью которой можно закодировать буквы, цифры и знаки. Переключив как-нибудь ваш приемник на короткие волны, вы можете убедиться, что «морзянка» все еще чрезвычайно широко применяется в технике связи.

Взгляните на код Морзе (стр. 66). Буквы в зависимости от частоты их появления содержат от одного до четырех элементов (точек или тире); наиболее часто встречающейся букве «е» соответствует самый короткий элемент — точка. Цифры отображаются пятью элементами. К сожалению, Морзе, чтобы сделать свой код более компактным, ввел различительный признак,

Знаки Морзе	Буквы		Цифры		Знаки препинания и сигналы телеграфной службы
·—·	А	Aa	·—————	1	(,) запятая ·—·—·—
—···	Б	Bb	··————	2	(.) точка ·—·—·—
·——	В	Ww	···——	3	(;) точка с запятой —·—·—·
——·	Г	Gg	····—	4	(:) двоеточие ———···
—··	Д	Dd	·····	5	(?) вопросительный знак ··——··
·	Е	Ee	—····	6	(№) —· ·—·
···—	Ж	Vv	——···	7	(+) он же конец депеши ·—·—·
——··	З	Zz	———··	8	(„“) Кавычки ·—··—·
··	И	Ii	————·	9	() скобки —·——·—
—·—	Н	Kk	—————	0	(!) восклицательный знак ——·—·—
·—··	Л	Ll			(—) минус —····—
——	М	Mm			Знак подчеркивания ··——·—
—·	Н	Nn			(/) дробная черта —·— —·—
———	О	Oo			Знак раздела —·—·—
·——·	П	Pp			Перебой (исправление ошибки) ·····
·—·	Р	Rr			Знак, отделяющий целое число от дроби ·——·—·
···	С	Ss			Знак предложения (начинаю передавать) —·—·—·—
—	Т	Tt			Знак согласия на приём ·—·—·—·—
··—	У	Uu			Начало действия ·—·—·—·—
··—·	Ф	Ff			
····	Х	Hh			
—·—·	Ц	Cc			
———·	Ч	Oo°			
————	Ш	Ch			
——·—	Щ	Qq			
—·——	Ы	Yy			
··——	Ю	Uu			
·—·—	Я	Aa			
·———	Й	Jj			
—·——	Ь Ъ	Xx			
··—··	Э	Éé			

Код Морзе.

который явно не входит в рассмотренную выше двузначную систему, признак этот — *время*: точки и тире — короткие и длинные элементы, которые отличаются друг от друга продолжительностью. Пока человек сам непосредственно оценивает знаки, все идет нормально, но при автоматизированном приеме электромеханические или электронные устройства могут допускать ошибки.

Еще П. Л. Шиллинг экспериментировал с несколькими магнитными стрелками и применял комбинации, составленные из пяти элементов. Эта идея приобрела особое значение, когда Юз предложил свой буквопечатающий телеграфный аппарат; с тех пор и по сей день в телеграфной технике применяется пятизначный международный телеграфный код. Вы уже знаете, что с помощью пятиразрядной двоичной группы мы можем закодировать максимально 32 различных знака, а нам необходимо закодировать, если речь идет, например, о латинском алфавите, 26 букв, 10 цифр от 0 до 9, знаки препинания и еще некоторые служебные сообщения, которые необходимы для установления связи. Как же быть?

Буквы	Цифры и знаки	Комбинации					
		Стоп	Пуск	1	2	3	4	5
A	–		■			■		
B	?		■		■		■	■
C	:		■	■	■	■		
D	кто там		■		■		■	
E	3		■		■			
F			■	■	■		■	
G			■			■		■
H			■			■	■	
I	8		■			■	■	
J	звонок		■	■		■		
K	(		■		■	■	■	
L	)		■				■	■
M	•		■				■	■
N	,		■			■	■	
O	9		■			■		■
P	0		■		■	■		■
Q	1		■		■	■		■
R	4		■			■		■
S	'		■	■		■		
T	5		■					■
U	7		■		■	■	■	
V	=		■			■	■	■
W	2		■		■	■		■
X	/		■	■	■	■		■
Y	6		■		■	■	■	■
Z	+		■		■			■
Перевод на буквы			■		■	■	■	■
Перевод на цифры			■		■	■		■
Пробел			■				■	
Возврат каретки			■				■	■
Перевод строки			■			■		

■ Ток

□ **Отсутствие тока**

Международный телеграфный код № 2.

Очень часто случается, что в безнадежном, казалось бы, положении находят весьма простой выход. Так произошло и на этот раз: телеграфные аппараты решили снабдить специальным устройством — регистром для перехода с букв на цифры и обратно. 26 комбина-

ций используют дважды — один раз для 26 букв и второй раз для цифр от 0 до 9 и одиннадцати знаков: —? : ( ).,»=/ +. К этому надо добавить комбинации, соответствующие сообщениям: «Кто там?» и «Звонок». Несколько забегая вперед, скажем, что при помощи комбинации «Кто там?» на приемной стороне включается автоматический датчик адресатов, который сообщает название организации, с которой ведется связь. Комбинация «Звонок» действительно приводит в действие звонок, с помощью которого к телеграфному аппарату привлекается внимание оператора.

Комбинация «Перевод на буквы» уведомляет, что следующие комбинации будут представлять собой последовательность букв. Комбинация «Перевод на цифры» сообщает, что последующие комбинации относятся к цифрам или знакам. Три следующие комбинации служат сигналами для подготовки телеграфных аппаратов к действию. Позже мы узнаем, что для работы буквопечатающего аппарата, кроме пятисимвольного кода, о котором мы упоминали, требуются еще стартовый и стоповый символы. Однако мы ограничимся знакомством лишь с международным телеграфным кодом № 2.

НЕМНОГО ИНФОРМАЦИИ О ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

«Ваше здоровье!» Поймете ли вы смысл этих слов, зависит от двух обстоятельств: во-первых, от того, умеете ли вы читать буквы, набранные кириллицей, а во-вторых, знаете ли, что при этих словах уместно поднять бокал! Независимо от того, сумеете вы прочесть эти слова или нет, это русские слова, и пишутся они именно так, как набраны здесь. Однако всякое сообщение имеет смысл лишь тогда, когда оно понятно тому, на кого рассчитано, если он способен понять, что оно означает. Так, если мы хотим понять друг друга — например, я хочу поделиться с вами своими мыслями, напечатав их в этой книге, то мы должны прежде всего условиться о некотором достаточно большом, но ограниченном запасе знаков, которые мы знаем и понимаем. Этот запас состоит из 26 букв латинского алфавита, 10 цифр от 0 до 9 и некоторых знаков препинания — точки, запятой и т. д. Сколько сведений можно передать с помощью этих немногочисленных символов, можно подсчитать, но очень трудно себе представить. Великий Гете пользовался только 26 буквами латинского алфавита, но, читая его, вы постигаете все богатство немецкого языка! Из тех же 26 букв можно составить 26 однобуквенных слов, $26^2=676$ слов, состоящих из двух букв, $26^3=17\,576$ слов из трех букв, $26^4=456\,976$ слов из четырех букв, $26^5=11\,881\,376$ слов из пяти букв и т. д. Эти слова содержат все, что вообще может быть написано, — смысл и бессмыслицу, немецкие и иностранные слова и выражения. Множество возможных сочетаний из 26 букв алфавита практически необозримо.

Информация, информация...

Люди пользуются речью десятки тысяч лет. Но телеграф, телефон, радиовещание и телевидение достигли зрелости и совершенства лишь в XX в. И только в середине его К. Шенноном была разработана теория

Принципиальная блок-схема передачи информации.

информации как самостоятельная отрасль знаний, как наука о количественных свойствах сообщений. Информацией мы будем называть всякое сообщение, которое в естественнонаучном смысле поддается измерению.

Помещенная здесь схема иллюстрирует принцип передачи информации любой цепью связи. Информация возникает в передатчике. Передатчик формирует ее из конечного запаса знаков (например, алфавита), составляя конечные последовательности (например, предложения). В кодирующем устройстве происходит преобразование информации в форму, приемлемую для передачи ее посредством сигнала, который играет роль переносчика этой информации. Так, например, угольный микрофон в телефонном аппарате преобразует вашу речь в колебания постоянного тока — звуковые колебания здесь превращаются в электрические.

Далее сигнал передается через передающий канал на декодирующее устройство. В передающем канале сигнал в большей или меньшей степени подвергается воздействию помех. Передающий канал — это не только проводная линия связи или радиоволны, с помощью которых перекрывается пространство между корреспондентами, но и «переносчик» информации во времени. Практически передающим каналом является тот же накопитель (например, магнитная лента).

Декодирующее устройство преобразует сигнал в сообщение, в какой-то мере искаженное помехами. Например, в телефонном аппарате таким декодирующим устройством является телефонный капсюль.

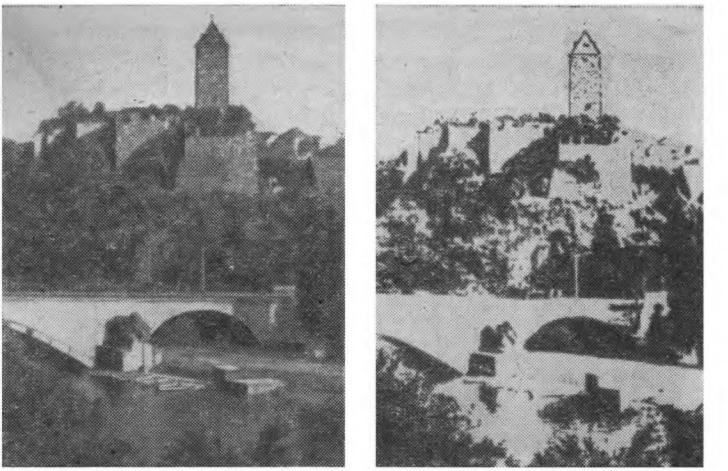
Пример неоднозначности информации.

На рисунке художника Ф. Бартлетта можно различить профиль пожилой дамы с большим носом и головку юной девушки с бархоткой на шее

Наконец, приемник воспринимает искаженную в процессе передачи информацию, как бы «осмысливая» ее. Человек в качестве приемника обладает поразительным свойством распознавать даже чрезвычайно искаженную помехами информацию:

ВЗЖАЮ ЗВТРА ЛНГР ВСТРЧ ПОЕД 5 ВГН 13

Вы понимаете текст этой телеграммы, хотя из 40 букв ее полного текста 14 здесь вообще отсутствуют.



Пример степени полноты информации.

На фотографии слева информация передана в подробностях посредством множества полутонов. Фотография справа передает информацию об объекте лишь в черно-белом варианте с меньшими подробностями.

Мы исходили из того, что передатчик и приемник должны обладать заранее согласованным запасом знаков, каждый из которых однозначен по смыслу. Если приемник (получатель) располагает определенной информацией относительно свойств передатчика (отправителя) и может к тому же обучаться, то постепенно он постигнет смысл знаков, применение которых не было согласовано заранее. Так археологи ухитряются расшифровывать древние письмена, смысл которых для нас утерян.

Для теории информации особое значение имеет простота признака, по которому различаются знаки. Именно поэтому в ней нашла широкое применение двоичная система счисления, с которой мы познакомились выше. Элементарный выбор между O и L («да» — «нет», «есть ток» — «нет тока») называется *двоичным шагом* или *битом* (от английских binary digit). В теории информации и технике электрической связи бит принят в качестве единицы при оценке числа двоичных выборов. Поток информации, или пропуск-

ная способность канала связи, измеряется в битах в секунду (бит/с).

Чтобы отличить 26 букв латинского алфавита друг от друга, необходимо сделать пять двоичных выборов — при первом двоичном выборе возможны два исхода, при втором — четыре, при третьем — восемь, при четвертом — шестнадцать и лишь при пяти двоичных выборах мы получаем возможность различить 32 элемента. Эти 32 элемента «равноправны»: только после реализации пятого двоичного выбора обнаруживается, какие сообщения можно из них сформировать. В действительности, однако, 26 букв латинского алфавита ни в коей мере «не равноправны»: в немецком языке, например, вероятность появления *E* в 1000 раз больше вероятности появления *X*. Это особенно наглядно видно из табл. 7. Выводы, которые можно сделать, срав-

Таблица 7

Буква	Вероятность появления буквы P_i	Буква	Вероятность появления буквы P_i
Пробел между буквами	0,151490	*O*	0,017717
		B	0,015972
		Z	0,014225
E	0,147019	*W*	0,014201
N	0,088351	*F*	0,013598
R	0,068577	*K*	0,009588
I	0,063770	*V*	5,007350
S	0,053881	*U*	0,005799
T	0,047310	*P*	0,004992
D	0,043854	*Ä*	0,004907
H	0,043554	*Ö*	0,002547
A	0,043309	*J*	0,001645
U	0,031877	*Y*	0,000173
I	0,029312	*Q*	0,000142
C	0,026733	*X*	0,000129
G	0,026672		
M	0,021336		
		Сумма	1,000000

нивая частоту повторения различных букв, особенно очевидны при сравнении гласных.

	Частота появления P_i
E	0,5
I	0,25
A	0,125
U	0,125
Сумма	1,000

Если эти четыре буквы мы будем считать «равноправными», то, чтобы различить их, нам понадобятся четыре двоичных выбора (четыре бита). В соответствии с этим различные частоты появления букв мы можем закодировать так, как показано в табл. 8. Из

Таблица 8

Буква	Кодовая группа	Число двоичных выборов a	P_i	$a \cdot P_i$
E	L	1	0,5	0,5
I	OL	2	0,25	0,5
A	OOL	3	0,125	0,375
U	OOO	3	0,125	0,375
		Математическое ожидание		1,750

табл. 8 видно, что если при кодировании учитывать частоту повторения букв, то на одну букву приходится в среднем 1,75 двоичного выбора. Если ожидаемая вероятность для передаваемых букв (например, для *е*) велика, то количество информации, получаемой приемником, мало, если же ожидаемая вероятность мала (например, для *х*), то получаемая информация велика. Мы не будем останавливаться на математических следствиях, вытекающих из обнаруженных фактов, вспомним лишь еще раз, как проницательно их угадал, создавая свой код, художник Морзе.

Теперь рассмотрим еще одно интересное обстоятельство. Трудно представить себе, что посылаемая передатчиком последовательность знаков, которые он произвольно выбирает из конечного их запаса (например, алфавита), носит неслучайный характер, обнаруживая какие-то внутренние взаимозависимости. Так, например, крайне невероятно, чтобы в немецком тексте буква Y следовала подряд дважды или чтобы за буквой Q непременно следовал Y.

В чередовании букв действительно имеются закономерности, которые, однако, очень трудно сформулировать. Этой проблемой занимался, в частности, Купфмюллер. Он показал, как, учитывая статистические зависимости, можно строить «речь», обладающую всевозрастающей упорядоченностью, если использовать для этой цели так называемые цепи Маркова. Последние выражают зависимости между условными вероятностями перехода от одного состояния (от одной буквы) к другому (к другой букве). Располагая алфавитом из 26 букв и пробелом, при равной вероятности выбора этих знаков передатчик сформирует следующее сообщение:

MOTCFBIWQK NSRBUESQPHLYNDUBAFW.

Этот текст, возникший по законам случая, не имеет смысла ни на каком языке. Подобным же образом «передавались» символы из набора в 26 букв алфавита и пробела в предположении, что вероятности появления букв соответствуют табл. 7. В результате получилось

EME GKNEET ERS TITBL BTZENFNDBGD
EAI E L ASZ BETEATR IASMIRCH EGEOM.

Вы видите, что E и пробел между словами встречаются чаще всего.

Далее были рассмотрены вероятности следования одной буквы за другой при прочих равных условиях, что дало следующий результат:

AUSZ KEINU WONDINGLIN DURFN ISAR
STEISBERER ITEHM ANDRER.

Здесь отдельные слоги и слова уже обнаруживают некоторое сходство со строем немецкой речи. Затем при

прочих равных условиях были рассмотрены вероятности следования для трех букв. Получилось:

PLANZEUDGES PHIN INE UNDEN VEBEICHT
GES AUF ES SO UNG GAN DICH WANDERSO.

В этом случае некоторые короткие слова уже непосредственно относятся к лексике немецкого языка.

И, наконец, в заключение приведем пример текста, который получился при учете вероятностей следования друг за другом четырех знаков:

ICH FOLGEMAESZ?G BIS STEHEN DISPONIN
SEELE NAMEN

(Я ФОЛЬГЕМЕСЦИГ ДО СТОЯТЬ ДИСПОНИН
ДУША ИМЕНА).

Не ошеломляет ли это вас? Но не будем глубже вдаваться в тайны теории информации — вы, наверное, уже уяснили себе, как перспективна эта новая область науки,— займемся лишь немного практической стороной дела — ее применениями.

Когда канал загружен

Разумеется, здесь речь идет о канале передачи, а его загруженность означает, что он полностью используется для передачи потока информации. Емкость, или пропускная способность, канала связи характеризуется максимальным числом битов, которые безошибочно могут быть переданы в течение секунды. Если передатчик использует оптимальный код без избыточности, то исходящий из него поток битов в секунду соответствует входному потоку информации.

Однако на практике оптимально кодировать поток информации никогда не удается, поэтому (по Купфмюллеру) следует отличать *истинный* поток информации от *кажущегося*. При всех известных методах передачи кажущийся поток информации значительно больше истинного. Таким образом, мы должны примириться с тем фактом, что имеющиеся в нашем распоряжении каналы связи в настоящее время используются еще плохо, по-видимому, это положение не из-

менится и в ближайшем будущем, несмотря на усилия ученых разных стран. Это сложная проблема!

Теория информации не только оценивает реальные возможности каналов связи, к ней прибегают во всех случаях, связанных с кодированием и находящейся в непосредственной зависимости от него избыточностью. Поэтому мы должны здесь понимать кодирование в самом широком смысле: сигнал в качестве носителя информации может принимать различные формы в зависимости от выбранного способа кодирования.

Важную роль играет теория информации и в телевизионной технике (сейчас возникает теория видеоинформации), и в радиолокации. Нет особой нужды подчеркивать значение теории информации и для автоматов, предназначенных для переработки информации, к которым относятся, например, ЭВМ. Проблема обучающихся автоматов, то есть автоматов, которые могут улучшать способы обработки информации на основе целенаправленного анализа своих успехов и ошибок, без теории информации оказалась бы вообще неразрешимой.

От обучающихся автоматов наш путь ведет непосредственно к вопросу, могут ли автоматы думать. Однако сколь бы увлекательной ни была эта проблема, мы не можем себе позволить слишком отклоняться от темы. Лишь об одном я не могу здесь умолчать: кто-то из выдающихся кибернетиков заметил однажды, что автомат, который действительно может думать, в ответ на шутку должен был бы в соответствующем месте рассмеяться. Не знаю, может быть, это высказывание было шуткой, но не содержит ли оно крупицу почти пугающей правды?

ДЖОРДЖ БУЛЬ И ЕГО АЛГЕБРА

Шел суд. Пространные ответы обвиняемого раздражали судью. Наконец его терпение лопнуло:

— Не могли бы вы отвечать покороче? — прервал он обвиняемого.— Неужели нельзя обойтись краткими «да» и «нет»?

— Так это невозможно, господин судья!

— Почему же? На каждый ясный вопрос можно дать не менее ясный ответ: либо «да», либо «нет».

— Тогда, господин судья, разрешите задать один вопрос вам?

— Пожалуйста!

— Господин судья! Не стыдно ли вам ежедневно избивать свою жену?

Что бы вы ответили на месте судьи: «да» или «нет»? Вот видите, не на все вопросы можно ответить столь однозначно. Стоит ли вообще стремиться получить однозначный ответ? Ведь на вопросы определенного содержания (какой сегодня день недели?) или на вопросы, основанные на некоторых недоказанных предположениях (неизвестно, поколачивал ли на самом деле свою жену судья или нет), с помощью «да» и «нет» ответить вообще нельзя. Сама постановка вопроса предопределяла возможность ответа в форме «да» или «нет».

Вспомните, пожалуйста, двоичную систему счисления с ее двумя значениями О и L. Ведь мы можем их интерпретировать как «да» и «нет», то же самое относится и к двоичным решениям, с которыми мы столкнулись при знакомстве с теорией информации.

Однако возвратимся к вопросу о дне недели. Когда я спрашиваю: «Какой сегодня день недели?», то могу получить семь различных ответов. Однако, если я спрошу: «У нас сейчас первая половина недели (воск-

ресенье — среда)?», то вы сможете ответить «да» или «нет». Если вы скажете «да», то я задам следующий вопрос: «Сегодня воскресенье или понедельник?» Если ответ будет отрицательным, я поставлю последний вопрос: «Сегодня вторник?», ответом на него будет «да». Таким образом, чтобы получить желаемые сведения, я должен поставить всего три вопроса, ответами на которые служат либо «да», либо «нет».

Проблемами мышления, как его содержанием, так и формой, наука занимается издавна. Здесь мы не будем рассматривать философскую сторону вопроса, его внутреннюю логику. Нас прежде всего будут интересовать те основы математизации логики, которые еще в прошлом веке были заложены Дж. Булем. Из разработанной им алгебры суждений возникла *алгебра переключательных устройств*, ставшая важнейшим инструментом формализации разработок. Мы остановимся на некоторых вопросах, касающихся ее значения и применения.

Если сегодня воскресенье и светит солнце...

мы отправимся за город. Следовательно, наша прогулка зависит от выполнения двух условий: день должен быть воскресным, а погода хорошей. В будни мы не поедем, так как работаем, но и в воскресенье останемся дома, если пойдет дождь.

Если для совершения некоторого действия необходимо одновременно выполнить два условия — одно И другое, то в таком случае мы говорим о логическом союзе типа И. Эти условия должны выполняться одновременно не во всех случаях. Возьмем, например, современного Франца-лодыря. Он отправляется за город каждое воскресенье независимо от погоды. Но если погода хороша, он не станет задерживаться на работе и в будний день. Предоставив перевоспитание Франца-лодыря коллективу его предприятия, отметим для себя лишь то, что он отправляется за город, когда наступает воскресенье или выдается хорошая погода. Поскольку из двух этих условий для совершения действия должно выполняться только одно — первое ИЛИ второе, мы говорим здесь о логическом союзе или соединении типа ИЛИ.

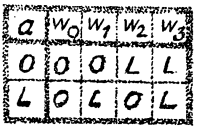
Только что мы узнали, что в зависимости от типа упомянутых союзов два наши условия будут определять различные действия. Теперь пришла пора задать следующие вопросы.

Для совершения какого действия требуется выполнение одного-единственного условия?

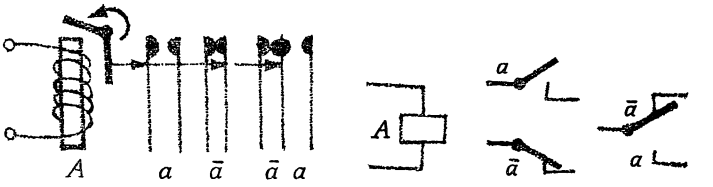
Можно ли два условия связать друг с другом каким-либо иным способом, чем те, которые мы определили выше?

Как можно связать между собой более двух условий?

Начнем с действия, выполняемого при удовлетворении одного-единственного условия, содержащегося, например, в высказывании «Стоит хорошая погода». Это высказывание может быть истинным или ложным, то есть здесь могут быть два ответа: «да» и «нет». Мы введем букву a для краткого обозначения высказывания и воспользуемся символом L для представления «да» и символом O для представления «нет». Действие мы в свою очередь обозначим буквой w. Тогда все возможные комбинации высказываний и действий будут иметь следующий вид:



В столбец a мы внесем оба возможных варианта высказывания: O и L. Колонки $w_0 - w_3$ показывают, что имеется четыре различных варианта действий. Действия w_0 и w_3 постоянны и независимо от высказывания a неизменно принимают значение O или L — погода, по-видимому, не оказывает на них никакого влияния. По этой причине w_0 и w_3 нас не интересуют. Действие w_1 всегда согласуется с высказыванием (например: «День солнечный?» — «Да». «Мы купаемся?» — «Да»; и наоборот: «День солнечный?» — «Нет». «Мы купаемся?» — «Нет»). Поскольку значения a и w_1 тождественны, характеризуем действие w_1 как ПОВТОРЕНИЕ. Это соотношение мы записываем как $w_1 = a$.



Реле с замыкающим (a), размыкающим ($\bar{a}$) и перекидным ($a - \bar{a}$) контактами.

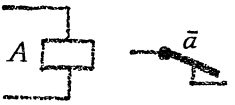
Действие w_2 является отрицанием, или инверсией, высказывания (например: «День солнечный? — «Да». «Взять зонт? — «Нет»; и наоборот: «День солнечный?» — «Нет». «Взять зонт?» — «Да»). Поскольку w_2 является отрицанием a, мы характеризуем действие w_2 как ОТРИЦАНИЕ. Это соотношение мы записываем как $w_2 = \bar{a}$ ($\bar{a}$ называют «не a» или «отрицание a»). Одна причина не может вызвать никаких других действий, помимо a и $\bar{a}$.

Технически ПОВТОРЕНИЕ и ОТРИЦАНИЕ проще всего можно реализовать с помощью реле. На рисунке вы видите катушку реле A с замыкающим контактом a (когда по катушке протекает ток, он замыкается) и размыкающим контактом $\bar{a}$ (когда по катушке протекает ток, он размыкается). Кроме того, имеется переключающий, или перекидной, контакт $a - \bar{a}$.

Для реализации ПОВТОРЕНИЯ мы используем реле с замыкающим контактом. Если через катушку реле протекает ток, то происходит замыкание этого контакта, в результате чего ток протекает и через контакт. Таким образом, причина и действие здесь эквивалентны. (Вспомните $w_1 = a$.)

ПОВТОРЕНИЕ причины и действия не имеет какого-либо логического значения, однако ре-

ПОВТОРЕНИЕ реализуется посредством реле с замыкающим контактом.



Технически ОТРИЦАНИЕ реализуется посредством реле с размыкающим контактом.

лейная реализация этого соотношения позволяет управлять протекающим через контакт сильным током с помощью слабого тока катушки. Следовательно, в техническом смысле суть ПОВТОРЕНИЯ состоит в усилении.

Для реализации ОТРИЦАНИЯ мы используем реле с размыкающим контактом. Если через катушку реле протекает ток, то происходит размыкание контакта, в результате чего прерывается ток, протекавший по коммутируемой цепи в состоянии покоя. Здесь вы видите, как технически осуществляется соотношение $w_2 = \bar{a}$. Помимо логического значения ОТРИЦАНИЯ, при его реализации достигается и усиление, что очень часто используется в технике.

Теперь мы перейдем к рассмотрению действий, которые происходят при различных сочетаниях, или соединениях, двух условий, например таких, как «Хорошая погода» (высказывание *a*) и «Сегодня воскресенье» (высказывание *b*). Выполнение каждого из этих условий мы будем обозначать символом L, а невыполнение символом О. Теперь мы можем составить еще одну таблицу. В столбцах *a* и *b* приведены различные комбинации условий и показано, что имеется 16 различных действий, отвечающих приведенному набору условий.

a	b	w_0	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9	w_{10}	w_{11}	w_{12}	w_{13}	w_{14}	w_{15}
О	О	О	О	О	О	О	О	О	О	L	L	L	L	L	L	L	L
О	L	О	О	О	О	L	L	L	L	О	О	О	О	L	L	L	L
L	О	О	О	L	L	О	О	L	L	О	О	L	L	О	О	L	L
L	L	О	L	О	L	О	L	О	L	О	L	О	L	О	L	О	L

Действия w_0 и w_{15} постоянны и независимо от условий неизменно равны либо О, либо L. Этими действиями мы интересоваться не будем. Действие w_3 повторяет a; кроме того, $w_{12}=\bar{a}$. Аналогично этому w_5 повторяет b, а $w_{10}=\bar{b}$. Поскольку, таким образом, действия w_3, w_5, w_{10} и w_{12} зависят от одного условия (а не двух), рассматривать их здесь нет необходимости.

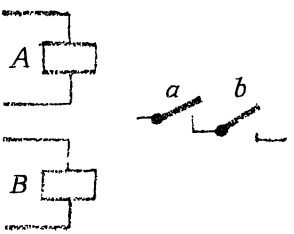
Действие w_1 является результатом реализации уже описанного союза И, а w_7 — союза ИЛИ. Союз И мы в дальнейшем будем выражать как $w_1=a\cdot b$. Знак умножения имеет здесь значение И. А союз ИЛИ мы будем записывать в виде $w_7=a+b$. Следовательно, знак плюс будет иметь значение ИЛИ. Для обозначе-

и	*или*
•	+
&	∨
∧	∨
∩	∪

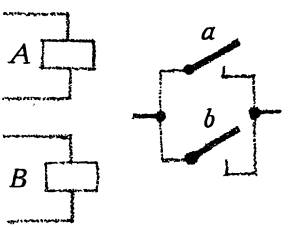
Обозначения союзов типа И и ИЛИ, принятые в литературе.

ния И и ИЛИ математики применяют и ряд других символов, однако здесь мы ими пользоваться не будем.

Как же выполняются эти соединения посредством реле?



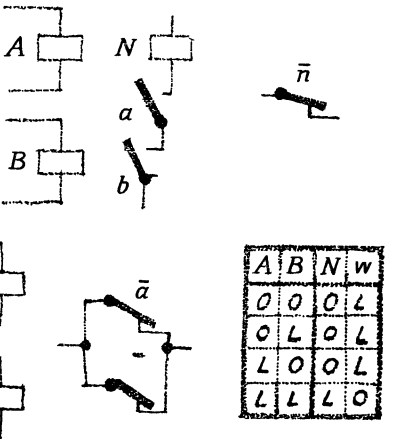
Союз И реализуется посредством двух реле, замыкающие контакты которых включаются последовательно.



Союз ИЛИ реализуется посредством двух реле, замыкающие контакты которых включаются параллельно.

На приведенном слева рисунке мы видим два замыкающихся контакта a и b реле A и B, которые включены последовательно. Ток через эти контакты протекает лишь тогда, когда оба реле возбуждены. Взгляните теперь, пожалуйста, на правый рисунок. Здесь контакты a и b реле A и B включены параллельно. При таком включении для протекания тока достаточно, чтобы было возбуждено либо реле A, либо реле B. Видите, как все просто!

Легко убедиться, что w_{14} представляет собой ОТРИЦАНИЕ w_1, то есть $w_{14}=\bar{w}_1$, а w_8 — ОТРИЦАНИЕ w_7, то есть $w_8=\bar{w}_7$. Исходя из этого, мы можем также

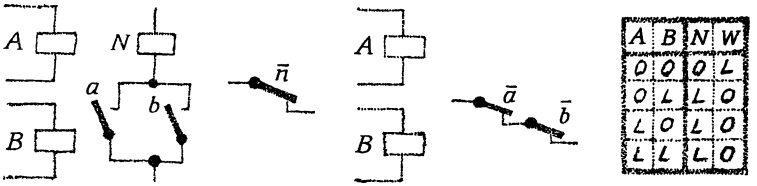


Соединение НЕ И (вверху) реализуется элементом И и следующим за ним ОТРИЦАНИЕМ.

Как показано на схеме внизу, соединение типа НЕ И можно также реализовать и с помощью двух реле с параллельно включенными размыкающими контактами.

дать соотношения $w_{14}=\overline{a\cdot b}$ и $w_8=\overline{a+b}$. Действие w_{14} является, таким образом, результатом последовательного включения элемента типа И и ОТРИЦАНИЯ, сочетание которых называют соединением типа НЕ И. Действие w_8 в свою очередь является результатом последовательного включения элемента типа ИЛИ и ОТРИЦАНИЯ, сочетание которых называют соединением типа НЕ ИЛИ.

Взглянув на приведенный ниже рисунок, вы увидите, что технически логический союз НЕ ИЛИ реали-



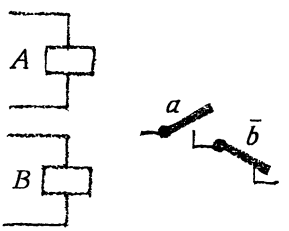
A	B	N	W
0	0	0	L
0	L	L	0
L	0	L	0
L	L	L	0

Соединение НЕ ИЛИ (слева) реализуется элементом ИЛИ и следующим за ним ОТРИЦАНИЕМ.

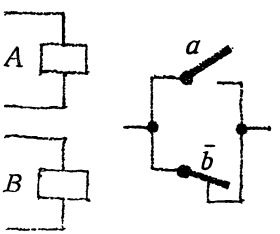
Как показано на схеме в центре, соединение типа НЕ ИЛИ можно также реализовать и посредством двух реле с последовательно включенными размыкающими контактами.

зуется посредством элемента И и следующего за ним ОТРИЦАНИЯ. Однако здесь существует и более простое решение: действие w_{14} выполняется и в том случае, если мы включим параллельно два размыкающих контакта $\bar{a}$ и $\bar{b}$. Из этого следует, что действия, описываемые выражениями $\overline{a \cdot b}$ и $\bar{a}+\bar{b}$, оказываются идентичными. Мы вернемся к этому несколько дальше.

На следующем рисунке вы видите, что соединение типа НЕ ИЛИ можно реализовать с помощью элемента ИЛИ с последующим ОТРИЦАНИЕМ. И здесь также существует более простой путь: действие w_8 будет выполняться и при последовательном включении двух размыкающих контактов $\bar{a}$ и $\bar{b}$. Отсюда можно заключить, что условия $\overline{a+b}$ и $\bar{a} \cdot \bar{b}$ идентичны. К этому мы также вернемся ниже.



Соединение И с отрицательным входом реализуется посредством одного реле с размыкающим и одного реле с замыкающим контактами.

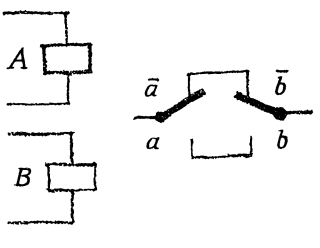


Соединение ИЛИ с отрицательным входом реализуется посредством одного реле с размыкающим и одного реле с замыкающим контактами.

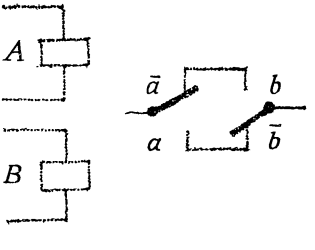
Действия w_2 и w_4 тоже являются следствием реализации союзов типа И, но таких, в которых используется инверсный вход. Мы можем записать следующие соотношения: $w_2 = a \cdot \bar{b}$ и соответственно $w_4 = \bar{a} \cdot \bar{b}$. Взглянув на таблицу, помещенную на рисунке справа, нетрудно убедиться в том, что w_{11} и w_{13} являются в свою очередь следствием реализации союзов типа ИЛИ с одним инверсным входом, то есть $w_{11} = \bar{a} + b$, а $w_{13} = a + \bar{b}$. Эти соединения показаны на рисунке справа.

Теперь нам осталось рассмотреть действия w_6 и w_9. Действие w_9 выполняется тогда, когда a и b одновременно принимают значения О или L, то есть эквивалентны друг другу. По этой причине оно носит название ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ. Соответствующее соотношение записывается в виде $w_9 = \bar{a} \cdot \bar{b} + a \cdot b$. На рисунке, помещенном слева, показано, как такое соотношение реализуется технически. Действие w_6 выполняется тогда, когда значения a и b неодинаковы. В этом случае мы говорим об АНТИЭКВИВАЛЕНТНОСТИ: $w_6 = \bar{a} \cdot b + a \cdot \bar{b}$. Пример ее реализации вы видите на рисунке справа.

Если же мы возьмем три условия, то нам нужно будет исходить из того, что их сочетания дадут 8 различных комбинаций. Этому набору комбинаций могут отвечать 256 различных действий. Сочетание четырех независимых условий дает 16 различных комбинаций, которым могут соответствовать 65 536 различных действий.



Функция ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ реализуется с помощью двух реле с переключающими контактами.



Функция АНТИЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ реализуется с помощью двух реле с переключающими контактами.

Вы видите, как быстро растет число возможных действий при увеличении числа условий. Здесь мы ограничимся лишь тем, что приведем следующее соотношение: n условиям могут отвечать $2^{(2n)}$ различных действий.

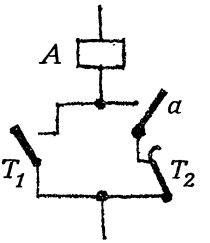
Вы решили отправиться за город при условии, что завтра выходной и погода не подведет. Но если вы собираетесь взять с собой вашу маленькую дочь, то для вас важно, чтобы в лесу было сухо. Поэтому вы спрашиваете:

А какой была погода вчера?

Проверьте свою память! В технике память, как правило, называется *запоминающим устройством,* или *накопителем.* Накопители существуют различных типов. Например, «звуковую» информацию можно хранить в течение длительного времени на граммофонном диске или на магнитной ленте. Но между этими двумя носителями информации существует принципиальная разница. Информация, хранимая на диске, неизменна, неразрушима и постоянна (если, конечно, не учитывать того, что пластинку можно разбить и что в результате ее частого прослушивания она изнашивается). Информация, хранимая на магнитной ленте, напротив, может быть в любой момент стерта и заменена другой. Купив пластинку, вы можете воспроизвести лишь то, что на ней записано, в то время как на одной и той же ленте вы можете сегодня хранить записи Баха, а завтра — поп-музыки.

Важной характеристикой запоминающего устройства является *время выборки* требуемой информации, то есть время, которое проходит от момента запроса до момента получения нужной информации.

Не менее существенный параметр запоминающего устройства — его *емкость*, которая измеряется в двоичных разрядах, или битах. Емкость магнитной ленты, диска или книги может быть достаточно велика. (Настоящая книга также является накопителем, с помощью которого я «передаю» свои мысли через время и пространство.) Запоминающий элемент можно построить и на основе реле. Посмотрите на рисунок: при за-



Запоминающая схема, реализованная на реле с замыкающим контактом.

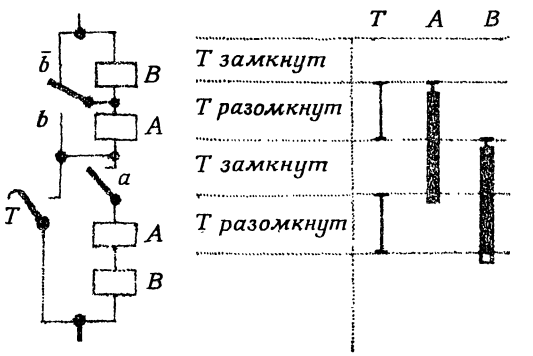
мыкании кнопочного контакта T_1 происходит возбуждение катушки реле A и срабатывает замыкающий контакт a реле, ток через который продолжает протекать и после того, как контакт T_1 будет разомкнут. Цепь удерживающего тока разрывается при размыкании кнопочного контакта T_2, в результате чего реле возвращается в состояние покоя. Таким образом запоминается 1 бит информации: «да» — L (реле возбуждено); «нет» — О (реле находится в состоянии покоя). Смотрите как все просто: нажав T_1, запоминаем L, а нажав T_2 — О. Но если у нас всего одна кнопка? Тогда, нажав на кнопку первый раз, вы возбуждаете реле; оно должно удерживаться в возбужденном состоянии до тех пор, пока не будет возвращено в состояние покоя, для чего необходимо нажать на кнопку вторично. Нажав на кнопку третий раз, вы должны вновь возбудить реле и т. д. Как мы увидим в дальнейшем, для решения такой задачи потребуется не менее двух реле.

Запоминающие схемы, как правило, применяются в сочетании с уже рассмотренными коммутационными соединениями, или цепями. Поскольку такие переключательные цепи позволяют комбинировать различные входные величины, эти соединения называют *комбинационными переключательными схемами.* Переключательные схемы, содержащие запоминающие элементы, называют *последовательностными переключательными схемами.*

поскольку разрабатываемые нами технические устройства должны быть — да, именно должны быть — оптимальными. Однако что же такое оптимум?

Казалось бы, нам вполне понятно, что такое минимум. К примеру, это могут быть минимальные затраты на решение какой-то задачи — скажем, запуск в производство какого-то прибора. Но так ли уж здесь все ясно? Какого рода минимальные затраты здесь имеются в виду? Затраты на разработку? Затраты на комплектующие детали? Или затраты на изготовление? Если, например, требуется разработать прибор, производство которого потребует минимальных затрат, то в первую очередь необходимо выбрать устоявшуюся технологию и использовать наиболее дешевые детали. Но если таких приборов требуется лишь три, то следует до минимума сократить затраты на разработку, которые увеличивают стоимость каждого прибора.

Когда мы говорим о максимуме, то вопросов возникает, к сожалению, не меньше. Например, что понимать под максимальным увеличением производительности труда на сборке по сравнению с монтажными операциями? При решении каждой конкретной задачи нужно четко представлять себе, какие параметры влияют на рассматриваемый показатель и можно ли их изменить. Теперь уточним нашу цель: какую пар-



xy-переключатель, используемый в технике телефонной связи.

тию приборов мы хотим изготовить — небольшую или крупную; что для нас важнее — их цена или надежность; должны ли мы по возможности заменять металлические детали деревянными (или пластмассовыми)? Только ответив на эти вопросы, мы сможем приступить к поиску приемлемого компромиссного решения — оптимума. В решении задач оптимизации существенную помощь оказывает математика. (Вы не могли не слышать о том, что с помощью ЭВМ рассчитываются, например, оптимальные маршруты при перевозках угля, товаров и т. п.)

В электротехнике и связи все большее значение приобретает коммутационная алгебра. Мы уже рассмотрели различные логические операции. Теперь пришло время пояснить, какова их связь с алгеброй переключательных устройств и какие здесь действуют правила.

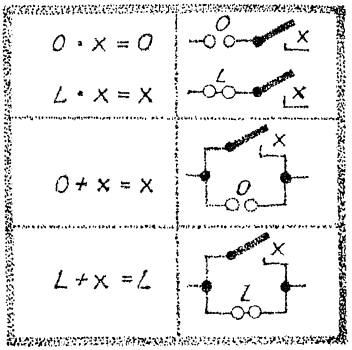
Рассмотрим сначала правила вычисления выходного результата для соединений типа И и ИЛИ:

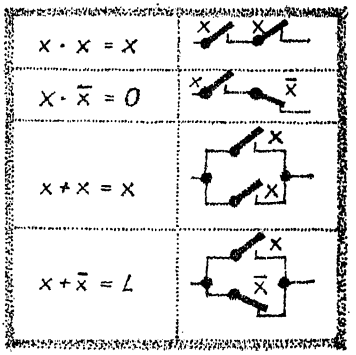
И	ИЛИ
$O \cdot O = O$	$O + O = O$
$O \cdot L = O$	$O + L = L$
$L \cdot O = O$	$L + O = L$
$L \cdot L = L$	$L + L = L$

Здесь, как мы видим, имеется всего одна особенность, а именно случай $L+L$. Рассматривая соответствующие релейные схемы, вы, наверное, обратили внимание на то, что величина тока остается постоянной независимо от того, протекает он через один (безразлично какой) замкнутый контакт или через оба параллельно включенных контакта. Когда оба параллельных контакта разомкнуты, ток равен нулю.

Теперь представьте себе, что в некоторой цепи параллельно или последовательно с контактом x включен либо постоянно разомкнутый (O), либо постоянно замкнутый (L) участок. В приведенной таблице правила расчета выходных величин поясняются соответствующими примерами.

Кроме того, как и обычно, выполняются следующие соотношения:



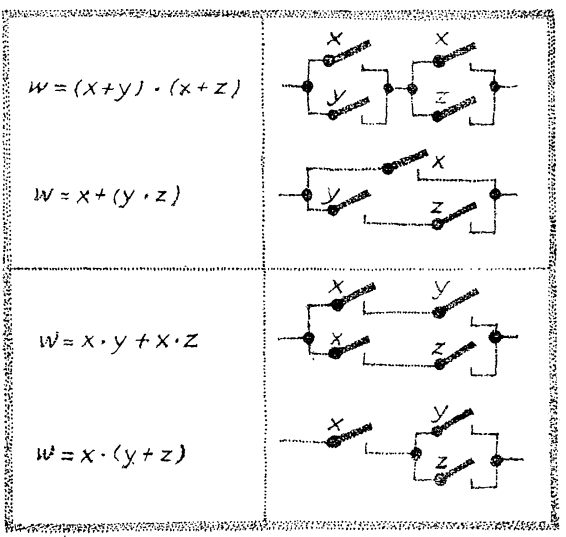


$$w = x \cdot y, \qquad w = x + y$$
$$w = y \cdot x, \qquad w = y + x$$

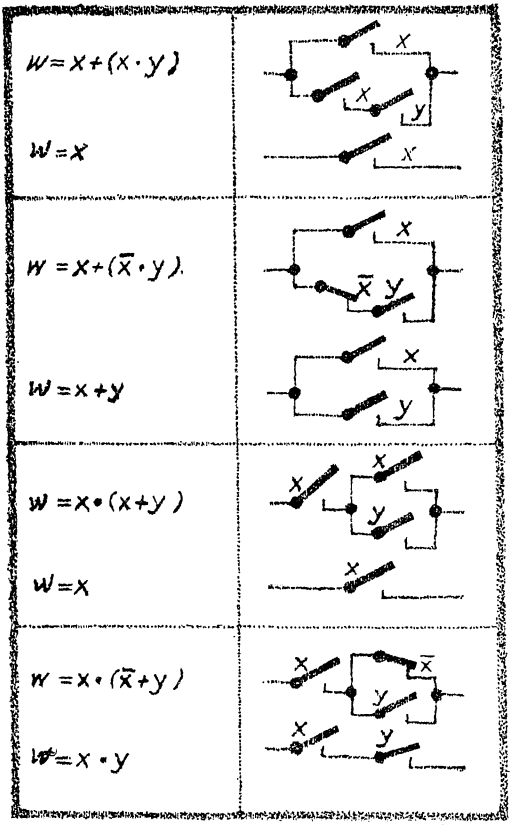
и

$$w = x \cdot (y \cdot z), \qquad w = x + (y + z),$$
$$w = (x \cdot y) \cdot z, \qquad w = (x + y) + z.$$

Обратите внимание на некоторые особенности алгебры переключательных устройств, представленные ниже.



Для преобразования уравнений приведенные правила можно с успехом использовать в различных сочетаниях. Попробуйте показать, какие из этих правил использованы для преобразований, выполненных в изображенных здесь примерах.



Кроме того, справедливы следующие соотношения:

$$w = x \cdot y, \quad w = x + y, \quad w = \bar{x} \cdot \bar{y}, \quad w = \bar{x} + \bar{y},$$

$$w = \overline{\bar{x} + \bar{y}}, \quad w = \overline{\bar{x} + \bar{y}}, \quad w = \overline{x + y}, \quad w = \overline{x \cdot y}.$$

Если вы затрудняетесь назвать правила, с помощью которых были получены эти соотношения, попробуем

вместе восстановить всю цепочку преобразований для последнего соотношения $w = x \cdot y$. Это выражение можно переписать в следующем виде (вы можете убедиться в этом, обратившись к соответствующим схемам):

$$\overline{w} = \underbrace{\bar{x} \cdot \bar{y} + \bar{x} \cdot y} + x \cdot \bar{y},$$

$$w = \underbrace{\bar{x} \quad + x \cdot \bar{y}}_{\bar{x} + \bar{y}},$$

$$\overline{w} = \bar{x} + \bar{y},$$

$$w = \overline{\bar{x} + \bar{y}}.$$

И еще один пример:

$$w = x + y$$

$$w = x \cdot y + \bar{x} \cdot y + x \cdot \bar{y}$$

$$\overline{w} = \bar{x} \cdot \bar{y}$$

$$w = \overline{\bar{x} \cdot \bar{y}}.$$

Вот как все это просто! Но как же нам проводить оптимизацию и, прежде всего, где нам искать оптимум?

Сначала необходимо твердо запомнить следующее. Не существует таких формальных математических методов коммутационной алгебры, которые гарантировали бы нахождение некоторого условного оптимума без каких-либо усилий со стороны нашего разума. Мы должны принимать активное участие в поисках оптимума, и, если мы будем это делать, тогда коммутационная алгебра окажется превосходным инструментом, который в значительной мере облегчит наш труд.

Часто при оптимизации преследуются две цели: сначала необходимо привести выражения коммутационной алгебры к форме, допускающей техническую реализацию, а затем осуществить поиск решения, которому соответствуют минимальные затраты.

Здесь нам окажет помощь еще одно вспомогательное средство, с которым мы сейчас познакомимся.

Таблицы Карно́

отличаются от других вспомогательных средств оптимизации логических функций особенной простотой и изяществом. Впервые свой способ М. Карно изложил на страницах американского журнала *Communication and Electronics* еще в 1953 г., а уже через несколько лет метод Карно получил широкое распространение во всех странах. Рассмотрим его на примере с четырьмя условиями (переменными) *a, b, c* и *d*.

Как мы уже знаем, четыре различных условия порождают 16 различных действий, или функций.

№	*a*	*b*	*c*	*d*
0	О	О	О	О
1	О	О	О	L
2	О	О	L	О
3	О	О	L	L
4	О	L	О	О
5	О	L	О	L
6	О	L	L	О
7	О	L	L	L
8	L	О	О	О
9	L	О	О	L
10	L	О	L	О
11	L	О	L	L
12	L	L	О	О
13	L	L	О	L
14	L	L	L	О
15	L	L	L	L

Если мы хотим внести каждую из шестнадцати функций (с нулевой по пятнадцатую) в отдельное поле, то нам потребуется 16 полей. Если расположить эти 16 полей в четыре ряда (четыре строки!) по четыре по-

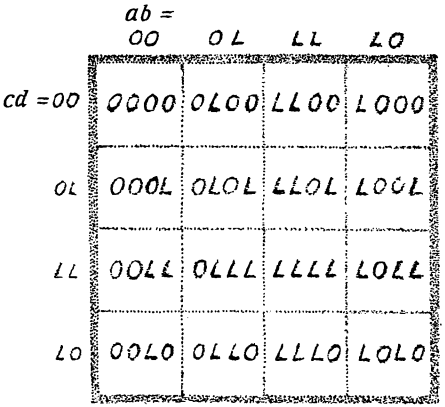


Таблица Карно для четырех условий.

В каждом отдельном поле таблицы показано, какие из четырех условий принимают значение О, а какие L.

ля в ряду (четыре столбца!), то мы получим таблицу из $4 \cdot 4 = 16$ полей!

Выпишем попарно все возможные комбинации значений *a* и *b*. Вот они: OO, OL, LA, LL. Преобразуем эту последовательность таким образом, чтобы при переходе от одной комбинации к другой изменялось значение лишь одного условия. Тогда эта последовательность приобретет следующий вид: OO, OL, LL, LO. Запишем ее над четырьмя столбцами. Даже при циклическом обходе этих комбинаций за один шаг меняется только одно условие. Действительно, при переходе от конца последовательности к началу изменяется значение только одного условия: LO переходит в OO. Используя ту же последовательность OO, OL, LL, LO, запишем комбинации значений *c* и *d* напротив четырех строк. В результате этого все 16 полей таблицы однозначно определились. Условия *a, b, c, d* образуют комбинацию OOOO для левого верхнего поля и комбинацию LOLO для правого нижнего поля.

Теперь в каждое поле таблицы мы внесем значение действия, отвечающего данному сочетанию условий *a, b, c* и *d*. Этими значениями, естественно, являются L и O. Какое значение — L или O — будет внесено в соответствующее поле для ряда комбинаций, оказывается безразличным, например, в тех случаях, когда эти комбинации не относятся к сочетаниям условий, которые имеют смысл для рассматриваемой задачи. Тогда вместо значения L в таблицу целесообразно вносить значение I; для безразличных комбинаций условий также можно использовать символ Ф, который в зависимости от конкретных требований может читаться либо как I, либо как O.

Простые правила, с помощью которых легко определить, какого рода соединение условий лучше всего использовать для решения заданной задачи, приведены в помещенной ниже таблице.

Если, например, символ L окружен (сверху, снизу, справа и слева, но не по углам) символами O, то для получения решения нужно воспользоваться четырехвходовым соединением И, причем один или несколько входов должны быть инверсными.

Если в таблице обнаруживаются две соседние единицы (символ Ф в этих случаях также считается еди-

cd \ ab	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	0
11	0	0	1	0
10	0	0	0	0

Таблица Карно для четырех условий.

В таблице записано соотношение, или функция, $w = a \cdot b \cdot c \cdot d$ Значение L внесено лишь в одно поле таблицы, которому отвечают следующие значения условий. a=L; b=L, c=L и d=L. Во все остальные поля внесены О.

cd \ ab	00	01	11	10
00	0	0	1	0
01	0	0	1	0
11	1	0	0	1
10	0	1	1	0

cd \ ab	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	0
11	0	0	0	0
10	0	1	1	0

Выделение двух полей в таблицах Карно.

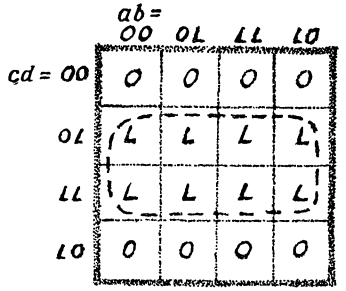
В таблице справа действие не зависит от условия a.

cd \ ab	00	01	11	10
00	1	1	1	1
01	0	0	0	0
11	1	0	0	1
10	1	0	0	1

cd \ ab	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	1
11	0	0	1	1
10	0	0	0	0

Выделение четырех полей в таблицах Карно.

В таблице справа действие не зависит от условий b и c.



Выделение восьми полей в таблице Карно.
В этой таблице действие не зависит от условий *a*, *b* и *c*.

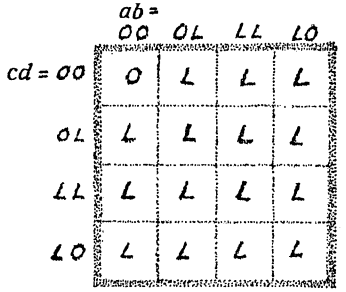
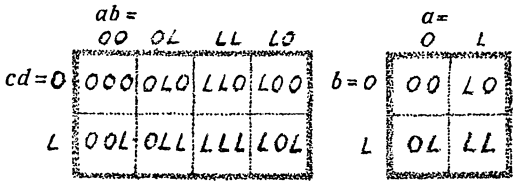


Таблица Карно для четырех условий.
В эту таблицу внесены значения действия, или функции, $w=a+b+c+d$.



Таблицы Карно для трех (слева) и двух (справа) условий.

ницей), то они выделяются пунктиром, как это показано на рисунке на стр. 96. По соседству с выделенными рамкой единицами могут находиться не только нули, но и другие символы L. Считывая комбинации условий, расположенные вдоль длинной стороны рамки, мы можем установить, какие из условий могут, не меняя результата действия, принимать и нулевые и единичные значения, то есть установить, от каких условий результирующее действие не зависит.

Мы можем охватить пунктирной рамкой две соседние единицы и в том случае, когда они, например, находятся по краям таблицы (см. рисунок на стр. 96).

Четыре соседние единицы (в том числе и те, которые обозначены символами Ф) можно выделить пунктирной рамкой тогда, когда они образуют квадрат или расположены вдоль по горизонтали или вертикали. Нельзя объединять четверки, образующие другие «фигуры». С обеих сторон «квадрата» или же вдоль «линии» мы обнаружим комбинации условий, не изменяющие результата действия, то есть их считывание позволит определить условия, от которых рассматриваемое действие не зависит. И здесь мы можем объединять единицы, расположенные по краям.

И наконец, можно выделить рамкой и восемь соседних единиц, как это показано на рисунке слева. В этом случае действие будет зависеть — прямо или инверсно — лишь от одного условия.

Существуют и другие правила, опираясь на которые можно работать с таблицами. Однако здесь мы их не будем рассматривать, а обратимся к примеру, приведенному на рисунке справа. Нет сомнений, что вы легко разберетесь в нем самостоятельно. В том случае, когда результирующее действие зависит лишь от трех или двух условий, размеры таблицы нетрудно сократить. Если имеется более четырех условий, то осуществление подобного подхода усложняется, поскольку возникает необходимость работать с несколькими таблицами. Здесь мы, однако, ограничимся сказанным и не будем больше заниматься этой проблемой.

В предшествующих главах мы познакомились с вычислением вероятностей, двоичной системой счисления, теорией информации и коммутационной алгеброй, то есть дисциплинами, на которые в настоящее время опирается техника электрической связи. В последующих главах мы рассмотрим реле и транзисторы, а затем перейдем к линиям связи, телефону и телеграфу, автоматическим телефонным станциям и другим устройствам связи.

СОВРЕМЕННО ЛИ РЕЛЕ?

Полвека — срок для человека весьма немалый, но в жизни современных электротехнических приборов и устройств он значит неизмеримо больше. Если выпуск такого прибора или его компонента продолжается и через 50 лет после разработки, то для этого должны быть весьма веские основания.

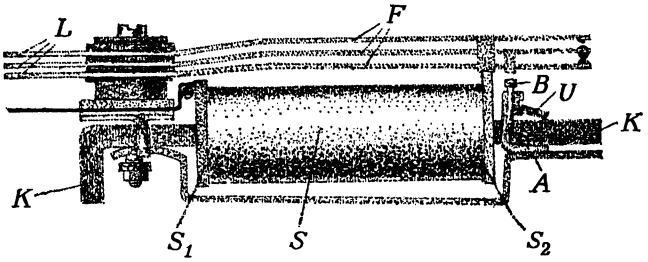
Когда в начале 20-х годов инженеры и технологи фирмы «Сименс унд Гальске» создали новое реле, предназначенное для массового производства автоматических телефонных станций, никто и не подозревал, сколь важную роль сыграет этот коммутационный компонент в будущем. Новые реле собирались почти полностью из штампованных деталей и поэтому были очень технологичными. Благодаря плоской форме штампованных деталей реле получило название плоского.

Впервые плоское реле было использовано в 1927 г. и с этого времени получило повсеместное распространение. После окончания второй мировой войны некоторые детали этого реле усовершенствовали и была выпущена модифицированная конструкция — плоское реле 48. И по сей день ежегодно изготовляются многие миллионы реле этого типа, и все еще нельзя предсказать, когда плоское реле будет заменено каким-то новым, более совершенным компонентом.

И вот в век необыкновенно скоротечной жизни техники мы наблюдаем исключительный случай:

Компоненту 50 лет!

Рассмотрим юбиляра получше. С технологической точки зрения все его элементы весьма удачны. При его производстве наиболее трудоемкой является лишь опе-



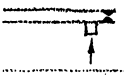
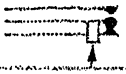
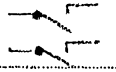
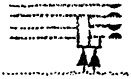
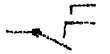
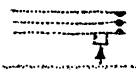
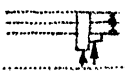
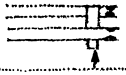
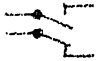
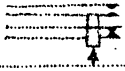
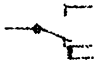
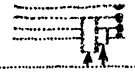
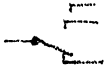
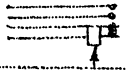
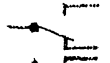
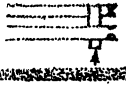
Плоское реле 48.

K — железный сердечник; S_1, S_2 — шайбы из гетинакса; *S* — катушка; *A* — якорь; *U* — упор, *B* — управляющий штырь; *F* — контактные пружины; *L* — контактный лепесток для припайки провода.

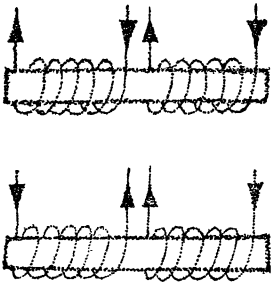
рация юстировки контактов. Несущей конструкцией реле служит железный сердечник *K*, имеющий прямоугольное сечение. Объем, который занимает обмотка катушки реле, определяется шайбами S_1 и S_2, изготовленными из гетинакса. Якорь *A* крепится таким образом, что может вращаться. Управляющий штырь *B* оказывает воздействие на контактные пружины. Реле монтируется на шине с помощью винта, помещенного в загнутом конце железного сердечника.

При прохождении электрического тока через катушку реле возникает магнитное поле. Якорь притягивается к сердечнику, в результате чего срабатывают контакты реле. Благодаря этому слабый ток, протекающий через катушку, может управлять сильным током, протекающим через рабочие контакты. При этом управляющая и управляемая электрические цепи оказываются гальванически разделенными.

В реле применяются различного типа контакты, которые показаны на рисунке. Замыкающий контакт разомкнут, когда реле находится в состоянии покоя, и замкнут, когда оно в рабочем состоянии. Размыкающий контакт замкнут, когда реле находится в состоянии покоя, а когда оно в рабочем состоянии, разомкнут. В переключающем контакте, когда реле находится в состоянии покоя, контакты размыкающей группы замкнуты, а замыкающей — разомкнуты, в рабочем состоянии картина меняется на противоположную. Комбинации из замыкающих, размыкающих и пере-

Название контакта	Условное изображение	Схематическое изображение
Замыкающий		
Размыкающий		
Переключающий		
Группа из двух замыкающих		
Двойной замыкающий		
Двойной размыкающий		
Последовательно коммутируемые замыкающий и размыкающий		
Последовательно коммутируемые размыкающий и замыкающий		
Группа из двойного размыкающего и замыкающего		
Группа из размыкающего и двойного замыкающего		
Группа из изолированных замыкающего и переключающего		

Контакты плоских реле.



Катушки реле с двумя обмотками.
Слева — обмотки одинаковой и справа — обмотки противоположной полярности.

ключающих контактов могут быть самыми разнообразными.

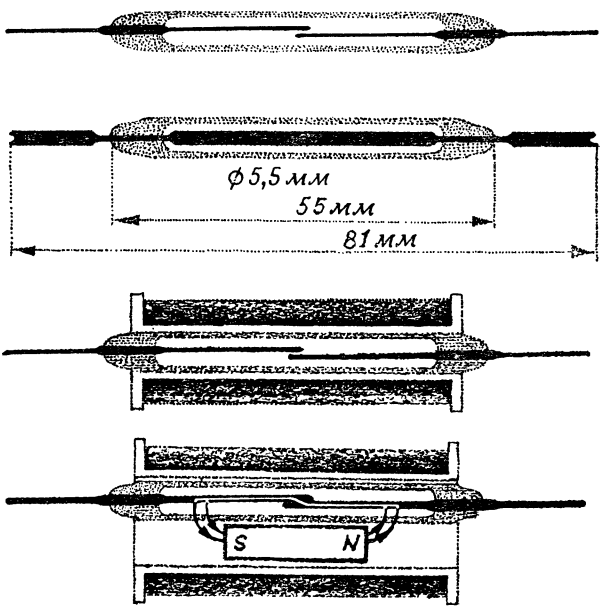
Работа реле зависит от цепи управления и определяется действием в ней различных по своим параметрам токов — тока срабатывания, тока удержания и тока отпускания. При токе срабатывания в управляющей цепи реле переходит из состояния покоя в рабочее состояние, при токе удержания реле удерживается в рабочем состоянии, а при токе отпускания оно переходит из рабочего состояния в состояние покоя. Условия возбуждения, создаваемые токами в управляющей цепи, обеспечивают необходимый режим работы системы. В ряде случаев реле оснащают несколькими обмотками, то есть несколькими управляющими цепями, воздействия которых либо складываются, либо вычитаются.

«Классическому» реле (например, плоскому) для перехода из состояния покоя в рабочее состояние или обратно требуется не менее 10 мс. Современные реле, например язычковое реле, срабатывают быстрее, однако и они для перехода из одного состояния в другое требуют по меньшей мере 1 мс. Следовательно, релейные переключатели могут выполнять не более сотни переключений в секунду.

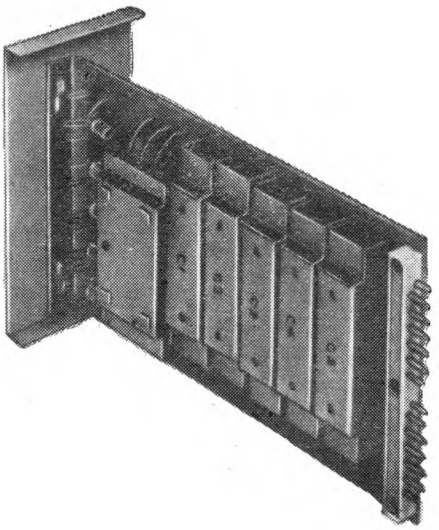
При отличной работе искрогасительной цепи контакты реле способны выдержать $10^7 \div 10^8$ циклов срабатывания. Таким образом, долговечность реле в телефонных коммутаторах порою превышает 25 лет.

Однако «классические» реле обладают и рядом существенных недостатков. Основные из них — это уже упоминавшаяся ограниченная скорость срабатывания и главным образом влияние окружающей среды на незащищенные контакты. Поэтому уже давно предпринимались меры по созданию реле с контактами, защищенными от вредных атмосферных воздействий. Так были созданы ртутные реле. Реле этого типа представляют собой вертикально стоящую стеклянную трубку с двумя впаянными контактами, в которую залита ртуть. Когда под воздействием электромагнитного поля плавающий железный якорь погружается в ртуть, то уровень ртути повышается и оба впаянных в трубку контакта оказываются соединенными ртутным столбиком.

Основной недостаток заполненных жидкостью реле — их чувствительность к положению. Поэтому было разработано так называемое сухое реле, контакты



Герметический магнитоуправляемый контакт (геркон) и реле с ним.



Реле с герметическим контактом, смонтированные на съемной схемной плате.

которого тоже защищены от воздействий окружающей среды стеклянной трубкой, но заполнена она газом.

Действительно ли язычковое реле «сухое»!

В противоположность только что рассмотренному ртутному реле язычковое реле на самом деле является сухим.

Язычковое реле называют по-разному: сухое язычковое реле, герметическое реле, реле с магнитоуправляемым контактом и т. д. Такое реле состоит из стеклянной трубки с защитным газовым наполнением и двумя впаянными в стекло контактами, концы которых несколько перекрывают друг друга. Между этими концами оставлен небольшой зазор. Обращенные друг к другу поверхности контактных язычков из ферромагнетика покрыты слоем благородного металла. Под воздействием магнитного поля контактные язычки притягиваются друг к другу и контакт замыкается. Причем

одна катушка может охватывать большое число таких контактов. Если внутри катушки рядом с контактом расположить постоянный магнит, то этот контакт окажется замкнутым и при отсутствии возбуждения в катушке. Если же поле постоянного магнита в достаточной мере ослабить встречно направленным полем катушки, то этот контакт разомкнется.

Быстродействие язычкового реле более чем на порядок выше быстродействия плоского реле: замыкание контакта происходит примерно за 1 мс. Особенно ценным качеством язычкового реле является надежная защищенность его контактов от внешних воздействий. К недостаткам этого реле относится трудность реализации ряда контактных групп (например, переключающего контакта).

Язычковые реле применяют в управляющих и регулирующих устройствах и в современных телефонных коммутаторах. Мы вернемся к ним еще раз при рассмотрении квазиэлектронных коммутаторов.

Контакт с памятью

Как явствует из самого названия, контакт с памятью должен обладать способностью к запоминанию.

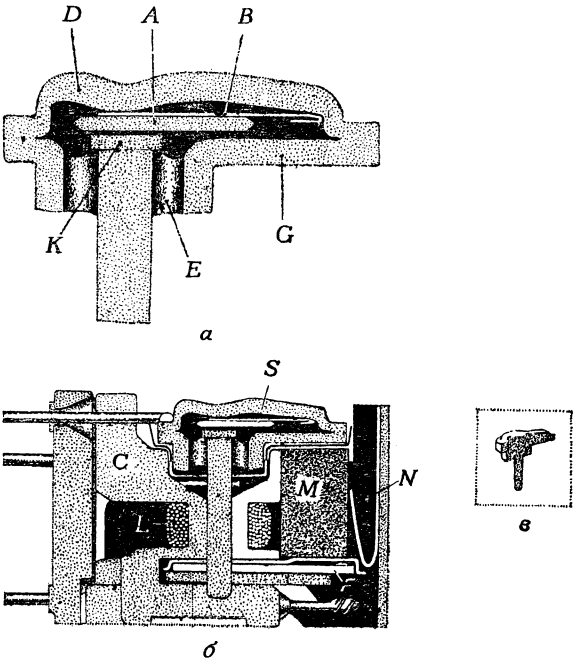
Мы уже говорили, что контакты язычковых реле при возбуждении тока в катушке замыкаются, а как только ток прерывается — размыкаются. Таким образом, для удержания контактов язычковых реле в рабочем состоянии необходимо длительное пропускание тока через катушку. Если же воспользоваться контактом с памятью, то длительного пропускания тока не потребуется. Чтобы привести такой контакт в рабочее состояние, достаточно короткого импульса тока. Контакт будет удерживаться в этом состоянии до тех пор, пока короткий импульс тока противоположной полярности не вернет его в состояние покоя. Каким же образом можно добиться того, чтобы контакт автоматически удерживался в любом из двух своих устойчивых состояний (состоянии покоя и рабочем состоянии)?

Рассмотрим в качестве примера герметический контакт в металлическом корпусе, изображенный на стр. 106 (вверху). Он состоит из основания *G* и крыш-

ки *D*. Якорная пластинка *A* из магнитомягкого материала закреплена на листовой пружине *B*, которая в свою очередь крепится к крышке корпуса. Неподвижный контакт *K* введен в корпус с помощью стеклянного впая *E*.

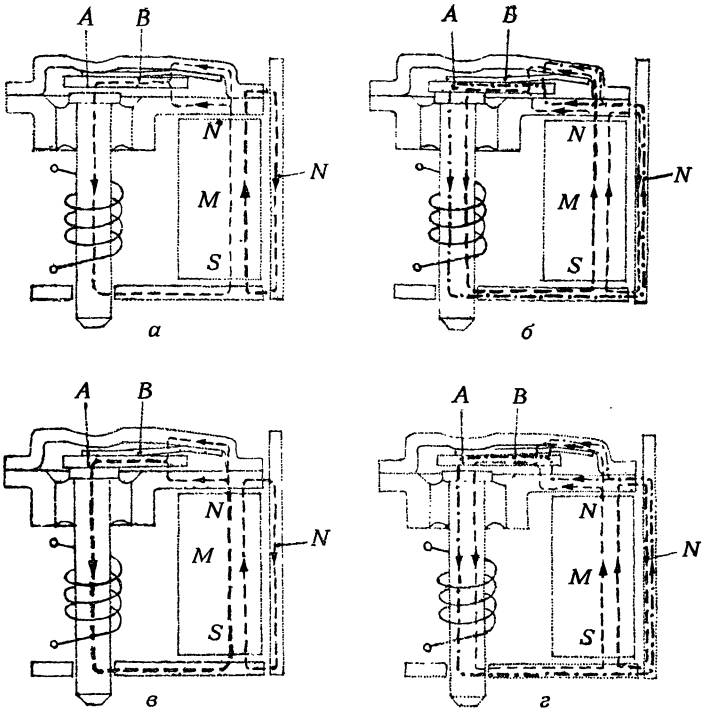
На нижнем рисунке показано реле. Оно состоит из контакта *S*, о котором мы сейчас говорили, каркаса катушки *C*, на который наматывается обмотка катушки *L*, постоянного магнита *M*, магнитного шунта *N* и магнитопровода *F*.

Принцип действия реле легко понять, разобрав рисунок на стр. 107. В состоянии покоя, когда катушка находится в невозбужденном состоянии, контакт разомкнут (*а*). Листовая пружина *B* прижимает якорную пластинку *A* к упору, расположенному на крышке корпуса. Магнитный поток, создаваемый постоянным магнитом, делится на две части: большая его часть про-



Герметический контакт и реле (в разрезе).

а — контакт; *б* — реле; *в* — контакт в натуральную величину.



Принцип действия реле с герметическим контактом.

ходит через шунт N, а меньшая — через контактную пару. Однако контакт разомкнут, и в этом месте магнитный поток встречает на своем пути воздушный зазор. Часть потока, проходящая через контакт, не может вывести последний из состояния покоя. Но как только в катушке реле возбуждается ток, магнитный поток в месте контакта возрастает настолько, что сила магнитного притяжения преодолевает силу пружины B и контакт замыкается (*б*). Он продолжает удерживаться в замкнутом состоянии и при отсутствии тока в катушке (*в*). Дело в том, что благодаря исчезновению воздушного зазора через контакт теперь проходит бóльшая по величине составляющая магнитного потока от постоянного магнита M. Именно она и удерживает контакт в рабочем положении.

Когда в катушке возбуждается импульс тока противоположной полярности, магнитный поток через контакт ослабляется и пружина переводит его в положение покоя (*г*).

Следует отметить, что в герметическом реле удачный принцип действия контакта сочетается с оптимальной для массового производства конструкцией. Так что, как видите, даже в век электроники находят применение электромеханические компоненты.

МОДНОЕ СЛОВО «ЭЛЕКТРОНИКА»

Сначала с электроникой все было очень просто и ясно. К ней относили все то, что содержало электронные лампы — лампы, в основе работы которых лежит взаимодействие свободных электронов в вакууме с электрическими и магнитными полями. Однако, спросив, что такое электроника сегодня, вы поставите меня — да и не только меня — в весьма затруднительное положение. В наши дни к электронике относят и средства передачи подвижных изображений, и электронно-вычислительные устройства, и измерительную электронную аппаратуру, и аппаратуру, которая разнообразит наш досуг (портативные транзисторные приемники, проигрыватели, магнитофоны). Самые разнообразные изделия, отдавая дань времени, отдают дань и электронике: выпускаются фотокамеры с электронными экспонометрами, автомобили с электронным устройством впрыска горючего, стиральные машины с электронным программным управлением, электронные часы и т. д. и т. п. Нет нужды продолжать — все мы достаточно наслышаны об этом [1].

В свете этих перечислений я не могу — да и это почти безнадежно — дать четкое определение понятию «электроника». Но я постараюсь рассказать о некоторых современных элементах электронных устройств и их возможностях. Это поможет вам понять, как случилось, что электроника не только породила новые от-

[1] Здесь нельзя не упомянуть о таких молодых, быстро растущих вширь ветвях электроники, охватывающих не столько области применения, сколько новые методы и средства самой электроники, как микроэлектроника, оптоэлектроника, квантовая электроника — *Прим. перев.*

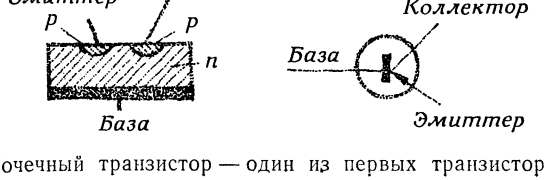
расли промышленности, но и произвела революцию во многих старых тридиционных областях, продолжая приобретать в них все большее и большее значение.

Электроны в кристаллах

Победное шествие электроники началось в 1948 г., когда Дж. Бардин и У. Браттейн изобрели транзистор. Однако многие специалисты отнеслись к новому прибору с большим недоверием. Измерения его параметров показали, что характеристики транзистора изменяются со дня на день и даже от часа к часу. Это вызвало определенный интерес, но лишь немногие тогда понимали, что новый прибор таит в себе большие возможности. К числу этих немногих в ГДР принадлежали сотрудники конструкторского бюро во главе с М. Фальтером на одном из предприятий связи в Тетлове под Берлином. В 1953 г. коллектив приступил к исследованиям транзисторов применительно к технике связи. Это положило начало развитию полупроводниковой промышленности в ГДР.

В первых транзисторах, так называемых *точечных транзисторах,* два металлических острия устанавливались на германиевом кристалле таким образом, чтобы места их контакта с кристаллом были расположены в непосредственной близости друг к другу. Конструкция в целом напоминала кристаллический детектор, широко применявшийся на заре развития радио. Спустя совсем немного времени точечный транзистор был вытеснен *сплавным транзистором,* который в большей степени удовлетворял требованиям к механической прочности и стабильности характеристик во времени.

Сплавной транзистор состоит из германиевой пластинки (Ge), в кристаллическую решетку которой введено некоторое количество атомов сурьмы (Sb). Внеш-



Точечный транзистор — один из первых транзисторов.

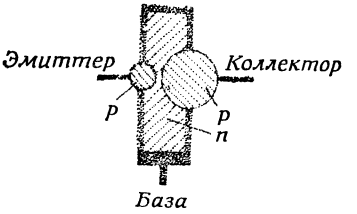
няя оболочка атомов германия содержит четыре валентных электрона (валентность — это свойство атома вступать в соединение с другими атомами), а внешняя оболочка атомов сурьмы — пять валентных электронов. С кристаллической решеткой германия могут быть связаны лишь четыре валентных электрона атома сурьмы — пятые электроны соответствующих атомов остаются свободными. Легко отрываясь от своих атомов, они движутся в кристаллической решетке. Поскольку свободные электроны являются носителями отрицательного электрического заряда, о таком германии говорят, что он обладает *электронной проводимостью* (германий *n*-типа и проводимость *n*-типа).

В такую германиевую пластинку с обеих сторон вплавляются «бусинки» из германия, в кристаллической решетке которого содержится небольшое число атомов индия (In). Так как внешняя оболочка атома индия содержит только три электрона, то валентный электрон соседнего атома германия не может быть связан. Возникает «дырка». Эти «дырки» образуются в кристаллической решетке на месте отсутствующих электронов, иными словами, отсутствующих носителей отрицательного заряда; в этом случае говорят, что германий обладает *дырочной проводимостью* (проводимость *p*-типа и германий *p*-типа).

Бусинки вплавляют в германиевую пластинку точно напротив друг друга. Расстояние между ними должно быть очень мало — до 10 мкм (сравните: толщина обычного лезвия бритвы составляет 0,1 мм, или 100 мкм, то есть в 10 раз больше расстояния между бусинками). Можете себе представить, насколько жестки требования, предъявляемые к точности и однородности процесса изготовления сплавных транзисторов?

Только что описанный транзистор, содержащий небольшую бусинку с проводимостью *p*-типа (она называется *эмиттером*), германиевую пластинку с проводимостью *n*-типа (она называется *базой*) и бусинку побольше с проводимостью *p*-типа (называемую *коллектором*), вы видите на рисунке на стр. 112, это транзистор *p—n—p*-типа.

Если к *p—n*-переходу (например, между эмиттером и базой транзистора) приложить постоянное напряжение таким образом, чтобы плюс соединялся с обла-



Сплавной транзистор — стандартный компонент электронных устройств 60-х годов.

стью германия, имеющего проводимость *p*-типа, а минус — с областью германия, имеющего проводимость *n*-типа, то свободные электроны атомов сурьмы и «дырки» атомов индия будут переходить к граничному слою между *p*- и *n*-областями и *рекомбинировать* в нем (представьте себе, что электроны падают в дырки) — через кристалл будет протекать электрический ток. В этом случае говорят о *направлении пропускания* или *прямом направлении.*

При изменении полярности (если плюс подавать на *n*-область, а минус — на *p*-область германия) электроны (отрицательный заряд) будут двигаться к положительному электроду, а дырки (положительный заряд) — к отрицательному (противоположности притягиваются). В этом случае в пограничном слое мы не найдем ни электронов, ни дырок и ток через кристалл проходить не будет. Это направление носит название *направления запирания или обратного направления.*

Вы, наверное, заметили, что, говоря о проводимости *p—n*-перехода, практически я рассказал о принципе действия германиевого диода, или выпрямителя. Это поможет нам разобраться в устройстве транзистора, или полупроводникового триода, который состоит из двух противоположно направленных *p—n*-переходов, имеющих одну общую область. Если объединены области *p* этих переходов, транзистор имеет структуру *n—p—n*; если объединены *n*-области, транзистор имеет структуру *p—n—p*.

Если между эмиттером и коллектором приложить напряжение в прямом направлении (см. рис. на стр. 113), то переход эмиттер — база окажется включенным в прямом, а переход база — коллектор —

в обратном направлении, иными словами, первый переход свободно пропустит электроны, а второй переход преградит им путь. Мы вправе ожидать, что в первом случае через переход будет протекать электрический ток, а во втором — нет. Но вопреки ожиданиям ток будет протекать и во втором случае. Секрет этого кроется в следующем.

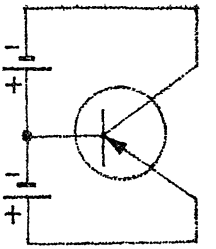
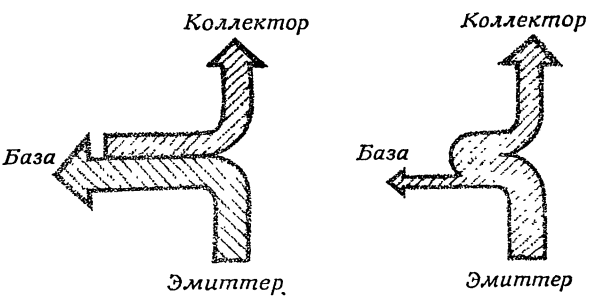


Схема включения транзистора.

Когда между эмиттером и базой в прямом направлении приложено небольшое напряжение, через переход эмиттер — база протекает ток. Так как толщина базы, как мы уже говорили, весьма мала, то большая часть электронов и дырок пересекает пограничный слой между базой и коллектором. Этот ток показан в левой части нижнего рисунка. Из него видно, что ток в направлении от эмиттера к базе больше, чем ток от базы к коллектору. Это и понятно, поскольку ток эмиттер — база является источником тока база — эмиттер. Из правой части рисунка видно, что ток в цепи базы представляет собой разность токов в цепи эмиттера и коллектора, так как оба эти тока в цепи базы направлены навстречу друг другу.

При изменении тока через переход эмиттер — база будет меняться и ток через переход база — коллектор. Оказывается, что с помощью слабого тока, протекающего от эмиттера к базе, можно управлять во сто крат большим током, который проходит с эмиттера через



Разделение тока в транзисторе.

базу на коллектор. Если в цепи базы ток не протекает, то величина тока в коллекторной цепи пренебрежимо мала, но, как только в цепи базы начинает протекать даже небольшой ток, величина тока в коллекторной цепи сразу же значительно увеличивается. Таким образом, изменяя ток базы, можно плавно изменять от нуля до некоторого максимального значения ток в коллекторной цепи. При этом максимальная величина коллекторного тока определяется величиной допустимого тока нагрузки данного транзистора. Чаще всего транзисторы рассчитаны лишь на несколько миллиампер, но бывают и мощные транзисторы, рассчитанные на нагрузку в несколько десятков ампер.

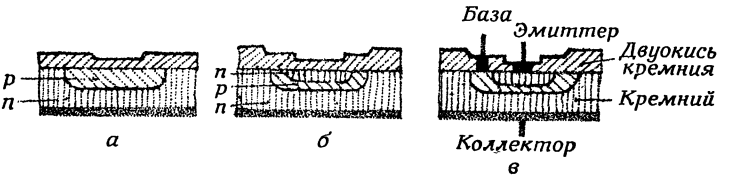
После появления сплавных транзисторов первоначальное недоверие к новому прибору сменилось убежденностью в его абсолютной надежности и безграничном сроке службы. Прежде чем наступило жестокое пробуждение, были построены ЭВМ с тысячами и десятками тысяч сплавных транзисторов. Однако оказалось, что транзисторы ведут себя ненадежно. Их частые отказы были вызваны в первую очередь влиянием на поверхность кристалла внешних факторов, чему способствовала недостаточная герметичность корпусов. Кроме того, сплавные транзисторы отличаются большим разбросом характеристик и относительно высокой стоимостью. Недостатком их является и ограниченное быстродействие (большая инерционность), а также низкая максимальная рабочая температура германия. Поэтому немало усилий было затрачено на создание транзисторов новых, более совершенных конструкций. Патентная литература того времени свидетельствует о неустанных поисках исследователей.

В 70-е годы стандартным полупроводниковым прибором становится транзистор, изготовленный по планарной технологии, или, как его чаще называют, *планарный транзистор*. В качестве полупроводника в нем вместо германия используется кремний, который допускает гораздо более высокие рабочие температуры. Место сурьмы при изготовлении кремния *n*-типа занял фосфор, а место индия при получении кремния *p*-типа — бор. Преимущества планарного транзистора становятся особенно наглядными, если рассмотреть технологию его изготовления.

Цилиндрическая заготовка кремния *n*-типа диаметром около 30 мм разрезается на плоские диски толщиной около 200 мкм, которые носят название подложки. Диски тщательно полируются, после чего их покрывают пленкой двуокиси кремния (кварцевой пленкой) толщиной около 1 мкм, которая предохраняет подложку от воздействий внешней среды. Затем подложка покрывается светочувствительным лаком (фотолак) и на нее накладывается маска, содержащая множество квадратных отверстий (окон). Размеры окон для маломощных транзисторов составляют около 0,5×0,5 мм, а расстояние между их центрами — около 1 мм. Через эти окна освещается фотолак. После проявления в кварцевой пленке, покрывающей подложку, с помощью кислоты вытравливают до 500 отверстий. Через эти отверстия в кремний *n*-типа диффундирует бор. Таким образом, в области «окошек» возникают слои кремния *p*-типа, глубина которых зависит от длительности процесса диффузии. После этого окна путем повторного окисления поверхности подложки закрываются кварцевой пленкой.

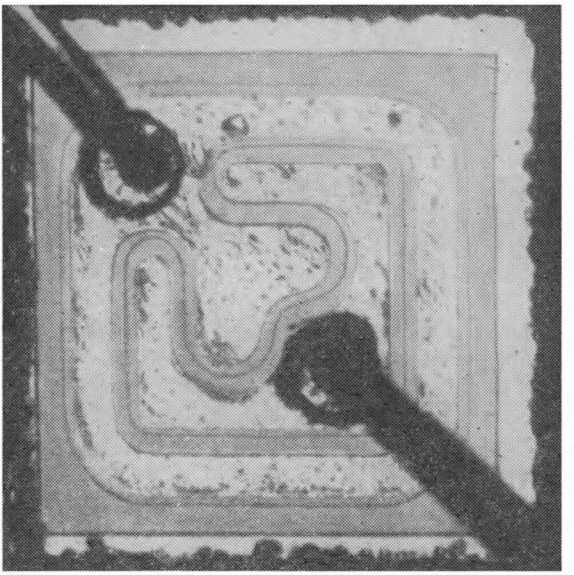
При последующих операциях таким же образом формируют отверстия меньших размеров, через которые в кремний *p*-типа диффундирует фосфор. Под меньшими отверстиями образуется слой кремния *n*-типа, толщина которого меньше, чем толщина слоя при первом диффузионном процессе. Затем поверхность подложки вновь окисляется.

В последний раз фотопроцесс и процесс травления повторяются с целью формирования металлических соединений, которые образуются при последующем напылении. После предварительных испытаний под-



Планарный транзистор — стандартный компонент электронных устройств 70-х годов.

а — подложка с базой, сформированной путем диффузии; *б* — подложка со сформированными путем диффузии базой и эмиттером; *в* — подложка с дополнительно сформированными металлическими контактами.



Общий вид планарного транзистора, сфотографированного с 50-кратным увеличением.

ложка разрезается на части соответственно количеству окон — каждая часть представляет собой транзистор. Эти транзисторы монтируют в корпуса и присоединяют к ним соответствующие контакты. В зависимости от типа транзистора из одной подложки таким способом можно изготовить от 40 до 1200 транзисторов. На фотографии вы видите такой транзистор.

Вы, наверное, обратили внимание на то, что планарный транзистор имеет структуру *n—p—n*-типа, поэтому подключать его к источнику питания следует противоположно рассмотренному ранее транзистору со структурой типа *p—n—p,* по принципу же его действия он не отличается от сплавного транзистора.

Надежность планарных транзисторов значительно выше, чем сплавных, но они тоже не вечны.

Напрашивается вопрос, является ли планарный транзистор оптимальным компонентом для схем техни-

ки связи, стоит ли, например, заменить реле транзистором?

Давайте сравним свойства транзистора и реле и попытаемся составить себе объективную картину.

Сопротивление металлического контакта в замкнутом состоянии практически почти равно нулю, однако в разомкнутом состоянии оно (строго говоря, сопротивление изоляции) чрезвычайно велико, поэтому последовательно и параллельно можно включать множество релейных контактов. Через металлический контакт можно пропускать постоянный ток любой полярности, переменный ток и постоянный ток, на который наложена переменная составляющая. Кроме того, металлические контакты выдерживают очень большие токи.

Сопротивлением транзистора в открытом состоянии можно тоже пренебречь, но сопротивление изоляции запертого транзистора следует учитывать (эта величина характеризуется в значительной мере током утечки транзистора). Ток утечки транзистора и приложенное к транзистору напряжение определяют сопротивление его изоляции. Уже поэтому (есть еще и другие причины) транзисторы или в общем случае электронные переключающие схемы нельзя включать произвольно последовательно или параллельно. Большинство типов транзисторов рассчитаны на пропускание постоянного тока только в одном направлении. При перемене полярности источника питания транзистор запирается или даже выходит из строя, поэтому транзисторы не пригодны для переключения переменных токов. Кроме того, транзисторы рассчитаны обычно на малые токи и напряжения. (Разумеется, существуют полупроводниковые приборы, рассчитанные на очень высокие напряжения и токи, например тиристоры, но мы имеем в виду лишь приборы, сравнимые и в экономическом отношении.)

У реле управляющая и управляемая цепи гальванически разделены. Кроме того, одно реле может переключать одновременно много цепей. В большинстве транзисторов управляющая и управляемая цепи гальванически связаны. Помимо того, транзистор имеет только один «рабочий контакт», который из-за гальванической связи с управляющей цепью не всегда может быть установлен в нужное положение!

Реле требуют для перехода из состояния покоя в рабочее состояние и обратно от 1 до 10 мс, а иногда и больше. Транзисторы работают гораздо быстрее. Быстродействующие транзисторы способны переключаться из запертого состояния в открытое и обратно в течение нескольких наносекунд (1 нс $=10^{-9}$ с). Транзисторные переключатели могут обеспечить несколько миллионов переключений в секунду, они обладают в миллионы раз большим быстродействием, чем релейные схемы.

Срок службы релейного контакта измеряется числом переключений, которое обычно составляет от 10^7 до 10^8 переключений, в то время как электронный «контакт» вообще не срабатывается, поскольку его переключения не связаны с механическими перемещениями.

Мы можем твердо сказать, что реле при всех своих многосторонних технических возможностях менее подходят для формализованной разработки схем с помощью булевой алгебры и таблиц Карно, чем электронные переключатели. Кроме того, многие использующие реле схемы возникли в то время, когда современные математические методы анализа и синтеза схем были еще неизвестны. И в то же время возможности этих старых схем исчерпаны настолько, что даже с помощью современных методов едва ли удастся втиснуть в них хотя бы одну контактную пружину.

Вы, наверное, уже почувствовали, что сама постановка вопроса, можно ли в век электроники заменить реле транзисторами, неправильна. Реле и транзисторы (или переключающие схемы) не исключают друг друга, а, напротив, дополняют. В зависимости от поставленной задачи следует выбирать тот или другой компонент, отдавая предпочтение наиболее экономичным решениям. Планарный транзистор не является оптимальным компонентом для всех электронных схем. И прежде чем мы займемся в следующем разделе вопросами миниатюризации, я хочу заронить в ваши души сомнение.

Несколько сотен транзисторов изготовляются одновременно в едином технологическом цикле, затем подложка разрезается на кристаллы и транзисторы поодиночке монтируются в корпусах. После этого сотни и да-

же тысячи транзисторов снова объединяются в одном электронном устройстве. Оптимально ли в самом деле такое решение?

Экономична ли миниатюризация?

Некий остроумный мужчина (а может быть, это была и женщина) сказал однажды, что в понятие «экономичный» каждый вкладывает свой смысл: одним при этом видятся громадные пачки стирального порошка, а другим — крошечные автомобили!

А как обстоит дело в электронике? Стремятся ли здесь, как и в автомобилестроении, все уменьшить в интересах экономии? Чего мы действительно можем ждать от микроэлектроники?

Заранее скажем: когда речь идет о «земных» применениях электроники, вопросы экономии объема и веса аппаратуры не являются первоопределяющими: электронное оборудование стоит дорого, гораздо дороже, чем арматура, в которую оно встраивается. (Другое дело, конечно, когда речь идет об аппаратуре, предназначенной для исследований в космосе.)

Но зачем же нужна микроэлектроника, если не для миниатюризации?

Благодаря общей устойчивой тенденции к автоматизации спрос на электронную аппаратуру из года в год резко возрастает. Задачи, которые предстоит решать, и технические способы применения отдельных электронных устройств становятся все многообразней. Отсюда возникает целый ряд требований:

а) рационализация разработки электронной аппаратуры;

б) поиски новых методов производства ее компонентов;

в) максимальная стандартизация, рационализация и автоматизация производства;

г) стремление к предельной простоте монтажа электронных устройств;

д) уход и профилактическое обслуживание электронного оборудования должны быть по силам малоквалифицированному персоналу;

е) повышение требований к надежности и сроку службы как электронной аппаратуры в целом, так и ее компонентов;

ж) повышение быстродействия электронных устройств;

з) предельное уменьшение мощности, потребляемой электронными устройствами (для упрощения отвода тепла);

и) снижение стоимости (разработки, монтажа и эксплуатации) электронной аппаратуры;

к) уменьшение объема и веса электронной аппаратуры.

Как же лучше всего удовлетворить перечисленным требованиям?

Прежде всего следует выбирать укрупненные многократно повторяющиеся схемные структуры, которые должны удовлетворять единым требованиям. Выбранные оптимальные варианты схем надлежит стандартизировать.

Став на этот путь, конструкторы вначале применяли стандартные элементарные схемы, собирая их из обычных компонентов, которые размещались на отдельных платах или монтировались в небольших кор-

пусах. Следующим шагом явилось создание компонентов единообразной конфигурации, что позволяло объединять их в более крупные схемные единицы (модули). Так, резисторы, конденсаторы и другие компоненты, изготовленные в виде прямоугольных пластинок, укладывались в столбик и соединялись между собой посредством внешних соединительных проводников [1].

Однако вернемся теперь к сомнениям, которые, я надеюсь, мне удалось заронить в вас. Нельзя ли все элементарные схемы, которые состоят из множества компонентов, сформировать с помощью диффузионного процесса на одном кристалле кремния? Другими словами, можно ли резать подложку на более крупные участки, которые будут содержать больше схемных единиц?

Тут сразу же возникает ряд проблем:

мы нуждаемся не только в транзисторах, но и в диодах, резисторах, конденсаторах и других компонентах;

все компоненты должны быть изолированы друг от друга (при изготовлении планарных транзисторов эта проблема решалась очень просто: разрезалась подложка и каждый транзистор монтировался в «своем» корпусе);

необходима технология, пригодная для создания простейшими способами электрических соединений между компонентами схемы;

очевидно, что для удобства формирования этих соединений выводы всех компонентов схемы должны находиться на одной стороне подложки.

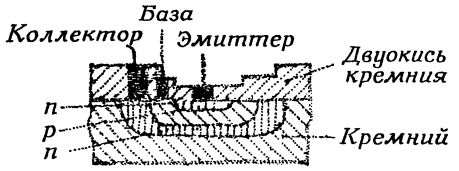
Вернемся к рассмотренному нами планарному транзистору. Контакты эмиттера и базы находятся у него наверху, а коллектор подключен к корпусу снизу. Следовательно, коллекторный контакт требуется вывести наверх, изолировав транзистор от подложки.

Как же решить эту задачу?

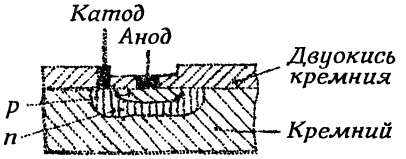
На подложке с проводимостью *p*-типа путем диффузии формируют коллектор, базу и эмиттер. И хотя прибавились операции по формированию базы (по сравнению с производством простого планарного

---

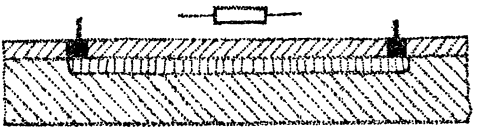
[1] Модуль такой конструкции называется этажерочным. — *Прим. перев.*



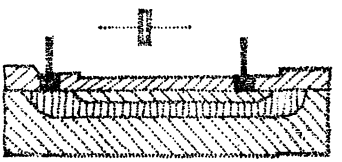
Планарный транзистор с выведенными на одну сторону контактами.



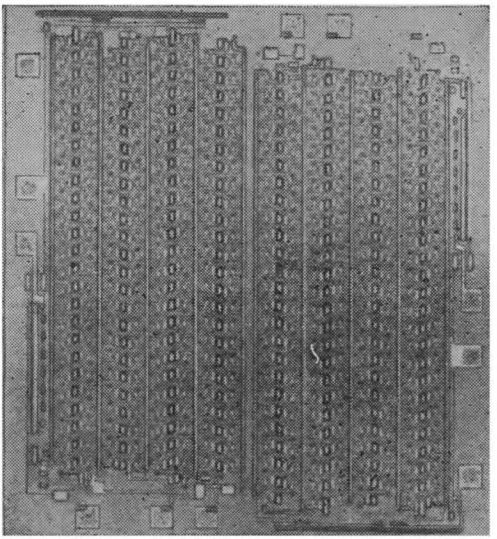
Диод, изготовленный по планарной технологии.



Резистор в виде длинного узкого канала в подложке.



Конденсатор, в котором в качестве диэлектрика служит запорный слой.



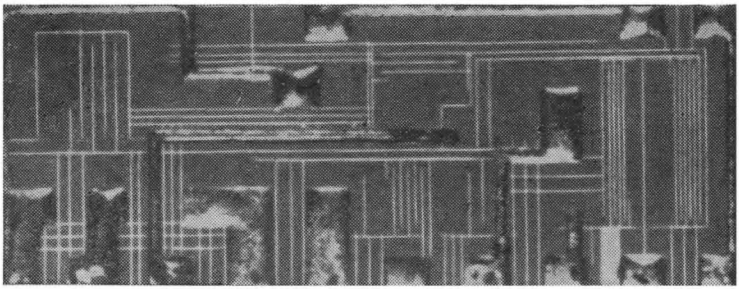
Интегральная переключающая схема (×50).

транзистора), зато все выводы контактов транзистора оказались наверху. Более того, между коллектором транзистора и подложкой образовался $p-n$-переход. Если к этому переходу (который представляет собой выпрямитель) приложить напряжение соответствующей полярности, то переход окажется запертым, а транзистор изолированным в «ванне»! При заземлении отрицательного полюса источника питания, который мы соединим с подложкой, можно быть уверенным, что $p-n$-переход между коллектором и подложкой будет всегда заперт.

Таким же образом получают диоды. Это наглядно показано на рисунке.

А каким образом, используя те же методы, получить резисторы и конденсаторы?

Резистор получают путем формирования в подложке длинного узкого канала с выводами на концах, как показано на рисунке. Сопротивление такого резистора зависит как от размеров канала, так и от режима процесса диффузии. Резистор может быть также изолиро-



Гибридная тонкопленочная переключающая схема (×5).

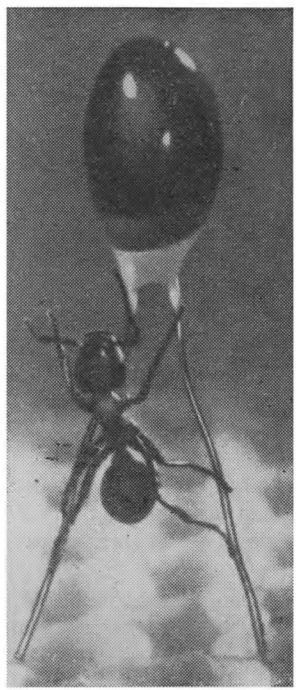
ван от подложки при помощи соответственно смещенного $p-n$-перехода. Обратно смещенный (запертый) $p-n$-переход не может изолировать лишь кремний p-типа от кремния n-типа. Две электрически разделенные плоскости, помещенные друг против друга, обладают емкостью, которая обычно нежелательна, но, как видно из рисунка, становится полезной в качестве емкости конденсатора.

Электрическое соединение компонентов схемы между собой осуществляется путем напыления на подложку соответствующего металла.

Таким образом, элементарные схемы можно сформировать с помощью процесса диффузии на одной подложке, а необходимые соединения выполнить путем напыления соответствующих проводников. Созданные таким путем схемы называются *интегральными* или *твердыми схемами* (общепринятое сокращенное обозначение ИС). На стр. 123 вы видите такую схему, увеличенную в 50 раз. Интегральные схемы содержат в небольшом объеме сотни компонентов. Дальнейшее развитие электроники идет по пути создания схем с еще более высокой степенью интеграции, то есть с еще большим уплотнением компонентов в единице объема. Такие схемы получили название больших интегральных схем, или БИС.

Сравнив перечисленные выше требования с возможностями интегральных схем (ИС), вы убедитесь, что техника ИС обладает более важными преимуществами, чем просто экономия объема и веса.

Технология изготовления микросхем может быть не только такой, как описана выше. Большое значение приобрели в современной микроэлектронике *тонкопленочные схемы*[1]. Для их изготовления в качестве подложки берутся пластинки из керамики или стекла. Соединения между компонентами тонкопленочной схемы получают путем напыления на подложку в высоком вакууме пленки из золота или серебра; для формирования резисторов используются нихромовые или танталовые пленки. Транзисторы на таких схемах в большинстве случаев монтируются на последующем этапе сборки. Правда, в лабораторных условиях уже удалось получить напылением и тонкопленочные транзисторы.



Каплеобразный танталовый конденсатор, размеры которого сравнимы с размерами муравья.

Схемы, в которых дискретные полупроводниковые приборы монтируются после формирования пассивных компонентов, называются *гибридными схемами.* Типичная гибридная тонкопленочная схема показана на фотографии, помещенной на стр. 124.

Практически почти любая обычная схема из дискретных компонентов может быть выполнена в тонкопленочном варианте. В этом основное преимущество тонкопленочных схем. Кроме того, их применение оказывается экономически выгодным даже при мелкосерийном производстве, в то время как толстопленочные интегральные схемы выгодны лишь при выпуске круп-

[1] В отличие от них рассмотренные выше интегральные схемы получили название толстопленочных. — *Прим. ред.*

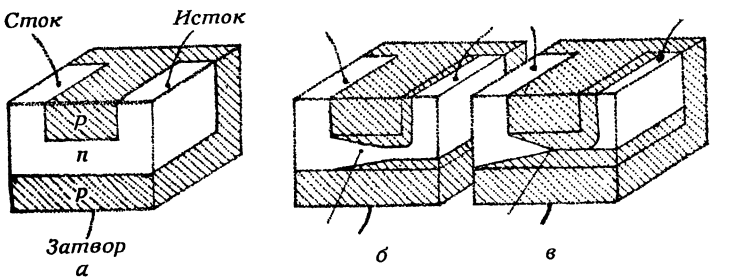
ных партий изделий, поскольку их подготовка к производству требует значительных затрат. Но при массовом производстве они оказываются дешевле своих тонкопленочных аналогов. Таким образом, толстопленочные и тонкопленочные схемы не столько исключают, сколько дополняют друг друга.

Что такое МОП-транзистор?

В заключение я хотел бы вам представить «ПТ» — *полевой транзистор,* который в последние годы получил широкое применение в технике.

Полевой транзистор содержит полупроводниковый токопроводящий канал, сопротивление которого зависит от величины электрического поля, перпендикулярного направлению тока. Различают полевые транзисторы с запорным слоем, в которых канал отделен от управляющего электрода запорным слоем, — они называются полевыми транзисторами с управляющим $p-n$-переходом — и полевые транзисторы с изолирующим слоем, в которых канал отделен от управляющего электрода изолирующим слоем, — они называются полевыми МОП-транзисторами (МОП — металл — окисел — полупроводник).

На рисунке вы видите схематическое изображение полевого транзистора с управляющим $p-n$-переходом. Два вывода его токопроводящего канала называ-



Принцип действия полевого транзистора с управляющим $p-n$-переходом.

а — токопроводящий канал полностью открыт; *б* — токопроводящий канал сужен; *в* — токопроводящий канал перекрыт.

ются *стоком* и *истоком,* управляющий электрод — *затвором.*

Если к каналу приложить напряжение соответствующей полярности, в нем потечет ток. Если теперь к управляющему электроду приложить отрицательное напряжение, то канал сузится и величина тока, протекающего через данное поперечное сечение канала, уменьшится. При возрастании отрицательного напряжения токопроводящий канал продолжает сужаться до тех пор, пока не перекроется совсем.

Принцип действия МОП-транзисторов приблизительно тот же, что и принцип действия транзисторов со структурой $p-n-p$-типа, поэтому мы не будем на этом останавливаться.

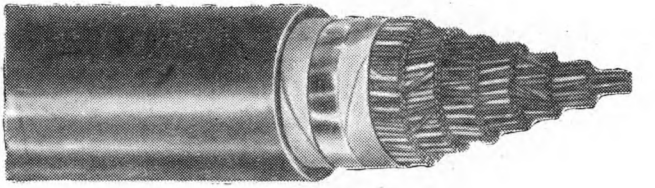
Как полевые, так и планарные транзисторы подходят для массового производства, их электрические свойства и технология изготовления позволяют объединять эти компоненты в схемы. К преимуществам полевых транзисторов относится то, что они управляются путем изменения напряжения, а не тока. Это обещает прибору и схемам на его основе большое будущее.

Даже в век радио мы не можем обойтись без проводов: именно современная техника связи опутала землю их паутиной.

В мире сейчас более 200 млн. телефонных аппаратов, и каждый из них подключен к телефонной станции парой проводов — *абонентской соединительной линией.* Эти линии объединены в толстые жгуты — кабели, которые тянутся от телефонной станции к *распределительным шкафам* (вы, наверное, видели их на улицах). Там кабели разветвляются и идут к оконечным распределителям, которые обычно устанавливаются в подвалах или подъездах домов. Одна из абонентских соединительных линий протянулась от оконечного распределителя к вашему телефону.

Соединение абонентов, которые хотят говорить друг с другом, осуществляется на *телефонных станциях* (как это делается, мы расскажем ниже). Очень часто абоненты подключены к разным районным телефонным станциям, поэтому последние должны быть связаны между собой соединительным кабелем.

Кабели, соединяющие между собой районные телефонные станции, образуют *местные линии;* кабели, соединяющие разные города, образуют *линии дальней связи.*



Телефонный кабель на 100 пар проводов.

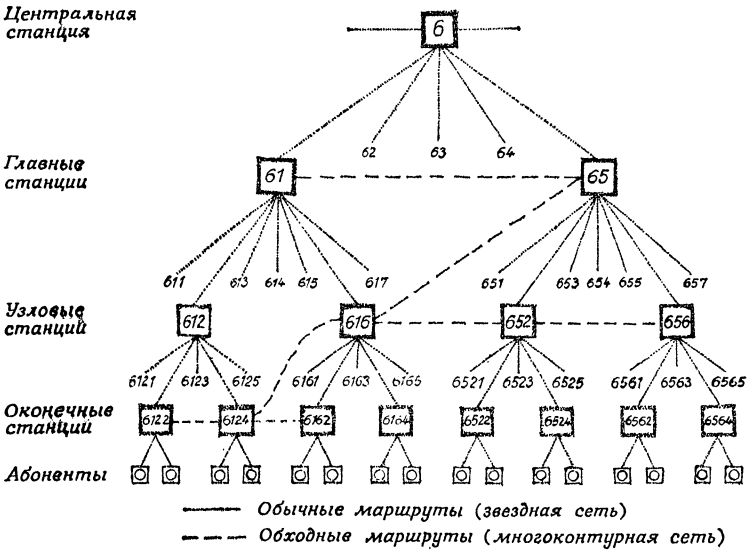
К сожалению, единая сеть проводных линий не может решить разнообразные народнохозяйственные задачи. Только железнодорожное сообщение нуждается в огромном количестве служебных каналов связи. Представьте, что могло бы случиться, если бы о прибытии скорого поезда нельзя было сообщить из-за затянувшейся беседы Томаса в Лейпциге с его Катрин в Халле! Железные дороги и энергосистемы страны нуждаются в собственных отдельных сетях связи. Кроме того, нужны телеграфные сети, например телетайпная сеть («телекс»), которая обслуживает своих абонентов (заводы, учреждения). Наконец, необходим и обычный телеграф, которым вы пользуетесь, например, чтобы послать поздравительную телеграмму.

На радиовещательных и телевизионных станциях связь между студиями и передатчиками ведется по своим служебным цепям, кроме того, на этих станциях имеются внутренние линии связи для технического персонала. Но в наше время хотят «говорить» между собой и электронно-вычислительные машины: вы, наверное, знаете, как важна передача различного рода данных для экономики страны. Ограничимся этими примерами. Они достаточно наглядно показывают, какое множество каналов связи пронизывает, подобно нервам в организме, все сферы жизни современного государства.

Провода, провода, провода...

как охватить вас одним взглядом, как овладеть вами и заставить работать с наибольшим экономическим эффектом? На примере государственных телефонных сетей мы попытаемся показать, как подходят к решению этих проблем.

Телефонную станцию низовой сети, непосредственно связанную с абонентами, называют *оконечной станцией.* Оконечные станции подключаются радиально к *узловым станциям,* или *телефонным узлам,* которые располагаются большей частью в черте города. Телефонные узлы связаны соединительными линиями с *главными станциями,* которые размещаются в большинстве случаев в центрах районного значения. Главные станции могут подчиняться *центральным телефон-*

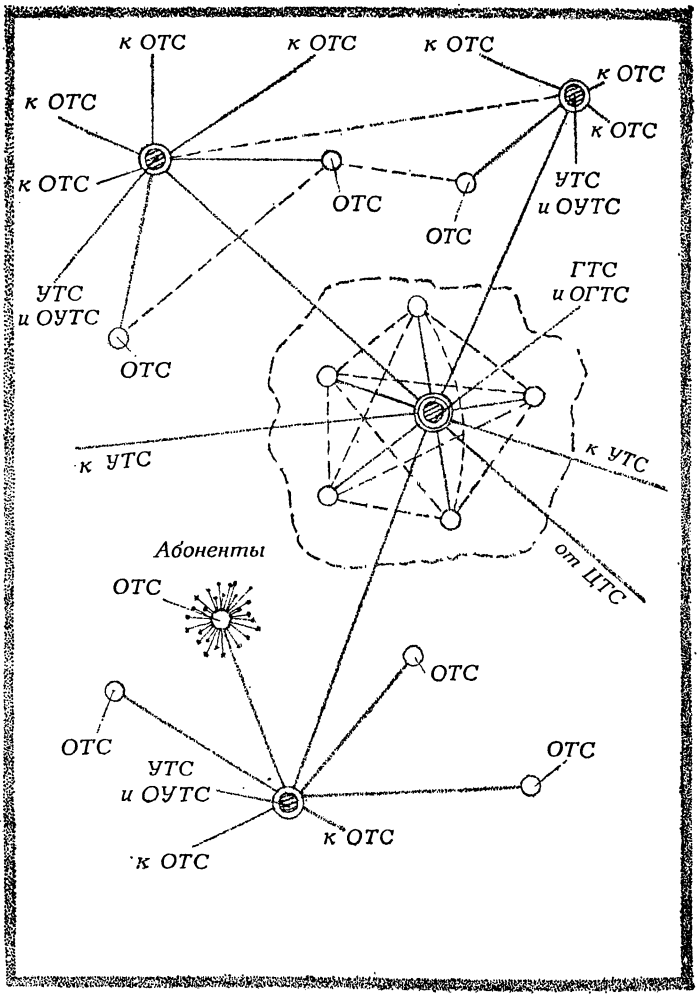


Структура телефонной сети.

ным станциям, которые выходят на уровень международных связей [1].

В поселке или небольшом городе чаще всего имеется только одна телефонная станция, если их несколько, то каждая станция связывается с остальными прямыми соединительными линиями. Такая многоконтурная сеть используется в случае интенсивного обмена между двумя станциями. Вся сеть станций соединена между собой радиальными линиями, на которые наложена многоконтурная сеть соединительных линий. Аппаратура телефонных станций построена так, что желаемые соединения устанавливаются прежде всего по обходным каналам многоконтурной сети (при их наличии), а затем уже по каналам радиальной сети.

[1] В основу создаваемой в Советском Союзе Единой автоматизированной сети связи (ЕАСС) положен радиально-узловой принцип, при котором вся территория страны делится на зоны. Магистральные телефонные линии, соединяющие между собой зоновые узлы автоматической коммутации, объединяют все зоны в единую сеть. Узлы автоматической коммутации соединяются между собой по принципу каждый с каждым. — *Прим. ред.*



Пространственная структура телефонной сети.

ОТС — оконечная, УТС — узловая, ЦТС — центральная, ОУТС — оконечная узловая телефонная станция.

Бывают случаи, когда мы не можем сразу соединиться с нужным абонентом: набираем, набираем его номер, но слышим лишь гудки «занято» уже после третьей или четвертой цифры. Действительно, иногда деловой служебный поток сообщений становится настолько интенсивным (например, во время международных Лейпцигских ярмарок на участке Лейпциг — Берлин), что каналов связи не хватает. Но разве нельзя проложить еще один кабель?

Делается все возможное, чтобы увеличить число телефонных каналов. Но, оказывается, прокладка нового кабеля — дело не столь уж простое.

Давайте прикинем, во что это выливается.

Для одного телефонного кабеля на 100 пар проводов при диаметре каждого провода (жилы) 0,8 мм на каждый километр линии потребуется 1 т меди. Проложив такой кабель между Берлином и Лейпцигом и закопав тем самым в землю 200 т меди, мы получим всего лишь 50 телефонных каналов, так как для разговора между двумя абонентами в обычном случае требуется две пары проводов — одна в прямом направлении, а другая — в обратном.

Оценив затраты, вы непременно задумаетесь, а нельзя ли по одной паре проводов вести одновременно несколько разговоров.

Тысяча разговоров по одной линии

Проблема одновременного использования дорогостоящих линий связи для множества разговоров не нова. Еще в конце прошлого века делались попытки «уплотнить» линии связи с помощью специальных схем. Но практически приемлемые методы *уплотнения линий* удалось разработать только после изобретения электронных ламп.

Диапазон частот нашей речи, передаваемой по обычным телефонным линиям, лежит в пределах 300—3400 Гц. При уплотнении линии связи по частоте по ней можно передать второй телефонный разговор уже в диапазоне 4300—7400 Гц, третий (диапазон тональных частот) — в диапазоне 8300—11 400 Гц и т. д. Этот метод уплотнения линий связи является основным прин-

ципом *высокочастотной телефонии, или телефонии на поднесущих частотах* [1].

В 1918 г. между Берлином и Ганновером была построена линия дальней связи, по которой, кроме телефонного разговора в диапазоне тональных частот, можно было вести еще два разговора по двум дополнительным высокочастотным каналам. Эти каналы были созданы путем простого переноса тонального диапазона частот в область более высоких (надтональных) частот.

Для такого переноса частот необходимы модуляторы, генераторы поднесущих частот и фильтры. Эти устройства позволяют уплотнить телефонную линию по частоте, то есть вести одновременно множество разговоров по одной паре проводов. На другом конце линии эти разговоры разделяются при помощи *фильтров,* после чего при помощи демодуляторов и генераторов поднесущих частот разговор каждого абонента переносится в исходный тональный диапазон частот. Таким образом, для одновременного использования проводной линии связи для множества разговоров на ее оконечных пунктах требуется специальная и довольно дорогая аппаратура. По этой причине высокочастотная телефония становится экономически целесообразной только тогда, когда перекрываемые расстояния достаточно велики.

Системы высокочастотной телефонии, или ВЧ-телефонии, могут удовлетворить почти любой спрос на телефонные каналы. Небольшая аппаратура уплотнения обеспечивает уплотнение линии связи двенадцатью телефонными каналами; могут быть построены системы уплотнения на 60—960 каналов. В последнее время разработана аппаратура уплотнения, которая позволяет вести одновременно более 10 000 телефонных разговоров.

---

[1] Принцип высокочастотной телефонии заложен в изобретении профессора Г. И. Морозова (1869 г.), которое заключалось в передаче телеграфных сигналов токами различных частот. Капитан русской армии Г. Г. Игнатьев и независимо от него Е. И. Гвоздев и П. М. Голубицкий предложили схему одновременной телефонной и телеграфной передачи методом частотного уплотнения. Впервые этот метод был продемонстрирован Г. Г. Игнатьевым в физической лаборатории Киевского университета в 1880 г. — *Прим. ред.*

Коаксиальный кабель для высокочастотной телефонии.

Когда по одной линии ведется 300 или более разговоров одновременно, вместо обычных кабелей дальней связи, состоящих из отдельных проводов, используют специальный кабель, устройство которого сходно с конструкцией телевизионного коаксиального кабеля (коаксиальная линия). Несколько таких коаксиальных линий (трубок) объединяются в общем кабеле.

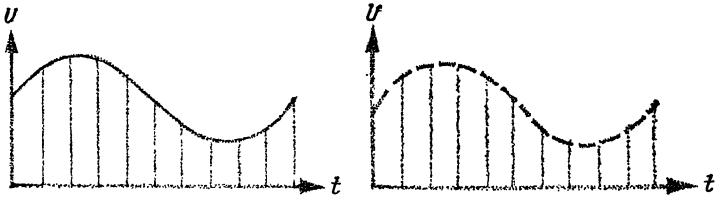
Кроме частотного уплотнения, существуют и другие способы одновременного использования проводных линий связи для множества разговоров. Рассмотрим еще один интересный метод.

Телеграфирование живой речи

Телеграфировать живую речь — есть ли в этом смысл? Передавать по телеграфу написанное слово — это еще понятно, но можно ли телеграфными методами передать живое слово, которое произносится и быстро, и медленно, и высоким голосом, и низким, да еще с характерной интонацией? Как и зачем это делать? Сначала я постараюсь ответить на вопрос «Как?», и тогда вам само собой станет ясно «Зачем?».

Мы знаем, что звуковые колебания человеческой речи можно преобразовать в колебания электрического тока с помощью микрофона. Для телефонного разговора, как мы уже говорили, используется диапазон частот от 300 до 3400 Гц. Известно, правда, что для радиопередач применяется гораздо более широкий диапазон частот, чтобы можно было воспроизвести басы органа и обертоны скрипки. Мы же удовлетворимся полосой частот, которая обычно используется в телефонии.

Рассмотрим колебания электрического тока, которые возникают в результате преобразования человеческой речи микрофоном. Нужно ли, в самом деле, пере-



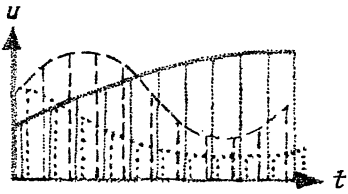
Принцип амплитудно-импульсной модуляции.

давать непрерывно все колебания? Нельзя ли попытаться «вырезать» из этого колебания отдельные «кусочки» (значения) и, передав их по линии связи, восстановить все исходное колебание? Оказывается, можно (посмотрите на рисунок). Для этой цели исходное колебание «опробывается» специальным устройством через равные промежутки времени. Величина импульса, полученного в момент опробования,— его высота — соответствует значению, которое колебание имеет в данный момент. В линию передается последовательность таких импульсов различного значения. Этот метод называется амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ). Теоретически найдено, что частота следования импульсов должна быть по крайней мере вдвое выше наивысшей частоты разговорного спектра, подлежащей передаче [1]. В этом случае на приемном конце можно восстановить по частям все исходное колебание. К сожалению, вдаваться глубже в детали этого метода мы здесь не можем.

Какие преимущества дает амплитудно-импульсная модуляция? В первую очередь то, что в промежутки между импульсами одного колебания мы можем вставить импульсы другого колебания и таким образом передавать по одной линии одновременно несколько колебаний (несколько разговоров).

Недостатком амплитудно-импульсной модуляции является необходимость укладывать величины передаваемых импульсов в заранее заданные границы. Таким образом, здесь мы еще далеки от преобразования передаваемой информации в двоичный код, который типичен для телеграфии.

[1] Применительно к системам связи это положение было доказано в 1933 г. академиком В. А. Котельниковым («Теорема Котельникова»). — *Прим. ред.*

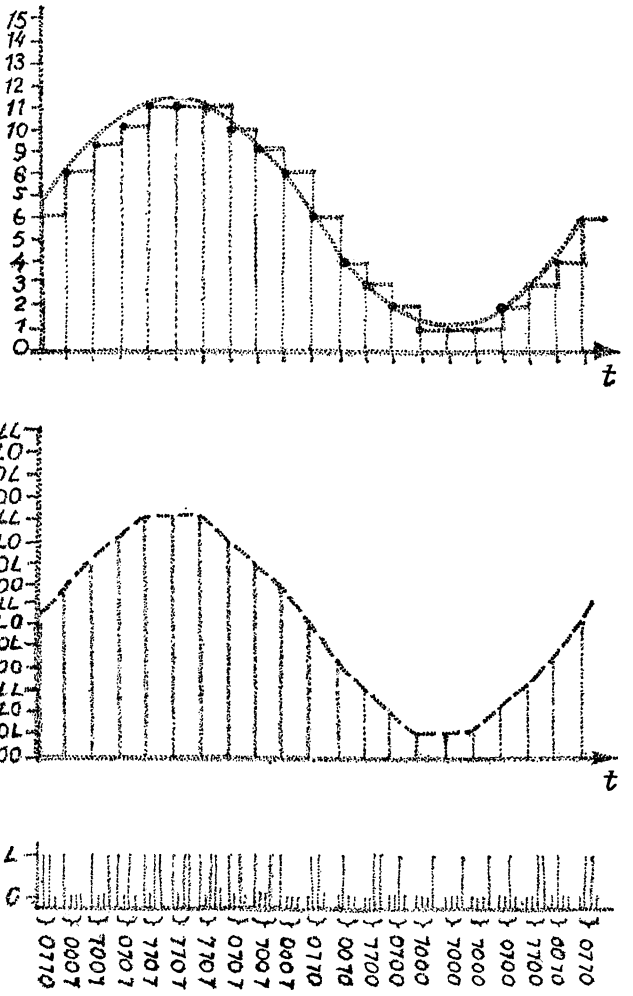


Передача трех АИМ-последовательностей, соответствующих трем телефонным каналам.

Представьте себе теперь, что мы измеряем величину каждого импульса и хотим выразить ее округленным числом. Если она изменяется в пределах 0,1 — 1 В и мы допускаем 10 округленных дискретных значений в этих пределах, то получим следующую таблицу:

Величина импульса, В	Дискретное значение, В
$\leq 0,15$	0,1
$>0,15 \ldots \leq 0,25$	0,2
$>0,25 \ldots \leq 0,35$	0,3
и т. д. до	
$>0,85 \ldots \leq 0,95$	0,9
$>0,95$	1,0

Таким образом, мы разбили величины импульсов на дискретные числовые значения (см. рисунок на стр. 137). На практике измеренные значения амплитуды импульсов разбивают не на 10 возможных дискретных значений, а на 128 или даже 256. Вам, наверное, уже стало ясно: измеренные и округленные числовые значения текущих величин импульса кодируются для передачи «телеграфным» способом в виде 7- или 8-разрядного кода. На приемном конце вначале восстанавливается последовательность импульсов, модулированных по величине, а затем и все исходное колебание. Поскольку мы не используем непосредственно значение величины каждого импульса, а передаем его в виде ко-

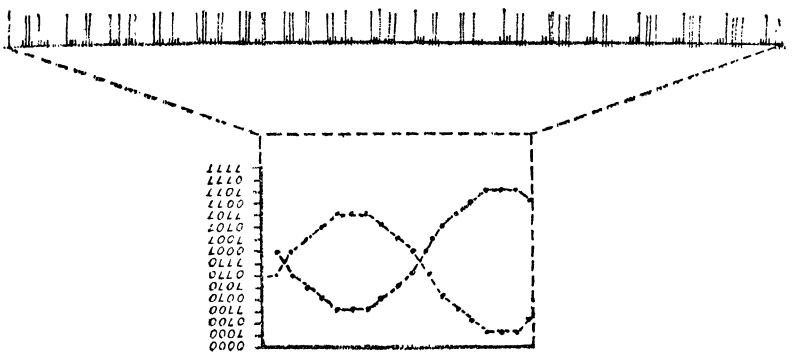


Принцип импульсно-кодовой модуляции.

дированного числа, то в данном случае речь идет об *импульсно-кодовой модуляции* (ИКМ).

В чем преимущества импульсно-кодовой модуляции? Мы можем передавать импульсы, которые соответствуют только сигналам 0 или 1, и восстанавливать их на приемном конце, отсеивая помехи, которые были внесены в передаваемый сигнал в передающем тракте. Правда, при таком способе передачи возникают особые шумы — *шумы квантования,* но они пренебрежимо малы по сравнению с шумами, возникающими обычно в передающем тракте (величина шумов квантования зависит от количества передаваемых дискретных значений). Однако, как и при амплитудно-импульсной модуляции, в паузах одной последовательности при ИКМ мы можем передавать кодовые импульсы другой последовательности. Таким образом, использование импульсно-кодовой модуляции — еще один путь уплотнения передающего тракта (см. рисунок).

ИКМ-системы передачи в настоящее время экономически оправдывают себя при уплотнении линий связи небольшим числом телефонных сигналов на малых или средних расстояниях. В высокоразвитых странах, в том числе и в ГДР, ведутся разработки и испытания различных ИКМ-систем. Посетителям Лейпцигской ярмарки 1970 г. демонстрировалась, например, ИКМ-система на 30/32 канала. С помощью этой системы по

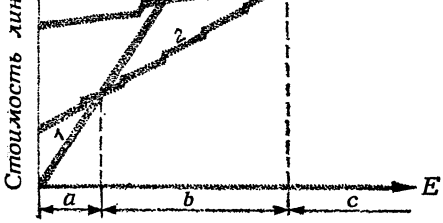


Передача методом ИКМ двух уплотненных телефонных разговоров.

двум сдвоенным парам проводов одновременно можно вести 30 разговоров, два дополнительных канала служат для синхронизации и служебной связи.

Какой способ уплотнения выбрать?

Мы видели, что сообщения можно передавать по проводным линиям в тональном диапазоне частот (без уплотнения) и можно уплотнять линию связи, разделяя сигналы по частоте или по времени. Какие же способы передачи наиболее рациональны? Совершенно ясно, что при выборе способа передачи решающим фактором может быть в конечном счете только экономика. Мы сейчас узнаем, что, к сожалению, нельзя выбрать один оптимальный способ на все случаи жизни. Напротив, если мы хотим достичь наибольшего технико-экономического эффекта, следует применять все три способа. На рисунке вы видите зависимость стоимости линии передачи от ее длины. Кривая *1* показывает, что стоимость одного тонального телефонного канала возрастает почти линейно (от нулевого расстояния). Изломы кривой объясняются тем, что на больших расстояниях для работы тональных каналов должны применяться усилители[1]. Применение систем ИКМ с разделением каналов по времени (кривая *2*) требует затрат на сооружение оконечных устройств линии. Эти первона-



Зависимость стоимости линии связи от ее длины.

[1] Промежуточный телефонный усилитель (телефонная трансляция) был предложен профессором В. И. Коваленковым и демонстрировался в 1915 г. на Всероссийском съезде инженеров-электриков. — *Прим. ред.*

чальные затраты не зависят от длины линии передачи. Кривая *2* от точки, соответствующей первоначальным затратам, изменяется также почти линейно, но она более полога, чем кривая тонального канала, поскольку в этом случае по одному каналу можно вести множество разговоров одновременно. Нарушения линейности, как и в тональном канале, объясняются включением через определенные интервалы усилителей. Эти интервалы относительно малы, так как ИКМ-системы работают в широкой полосе частот.

Многоканальные системы (кривая *3*) с уплотнением по частоте требуют — главным образом из-за крупных затрат на фильтры, генераторы поднесущих частот, модуляторы и демодуляторы — значительно бóльших первоначальных расходов на один канал, чем ИКМ-системы, но они позволяют, как показывает современная практика, лучше использовать линии связи, нежели ИКМ-системы. При частотном уплотнении расстояния между усилителями благодаря меньшей полосе частот могут быть гораздо большими, чем для систем импульсно-кодовой модуляции.

Попробуем с помощью графика на стр. 139 оценить некоторые величины. Вы видите, что тональные каналы являются экономически оптимальными до расстояний, обозначенных буквой *a*. На этих расстояниях не имеет смысла применять системы уплотнения, так как они требуют больших начальных затрат. Таким образом, рационально связать, например, две телефонные станции в пределах одного города. На расстояниях, обозначенных буквой *b*, экономически наиболее выгодно использовать ИКМ-аппаратуру, поскольку начальные затраты на сооружение оконечных устройств ниже расходов на сооружение самой линии. Практически ИКМ-аппаратуру целесообразно применять для соединения в больших городах удаленных друг от друга телефонных станций или для подключения оконечной телефонной станции к узловой.

Для расстояний, обозначенных буквой *c*, экономически оправдано применение систем уплотнения по частоте. Расстояния здесь столь велики и расходы на сооружение линии столь значительны, что они во много раз превосходят стоимость относительно дорогих оконечных устройств. Системы с частотным уплотнением

применяются прежде всего для связи между большими городами.

Вы видите, что нельзя односторонне подходить к выбору технических способов передачи телефонных сообщений. Чтобы найти необходимый оптимум, всегда следует исходить из технико-экономических (часто противоречивых) требований. При различных исходных данных для одной и той же системы этот оптимум может потребовать принятия одновременно нескольких технических решений.

А можно ли без проводов?

А почему, собственно, нет? Ведь радио и телевидение приходят в каждый дом без проводов, точно так же без проводов можно передавать и другую информацию, например телефонный разговор или данные измерений.

Но прежде нужно справиться с двумя трудностями:

а) иногда возникает необходимость в том, чтобы телефонные переговоры (и, разумеется, передача определенных данных) были скрытыми, их следует передавать таким образом, чтобы ни радиослушатель, ни радиолюбитель не могли эти переговоры подслушать;

б) диапазон волн, в котором ведутся радиовещательные, телевизионные и многочисленные передачи экономического характера, сейчас настолько перегружен, что свободные участки для новых служб практически отсутствуют.

Эти трудности можно обойти, если пользоваться все более короткими волнами, или, что одно и то же, переходить на все более высокие частоты связи [1].

Радиовещание ведется главным образом в диапазонах длинных и средних волн. Это соответствует диапазону частот 150—1500 кГц (от 2000 до 200 м).

---

[1] Напомним, что радиоволны распространяются со скоростью, равной 300 млн. м/с. Длина волны λ (в метрах) и ее частота f (в герцах) подчиняются соотношениям:

$$f = \frac{c}{\lambda}; \qquad \lambda = \frac{c}{f}.$$

Кроме того, заметим, что 1 кГц=1000 Гц, или 10^3 Гц; 1 МГц=1000 кГц, или 10^6 Гц; 1 ГГц=1000 МГц, или 10^9 Гц.

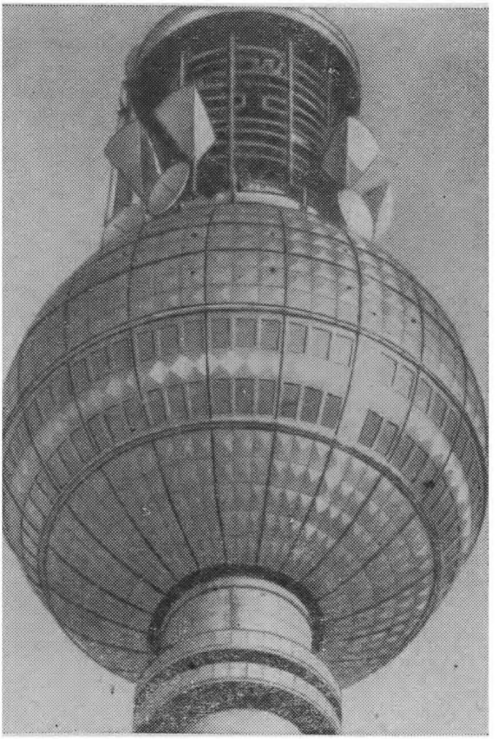
В коротковолновом диапазоне ведутся деловые передачи (например, буквопечатающая радиотелеграфия и радиофототелеграфия), работают любительские передатчики и вещательные станции, которые ведут в основном передачи на другие страны и другие континенты. Диапазон коротких волн простирается до 30 МГц, что соответствует длине волны 10 м.

К диапазону коротких волн примыкает вещательный диапазон УКВ и диапазоны частот, отведенных для телевидения. Этот диапазон, включающий некоторые участки для деловых передач (например, для транспортной радиосвязи, противопожарных служб и т. п.), простирается почти до 1 ГГц, что соответствует длине волны 30 см. В примыкающих диапазонах еще более высоких частот или более коротких волн отведены участки для некоторых других служб. В них работают, например, радиовещательные и телевизионные передатчики, которые передают свои программы по всей стране. Эти же участки используются для передачи программ Интервидения и Евровидения с целью обмена телевизионными программами между странами. Не на последнем месте в этом частотном диапазоне находятся линии передачи телефонных и телеграфных сообщений, а также линии передачи данных. В диапазоне дециметровых и сантиметровых волн излучение передатчиков легко фокусируется в виде луча при помощи направленных антенн, действующих подобно прожекторам. Распространение радиоволн в этом участке диапазона очень похоже на распространение света. Поэтому, а также вследствие кривизны земной поверхности передатчик и приемник должны устанавливаться на возможно более высоких точках на поверхности Земли. При благоприятном расположении передатчика и приемника дальность связи между станциями (дальность прямой видимости) в этом случае достигает 50—100 км. Для передачи на большие расстояния применяется ретрансляция сигналов, то есть принятый станцией сигнал усиливается и при помощи направленной антенны передается на следующую станцию и т. д. до тех пор, пока не будет преодолено необходимое пространство. Такие линии носят название *радиорелейных линий прямой видимости.* Таким образом, свойства распространения волн и направ-

ленность передач позволяют говорить о технике радиорелейной связи. Эта техника предоставляет разнообразные возможности использования различных частот для различных условий связи.

Передачи по радиорелейным линиям можно подслушивать только тогда, когда приемник находится в зоне главного луча передающей антенны.

Телевизионная башня, установленная на Александерплатц в Берлине, является узловым пунктом, который обслуживает север и юг страны. Ее высота 365 м. На этой башне расположен передатчик, обеспечивающий пять радиовещательных и две телевизионные программы. Телевизионные сигналы и сигналы высокоча-



Берлинская телевизионная башня.

стотной телефонии передаются здесь с помощью радиорелейных линий. В каждом направлении предусмотрено пять широкополосных каналов передачи и один резервный канал [1]. Каналы предназначены для передачи первой и второй телевизионных программ, передачи актуальных репортажей, а также для междугородной телефонной связи. Частоты передаваемых сигналов лежат в области 4 ГГц. Эти сигналы, модулированные по частоте, излучаются рупорными антеннами, расположенными на вершине башни.

Дополнительные линии, работающие в диапазоне частот 2 ГГц, используются для передачи УКВ-программ (из семи каналов шесть, два из них — для передачи стереофонической программы, седьмой канал является служебным) [2].

---

[1] Эти широкополосные каналы иногда называют стволами, поскольку по ним передается большой объем информации, например многоканальные телефонные сообщения, которые затем разветвляются к абонентам. — *Прим. ред.*

[2] Поскольку радиорелейные линии имеют большое число ретрансляционных станций (называемых промежуточными), то часть из них делается необслуживаемыми. Необслуживаемые станции управляются и контролируются с главной станции при помощи системы телеуправления и телеконтроля. Для этой цели каждая необслуживаемая станция может передавать на главную до 600 различных сообщений, а последняя посылает сигналы команд для необходимых переключений на необслуживаемых станциях. — *Прим. ред.*

ПОЗВОНИТЕ МНЕ!

Мы снимаем телефонную трубку и связываемся с нужным нам человеком независимо от того, находится ли он в соседнем доме, в другом городе, в другой стране или даже на другом континенте (разумеется, если наш телефон является вполне современным аппаратом). Хотя теперь мы не слышим в телефонной трубке того неприятного носового тембра, который был характерен для «передатчика звука» Рейса, тем не менее качество звучания все еще оставляет желать лучшего. Особенно это заметно, когда телефонный разговор ведется по радио. При обыденном употреблении телефона мы уже свыклись с типичным «телефонным тембром». Неестественное звучание человеческого голоса при разговоре по телефону имеет свои причины. Прежде всего, телефонный разговор передается на частотах, ограниченных диапазоном всего лишь от 300 до 3000 Гц (в радиовещании на УКВ частотный диапазон шире — он составляет от 30 и примерно до 15 000 Гц), так что обертоны человеческой речи теряются из-за срезания высокочастотных составляющих. Кроме того, неестественное звучание «телефонной речи» является следствием плохого качества угольного микрофона, который недостаточно точно преобразует звуковые колебания. Правда, уже существуют микрофоны улучшенной конструкции, но они требуют дополнительного усилителя. Кроме того, они (даже без усилителя) гораздо дороже обычных угольных микрофонов. В этом смысле введение их в эксплуатацию экономически невыгодно.

Отсюда следует, что имеет значение не столько качество звучания, иными словами, диапазон частот и степень искажений при телефонном разговоре, сколько

разборчивость речи. Возникает вопрос, можно ли эту разборчивость измерить объективными способами?

Оказывается, можно, если такие измерения тщательно подготовить и провести. Для измерений разборчивости речи составляются длинные списки независимых, так называемых искусственных слогов, например:

СКУН	ГОЙ	КРУХ	ЗЫРЬ
ВАХ	БОМЬ	САЩ	НЕСЬ
ТЫСЬ	ЖЕТ	ДЕРЬ	ШАШ[1]

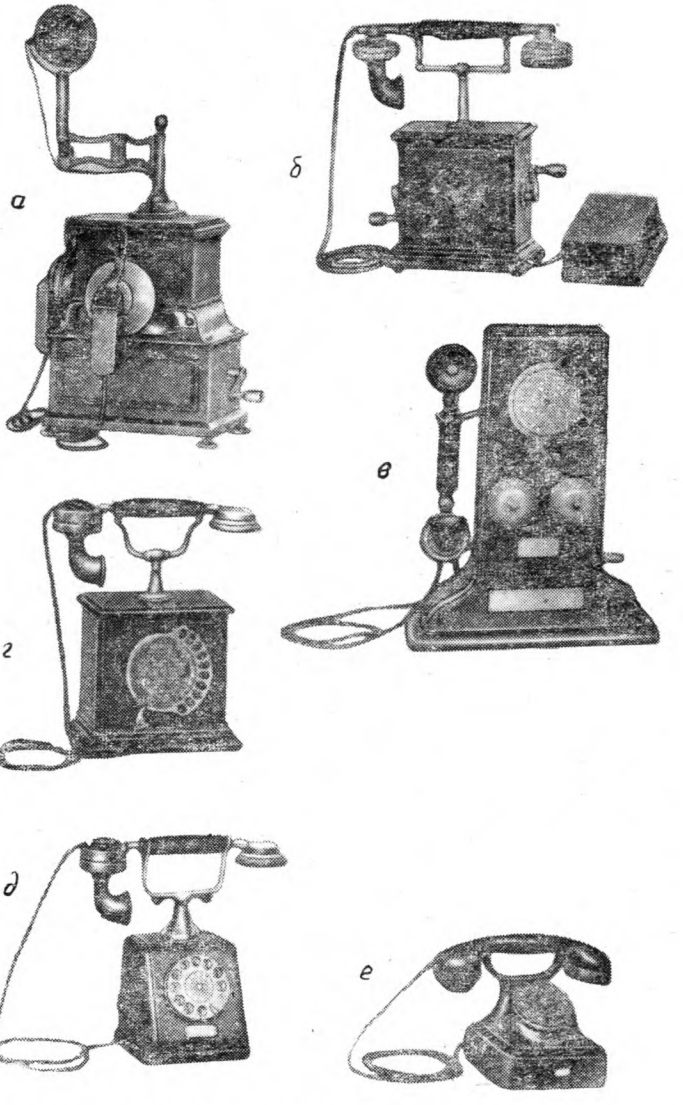
Для измерений подбирается специальная группа, которая должна состоять минимум из пяти человек, имеющих чистое литературное произношение и нормальный слух (остроту которого контролируют специальным прибором). При этом члены группы должны обладать по меньшей мере средним уровнем развития (в инструкциях по измерению разборчивости именно так и говорится!). Каждый из пяти членов группы один раз используется в качестве диктора, а в остальных случаях вместе с другими членами группы записывает то, что расслышал. Разборчивость измеряется многократно в разное время и определяется из отношения числа правильно услышанных слогов к общему числу переданных слогов (в процентах). Если, например, из 10 000 переданных слогов понято правильно 6000, то слоговая разборчивость составляет 60%.

Слоговая разборчивость, то есть разборчивость независимых искусственных слогов, сильно отличается от разборчивости осмысленных фраз. Это объясняется громадными комбинационными способностями человека (вспомните текст искаженной телеграммы!).

На графике представлена зависимость разборчивости фраз Σ от слоговой разборчивости S. Вы видите, что слоговая разборчивость, равная 20%, соответствует фразовой разборчивости, равной приблизительно 75%; при 60-процентной слоговой разборчивости вы понимаете почти все.

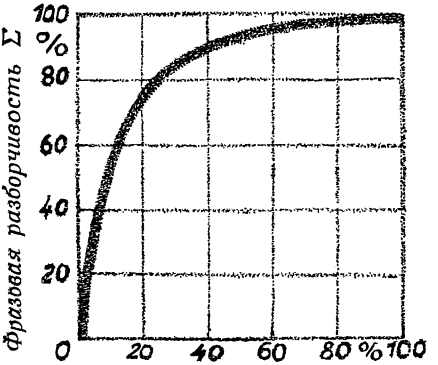
Слоговую разборчивость всегда можно повысить, например, путем использования более усовершенствованного микрофона, однако фразовая разборчивость

[1] Пример взят из ГОСТ 7153—68. — *Прим. ред.*



За прошедшие десятилетия телефонные аппараты становились все меньше, легче и элегантней.

а — телефонный аппарат прошлого века (8,2 кг), *б* — телефонный аппарат начала XX в. (5,3 кг) (оба аппарата подключались к ручным коммутаторам); *в* — телефонный аппарат 1907 г. с номеронабирателем (8,5 кг); *г* — аппарат 1912—1913 гг.; *д* — аппарат 1919 г. и *е* — достаточно современный аппарат выпуска 1928 г.



Зависимость фразовой разборчивости Σ от слоговой разборчивости *S*.

при этом повышается намного меньше, чем растут расходы. Мы начинаем искать экономический оптимум и приходим к классическому угольному микрофону!

Очевидно, следует вести поиски по созданию какого-то принципиально нового и в то же время дешевого микрофона. Не менее важно, однако, чтобы и телефонный аппарат в целом был экономически оптимальным прибором.

На помещенных здесь фотографиях вы можете увидеть, что предлагает вниманию абонентов промышленность ГДР, выпускающая телефонные аппараты. Посмотрев на них, вы, вероятно, скажете, что они выглядят вполне современно, очень подходят к вашей новой мебели по форме и хорошо, если бы подходили по цвету (белый, зеленый, голубой или желтый аппарат, конечно, выглядит более эффектно). Но достаточно ли этого?

Варианты «Варианта»

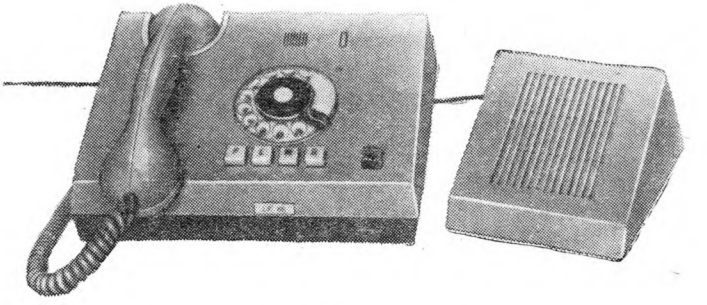
Теперь я перечислю вам различные варианты телефонных аппаратов:

телефонный аппарат в обычном конструктивном оформлении;

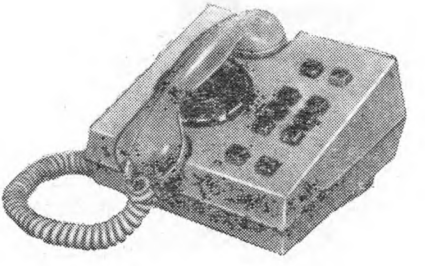
телефонный аппарат с заземляющей кнопкой;

Телефонный аппарат «Вариант» с заземляющей кнопкой.

Телефонный аппарат «Вариант» с устройством, позволяющим одновременно вести разговор по двум каналам (с переключением с одного канала на другой), и со съемным счетчиком поразговорной оплаты.



Громкоговорящий телефонный аппарат LF 66.



Настольный аппарат переговорного устройства для секретариата EVA 67.

телефонный аппарат с блокирующим устройством без заземляющей кнопки;
телефонный аппарат с блокирующим устройством и заземляющей кнопкой;
телефонный аппарат с поразговорным счетчиком оплаты без блокирующего устройства и заземляющей кнопки, без блокирующего устройства с заземляющей кнопкой, с блокирующим устройством без заземляющей кнопки, с блокирующим устройством и заземляющей кнопкой;
телефонный аппарат со счетчиком суммарной оплаты без блокирующего устройства и заземляющей кнопки, без блокирующего устройства с заземляющей кнопкой, с блокирующим устройством без заземляющей кнопки, с блокирующим устройством и заземляющей кнопкой.

Вас не удивляет такое разнообразие вариантов? Все они (а их будет еще больше, если мы примем во внимание различия во внутреннем устройстве аппаратов) сконструированы на одной основе, в которую вносятся добавления в соответствии с требованиями. Кстати, именно эта основная конструкция и носит название «Вариант».

Теперь рассмотрим варианты «Варианта». Телефонный аппарат в обычном исполнении нужен тогда, когда нам требуется позвонить из дома. Если ваш служебный телефонный аппарат подключен к коммутатору, в этом случае необходима дополнительная заземляющая кнопка, чтобы побочные разговоры не попадали в линию.

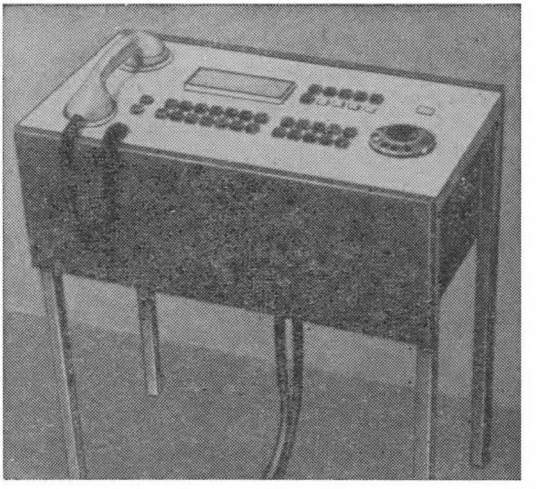
А зачем нужен аппарат с блокирующим устройством? Вот зачем: это устройство позволяет отключить аппарат в одном исходящем от вас направлении. При этом вас могут вызвать, но от вас позвонить нельзя. Такое «запирание» аппарата может потребоваться, например, в том случае, если вы не пожелаете, чтобы ваш 10-летний сын устраивал в ваше отсутствие телефонные конференции или пытался закрепить свои познания в русском языке телефонными разговорами со своим московским другом. Блокирующая схема имеет важное значение тогда, когда аппарат доступен всем и может быть использован злонамеренно (например, для бесплатных междугородных разговоров).

Телефонный аппарат со счетчиком позволяет вам контролировать расчеты с телефонной станцией. Счетчик оплаты переключается на одно деление при каждом платежном «импульсе». Сняв с него показания, вы видите, сколько стоит отдельный разговор. Счетчики бывают одноразового и суммарного действия. Разовые счетчики нужно каждый раз сбрасывать на нуль. Их включают перед разговором нажатием кнопки (установка на нуль), а в конце разговора считывают показания. Недостаток разового счетчика состоит в том, что его могут сбить (переставить) посторонние, чего нельзя сделать со счетчиком, показывающим сумму. Но при этом перед каждым разговором следует записывать предыдущие показания.

Однако я еще не закончил перечисление вариантов «Варианта». Вы будете, вероятно, поражены, узнав, что имеются телефонный аппарат с двухканальным устройством, громкоговорящие телефонные аппараты, переговорные устройства для секретариата, переговорные устройства для руководящего персонала, станционные телефонные аппараты.

Телефонные аппараты с двухканальным устройством также бывают всех перечисленных выше типов. Эти аппараты предназначены для одновременного подключения к двум линиям. Например, к линии, связанной с коммутатором, и к линии большей протяженности, связанной с ближайшей телефонной станцией. При помощи такого аппарата абонент может вести два независимых разговора и путем нажатия кнопки переключаться с одного разговора на другой. Аппараты, рассчитанные на две линии, более всего подходят для диспетчерской службы и других служб, связанных с координацией и передачей сообщений. Два аппарата, отличающиеся по тембру звонка, позволяют определить, откуда исходит вызов.

Громкоговорящие телефонные аппараты снабжены встроенным микрофоном и динамиком в отдельном корпусе, что позволяет вести разговор при неснятой трубке. Вы говорите в направлении микрофона и слушаете ответ собеседника через динамик. Если включен либо микрофон, либо динамик, обратной акустической связи не возникает. Переключения выполняются специальным электронным устройством, которое следит



Директорское переговорное устройство типа DIVA 68

Служебный аппарат для коммутаторов.

за речью собеседников[1]. Если в помещении находятся посторонние, которые не должны слышать ваш разговор, вы пользуетесь телефонной трубкой. Если в помещении ведутся разговоры, не предназначенные для ушей вашего собеседника на другом конце провода, вы нажимаете специальную кнопку.

Переговорные устройства для секретарей и администрации позволяют руководящим работникам предприятий и учреждений в какой-то мере снять с себя телефонную нагрузку. Все телефонные аппараты такого переговорного устройства связаны между собой по особой схеме. Они соединяются друг с другом простым нажатием клавиши. Входящие вызовы принимаются секретарем; в зависимости от их важности он отвечает сам или подключает к телефону руководителя. Секретарь может также связывать руководителя с нужным ему абонентом.

Небольшие переговорные устройства включают в себя телефонный аппарат для секретаря и два аппарата для руководителя. Такое устройство снабжено двумя общими соединительными линиями, связывающими его с коммутатором или с ближайшей телефонной станцией. Некоторые типы устройств предусматривают подключение к руководителю или секретарю дополнительных телефонных пар.

«Директорские» переговорные устройства позволяют осуществлять путем нажатия кнопки до 24 прямых соединений с абонентами. Когда директор снимает свою телефонную трубку, на двери автоматически зажигается табло «Телефон». Посредством специальной кнопки можно включить надпись «Переговоры». Другие клавиши служат для вызова рассыльного, для подключения к проходной и т. д.

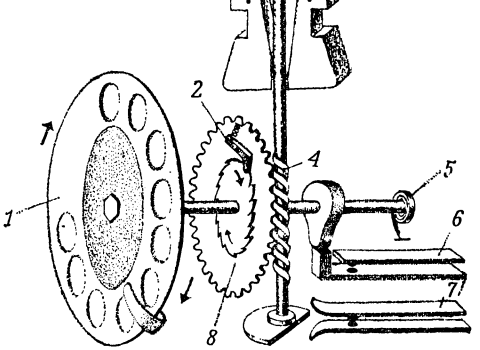
Директорские переговорные устройства пригодны для использования в качестве диспетчерских устройств, они могут оснащаться громкоговорящими устройствами, сочетая тем самым в себе преимущества обеих разновидностей аппаратуры.

---

[1] Акустическая обратная связь — явление, при котором звук из динамика попадает снова на микрофон, усиливается, вторично воздействует на микрофон через тот же динамик и т. д. Возникает воющий звук, который не позволяет продолжать разговор.

Станционные телефонные аппараты необходимы на коммутаторах, чтобы с их помощью, например, опрашивать входящие вызовы и обеспечивать необходимую связь. Они оснащены служебными линиями, позволяющими установить связь между коммутатором и центральной станцией, например, для заказа междугородных переговоров.

Мы не будем вдаваться в подробности устройства телефонных аппаратов (я представлю вам еще два их типа в следующих разделах), ограничившись лишь рассмотрением номеронабирателя, о котором уже упоминалось. Однако, чтобы понять его устройство, мы должны сделать небольшое отступление. Когда аппаратом не пользуются, его трубка лежит на рычаге (вилке), под воздействием которого переключатель разрывает цепь, отчего ток через аппарат не проходит; при этом звонок остается включенным (через него течет лишь вызывной переменный ток). Как только вы снимаете трубку, через один из проводов пары постоянный ток начинает течь от телефонной станции к аппарату и через второй — в противоположном направлении. Теперь телефонная станция «знает», что мы требу-



Принцип работы номеронабирателя.

1 — диск номеронабирателя; *2* — храповик; *3* — крыльчатка; *4* — червячный винт; *5* — заводная пружина; *6* — рабочий контакт номеронабирателя; *7* — импульсный контакт номеронабирателя; *8* — зубчатое колесо.

Телефонный аппарат «Вариант» с кнопочным набором.

ем соединения. Как же, однако, сообщить на станцию, с каким именно абонентом мы хотим говорить?

Очень просто: цифра за цифрой вы набираете вызываемый номер с помощью поворотов диска номеронабирателя. При обратном свободном ходе номеронабиратель ритмично прерывает ток, идущий к телефонной станции: один раз, если вы набрали единицу, два раза, если вы набрали двойку, и десять раз, если вы набирали нуль. На телефонной станции находится приемник, который считает число разрывов тока в цепи и предназначен для установления связи с необходимым вам абонентом. При наборе нуля диск номеронабирателя находится в движении ровно одну секунду. Таким образом, на один импульс (прерывание) и примыкающую к нему паузу (подключение) приходится $^1/_{10}$ с, или 100 мс. Если ток, текущий к телефонной станции, прерывается через короткие промежутки времени (<100 мс), то телефонная станция знает, что это импульсы набора; если ток прерывается через более длительные промежутки (>100 мс), это значит, что абонент положил трубку. Каким же образом прерывистый ток влияет на режим телефонной станции?

На рисунке на стр. 154 показан принцип работы номеронабирателя. При повороте диска пружина закручивается. Большое зубчатое колесо свободно сидит на валу и не вращается вместе с ним. Маленькое зубчатое колесо вертится в направлении, противоположном направлению запирания храповика. При обратном ходе диска храповик захватывает большое зубчатое колесо и крыльчатка ритмично начинает раз-

рывать импульсный контакт номеронабирателя. Поскольку периодические замыкания и размыкания тока могли бы вызвать неприятные помехи в телефоне (потрескивания), этот телефон во время посылки импульсов набора замыкается накоротко рабочим контактом. Регулятор крыльчатки обеспечивает постоянство скорости обратного хода диска — 10 импульсов в секунду.

Можно ли напевать в телефон?

Может ли абонент, набирая номер, насвистывать песенку? Очевидно, этот вопрос, если не покажется вам глупым, то во всяком случае удивит вас, и вы в свою очередь спросите, почему такое выражение радости могло бы быть нежелательным.

Уже и прежде случалось, что я не сразу отвечал на поставленный вопрос. Так же я поступлю и на этот раз и покажу вам еще один телефонный аппарат, фотография которого приведена на стр. 155. Речь идет еще об одном варианте «Варианта». Его особенность состоит в отсутствии номеронабирателя. Вместо него поставлена клавиатура — достаточно нескольких нажатий на клавиши, и нужная вам наборная информация будет передана на телефонную станцию. Это очень практично и удобно. Но, к сожалению, я должен сразу вас кое в чем разочаровать. За время короткого нажатия на клавишу невозможно послать такой импульс, который формируется номеронабирателем, поэтому эти великолепные телефонные аппараты нельзя подключать к обычным телефонным станциям, рассчитанным на прием импульсов набора. Они предназначены для новейших станций, которых сейчас очень, очень мало.

Как же передается сигнал набора с клавиатуры на телефонную станцию? Из различных способов, которые здесь могут быть применены, вошел в практику один — набор при помощи тональных частот. При нажатии на клавишу на телефонную станцию посылаются две частоты (два тона). Для каждой клавиши имеется свой состав частот. Клавиши соответствуют десяти цифрам — от единицы до нуля. Кроме того, имеются две дополнительные клавиши специального назначения. На телефонной станции размещаются приемники то-

Телефон-автомат М 69, по которому можно вызвать абонента как в данном, так и в другом городе. Аппарат рассчитан на монеты трех достоинств.

нальных частот, которые способны различать посылаемые частоты и выделять из сигнала посланные значения цифр. Частоты набора посылаются на телефонную станцию при помощи телефонного аппарата через абонентскую соединительную линию, по которой передается также и разговор. Поэтому значения наборных частот должны лежать в диапазоне 300—3000 Гц. И речь абонента (а также песня или музыка из стоящего рядом радиоприемника), и наборная информация, полученная нажатием клавиши, воспринимаются одним и тем же приемником тональных частот. Однако ваше соединение с тем или иным абонентом определяется конкретным составом наборных клавиш, которые вы нажимаете, а отнюдь не мелодией из «Летучего голландца».

Теперь вы, наверное, понимаете, почему я спросил вас, можно ли напевать в телефон?

Все, конечно, согласны с тем, что абоненту нельзя запретить петь, свистеть или слушать радио при снятой телефонной трубке. Как же различает приемник тональных частот тоны, набранные при нажатии клавиш и воспринятые микрофоном? Есть два способа. Во-первых, тональным частотам вызова, которые нам нужны, можно придать дополнительный признак, например при каждом нажатии клавиши ток в абонентской линии будет резко снижаться. Во-вторых, можно выбирать такие комбинации частот, которые практически никогда не встречаются ни в речи, ни в музыке. Этот способ позволяет получить весьма надежную защиту сигнала вызова от разговорных частот. Но если вы теперь спросите меня, эффективна ли такая схема защиты при передаче 12-тоновой музыки, то я должен признаться — вы требуете от меня слишком многого.

Клавишный набор служит не только для удобства абонентов, он сокращает время набора, ускоряет процесс соединения, благодаря чему телефонное оборудование и линии связи используются более эффективно.

Когда нет нужной монетки,

воспользоваться телефоном-автоматом нельзя, а ведь порой это может привести к роковым последствиям.

Мы говорили о разных типах телефонных аппаратов, а об одном из самых важных — телефоне-автома-

те — забыли. Все мы, конечно, хорошо знакомы с ним. Нередко мы встречаем его в телефонной будке поврежденным усилиями какого-нибудь юного, а порой и не очень юного «героя»; иногда он может молчать целыми днями, даже неизвестно почему (на телефонной станции тоже не хватает техников, обслуживающих автоматы). Но бывает и так, что телефон-автомат совершенно исправен!

Так как же быть, если автомат «совершенно исправен», но у вас нет нужной монетки, а поговорить вам необходимо с человеком, живущим в другом городе?

Тут есть три возможности: подождать доброжелательного прохожего, у которого найдется мелочь (будем надеяться, что ваш дом не горит), зайти в ближайшее почтовое отделение (если оно открыто) или же воспользоваться современным телефоном-автоматом, которые сейчас вводятся в эксплуатацию. Если поблизости от вашего дома такого аппарата еще нет, посмотрите, как он будет выглядеть, когда его поставят. Это телефон-автомат M69RFT.

Обратите внимание на отсутствие привычного рычага и кнопок — трубку удерживает металлическая скобка. Секрет внутри аппарата: касающаяся его трубка воздействует на контакт язычкового реле с помощью магнита, зажигается табло «Пожалуйста, платите». Вы бросаете мелочь в монетоприемник. Автомат рассчитан на монеты трех достоинств. На табло появляются цифры, показывающие, сколько денег принял автомат. Если вы бросите больше положенного, то лишние монеты будут вам возвращены через лоточек для возврата денег.

Вы набираете номер местного или междугородного абонента. Опущенные вами в монетоприемник деньги вызывают срабатывание специальной схемы, формирующей счетные импульсы. Определенное число этих импульсов погашает действие брошенных вами монет, причем сначала погашается действие самой мелкой из монет.

Если вы говорите с другим городом и монетоприемник почти пуст, зажигается надпись «Пожалуйста, платите!» Если вы этого не сделаете, автомат вас разъединит. Если вы не «наговорили» на всю опущенную вами в автомат сумму, можете остаток истратить на

дополнительный разговор. Но для этого следует положить и тут же снять трубку — аппарат сдачи не дает.

Вызов специальных или аварийных служб осуществляется бесплатно.

К сожалению, охрана телефонов-автоматов от упомянутых выше «героев» требует больших затрат. Это относится как к монетоприемнику, так и к телефонной трубке, на которую падки иные «радиолюбители». Новый автомат содержит для этого рода публики кое-какие сюрпризы, — я не буду вдаваться в их подробности, так как книга может попасть и к ним в руки.

ПРАВИЛЬНО ЛИ ВЫ НАБИРАЕТЕ!

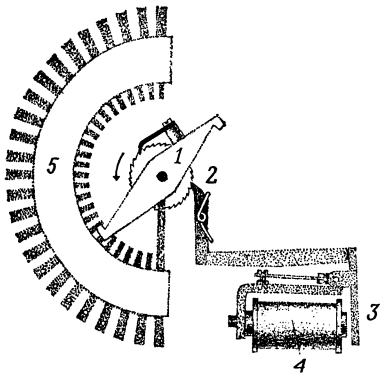
Перед публичным включением первой в Германии телефонной станции ответственный за ее пуск чиновник сказал: «Если она пойдет, все будет хорошо, если нет — в отставку пойду я!» Но она «пошла», больше того, принципы ее построения с успехом используются еще сегодня. Правда, созданная в то время система и ее компоненты позже были многократно модернизированы, но к создателям аппаратуры, которая выдержала такое серьезное испытание временем, нельзя не относиться с уважением.

Основные компоненты аппаратуры декадно-шагового поиска — это реле, о которых уже говорилось, и *вращательные* и *подъемно-вращательные шаговые искатели*. Щетки вращательных искателей имеют только одно направление вращения, а подъемно-вращательных — могут передвигаться в вертикальном направлении и совершать вращательные движения. Рассмотрим принцип действия современных подъемно-вращательных искателей с прямым управлением.

Мы управляем искателями

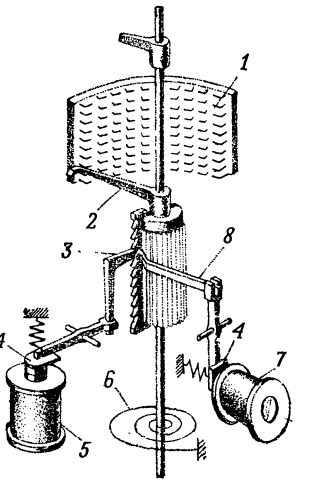
непосредственно с помощью импульсов, которые посылает номеронабиратель. Набирая цифру за цифрой, мы устанавливаем соответствующие искатели в нужное положение. Чтобы понять, как это происходит, познакомимся с устройством самого искателя. Начнем с вращательного искателя.

При возбуждении силового магнита *4* притягивается якорь *3* и щетки *1* с помощью храповика *2* начинают шаг за шагом передвигаться. Вращательный искатель



Принцип действия шагового вращательного искателя.

1 — щетка; *2* — храповик; *3* — якорь; *4* — электромагнит; *5* — контактное поле.



Принцип действия декадно-шагового искателя.

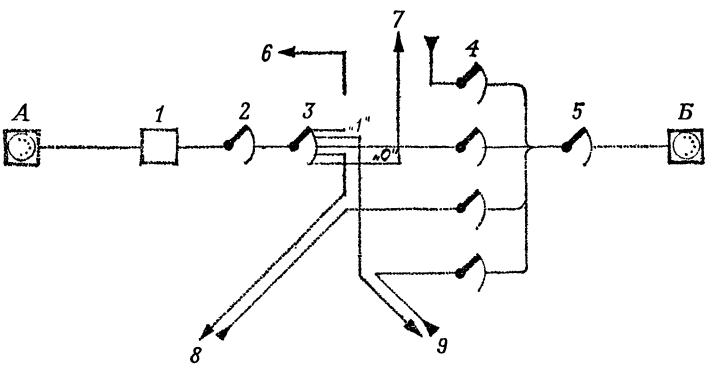
1 — контактное поле; *2* — щетка; *3* — подъемный храповик; *4* — якорь; *5* — подъемный электромагнит; *6* — пружина; *7* — вращающий магнит; *8* — вращающий храповик.

имеет не менее 10 выходов. Кроме того, искатель может находиться в положении покоя и в положении «выключено», в которых он останавливается. Если искатель не находит свободного выхода, вы слышите сигналы «занято».

Подъемно-вращательный искатель отличается от вращательного тем, что его щетки имеют два направления движения. При помощи шагового механизма они поднимаются на одну из десяти возможных вертикальных ступенек, а затем приходят во вращение под воздействием другого шагового механизма, пока не найдут свободного выхода (из десяти). Этот способ позволяет получить 100 выходов: 10 выходов на каждое из 10 вертикальных положений. Импульсы тока, которые приводят в действие шаговые механизмы, вырабатывает либо непосредственно номеронабиратель, либо они генерируются на телефонной станции — в этом случае искатели ищут свободную линию в заданном направлении. Исключение составляет лишь последний иска-

тель — *линейный,* который должен занять положение, соответствующее вызываемому абоненту: его щетки под действием наборных импульсов вызывающего абонента вначале поднимаются (предпоследняя цифра набираемого номера), а затем поворачиваются (последняя цифра набираемого номера). Таким образом линейный искатель подключается к одной из ста подведенных к нему абонентских линий. На примере линейного искателя вы видите, что на каждой ступени поиска должно быть множество искателей — нельзя удовлетвориться тем, что из ста абонентов в данный момент соединение может получить только один (на каждую сотню абонентов должно приходиться около 10 линейных искателей). К телефонной станции подключено намного более ста абонентов, поэтому формируют несколько групп по сто абонентов в каждой.

Как же осуществляется соединение с помощью искателей? Когда абонент *А* снимает телефонную трубку, его *предыскатель 2* включается с помощью схемы подключения абонента *1*; предыскатель шаг за шагом ищет положение, при котором окажется свободным *первый групповой искатель 3.* После этого абонент слышит продолжительный гудок, разрешающий начинать набор. Абонентская схема, предыскатель и пер-



Принцип соединения абонентов в местной сети с помощью прямого управления шаговыми искателями.

А — вызывающий абонент; *Б* — вызываемый абонент. *1* — схема подключения абонента; *2* — предыскатель (искатель вызовов); *3* — первый групповой искатель; *4* — второй групповой искатель; *5* — линейный искатель; *6* — выход к специальным службам; *7* — выход на междугородные связи; *8* и *9* — линии ввода — вывода к другим телефонным узлам.

вый групповой искатель размещены на телефонной станции, к которой подключен вызывающий абонент.

Абонент набирает первую цифру — и первый групповой искатель *3* поднимает свою щетку на столько шагов, сколько импульсов содержится в сигнале, соответствующем этой цифре. Достигнув заданного положения по высоте, искатель шаг за шагом поворачивается до тех пор, пока не найдет свободную линию в заданном направлении. Для соединения с абонентом, который подключен к той же телефонной станции, приводится в действие групповой искатель *4* этой же станции; для соединения с абонентом другой телефонной станции приводится в действие *второй групповой искатель* на этой второй станции (при помощи ее местных цепей).

Набирая вторую цифру, вызывающий абонент заставляет подниматься контактный рычаг второго группового искателя *4*, при этом искатель поворачивает свой рычаг до тех пор, пока не будет найден свободный линейный искатель *5*. Третья цифра ответственна за подъем, а четвертая — за вращение щетки линейного искателя. После всех этих манипуляций абонент получит желаемое соединение с *Б*.

Но если вызываемый абонент *Б* в это время разговаривает с другим абонентом, то абоненту *А* будут слышны сигналы «занято». Если вызываемый абонент свободен, он услышит звонки, а вызывающий абонент — низкие продолжительные гудки. Как только вызываемый абонент снял трубку, соединение можно считать состоявшимся, в некоторых аппаратах одновременно с этим включается счетчик оплаты.

Сколько абонентов может быть подключено к только что рассмотренной нами системе? Поскольку мы набирали номер из четырех цифр, то максимальное число абонентов составляет 10 000. Первая набираемая цифра 0 обеспечивает выход на городские связи. Номер, начинающийся с 1, связывает нас со специальными службами(например, службой времени). Таким образом, максимально мы можем подключить еще 8000 абонентов — к восьми телефонным станциям по 1000 абонентов, — которые все вместе образуют *местное контактное поле.*

На практике число абонентов в местном поле превышает 1000 — обычно их бывает до 10 000. В больших городах не всегда обходятся только восемью телефонными станциями. Поэтому применяют не два, как в нашем примере, а большее число групповых искателей (их может быть даже пять). Лишь в небольших поселках все абоненты подключаются к одной расположенной в центре телефонной станции.

Наверное, вам теперь понятно, почему описанная здесь аппаратура поиска на основе подъемно-вращательных искателей называется аппаратурой *прямого управления:* посылая своей рукой наборные импульсы, вы непосредственно шаг за шагом управляете процессом поиска. К примеру, сняв трубку в Берлине, в районе Шёневайде, вы получаете разрешение на набор (в виде продолжительного гудка) с телефонной станции этого района; первая цифра, набранная вами, устанавливает в нужное положение первый групповой искатель, который находится там же в Шёневайде. Но если вы первой наберете четверку, то окажетесь связанным со вторым групповым искателем, в районе городского центра; набрав после этого цифру 8, вы выйдете на линию Берлин — Панков и найдете там третий групповой искатель. Остальные цифры (от 4 до 5) определяют выбор конкретного абонента в Панкове.

К преимуществам техники прямого управления относятся прежде всего простые и ясные методы коммутации и удобная для обозрения структура системы. Но в то же время они не лишены недостатков, наиболее существенные из них — большие расходы на обслуживание подъемно-вращательных искателей и непригодность для автоматического набора четырехпроводных схем. Кроме того, в системах с прямым управлением каждая цифра набора всегда соответствует только одной ступени поиска, поэтому нельзя применять комбинацию цифр, обозначающих одну определенную «цель» (например, определенную телефонную станцию, с тем чтобы установить одну за другой те ступени поиска, которые соединят нас с желаемой телефонной станцией). И наоборот, каждая цифра набора требует отдельного искателя. Помимо этого, декадные номеронабиратели и прямое управление жестко связаны с декадной структурой сети. Поэтому во многих странах предпри-

нимаются попытки разработать систему связи, лишенную указанных недостатков.

Так, в ФРГ подъемно-вращательный искатель был заменен искателем с *машинным приводом*. Жесткий ход щетки искателя, вызванный толчками храповика, сменил упругий ход машинной тяги. Кроме того, для переключения телефонных пар стали применять металлические контакты из благородных металлов. Не вдаваясь в подробности дальнейшего развития техники непосредственного управления поиском, я попытаюсь теперь познакомить вас с принципиально иными средствами коммутации.

Шведы сумели сделать иначе

В первой главе мы уже говорили, что еще в 1923 г. в Гётеборге вошла в строй координатная телефонная станция, которая делает честь ее создателям. Что же представляют собой *координатные искатели* и как они работают?

Представьте себе, что десять выходов десяти вращательных искателей многократно соединены между собой, как это показано на рисунке. Такая схема соединений позволяет с каждого из десяти входов попасть на каждый из десяти выходов при условии, что последний свободен. Схема эта и представляет собой «координатный искатель 10×10». Ее особенность состоит в том, что для осуществления коммутации в точках пересечения установлены шаговые механические переключатели. Однако с точки зрения технической реализации координатного искателя гораздо проще в каждой точке пересечения включить реле. Тогда искатель будет содержать сотню релейных катушек. Этот путь, очевидно, приемлем лишь тогда, когда имеются достаточно дешевые и надежные реле. Но в начале века таких реле не было. Поэтому пришлось пойти по пути создания системы приводов с механическими щетками, которые могли бы заменить в каждой точке пересечения катушку и якорь реле. Как реализуется эта идея сегодня, вы видите на рисунке на стр. 168.

Чтобы понять принцип действия устройства, вернемся снова к координатному искателю 10×10. Если поставить в точках пересечения реле, потребуется 100

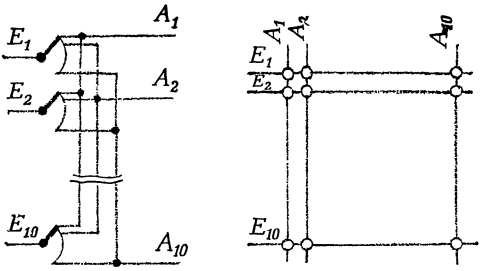
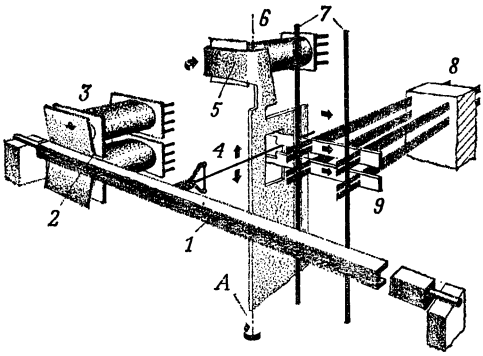


Схема многократно соединенных между собой шаговых искателей, образующая координатное поле с десятью входами и десятью выходами.

электромагнитов, 100 якорей и 100 комплектов контактных пружин. Но вместо пары контактных пружин можно применить один пружинный контакт, который будет прижат к вертикально расположенному контактному проводу. Кроме того, 100 электромагнитов можно заменить двадцатью: 10 для «строк» и 10 для «столбцов» координатного поля.

С 10-ю электромагнитами, которые относятся к «строкам», связаны 5 горизонтальных шин, расположенных через каждую пару выбирающих электромагнитов; эти шины могут немного поворачиваться в одну или другую сторону. На каждой шине имеется 10 пружинящих выбирающих пальцев, которые в состоянии покоя находятся между контактными пружинами (каждый палец обслуживает, таким образом, одну из двух контактных групп); каждая шина снабжена 10-ю выбирающими пальцами, поэтому она может обслуживать 20 контактных групп (5 шин соответственно обслуживают 100 контактных групп). Если возбуждается нижний выбирающий электромагнит, то соответствующая горизонтальная шина сдвигает 10 выбирающих пальцев вверх к 10-и соответствующим контактным группам; если же возбуждается верхний выбирающий электромагнит, то шина просто сдвигает пальцы вниз.

10 удерживающих электромагнитов, соответствующих «столбцам», связаны с 10-ю вертикальными шинами, которые при помощи электромагнитов могут вращаться вокруг своей вертикальной оси. Если такая шина сдвигается, то это происходит почти в направле-



Координатный искатель.

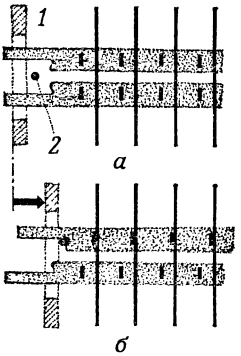
1 — горизонтальная шина; *2* — якорь выбирающего электромагнита; *3* — выбирающий электромагнит; *4* — выбирающий палец; *5* — якорь удерживающего электромагнита; *6* — удерживающий электромагнит; *7* — вертикальные шины; *8* — комплект контактных пружин; *9* — управляющие пластины. *А* — ось удерживающего электромагнита.

нии активной опоры контактной группы (таких шин — 10, каждая из них связана с соответствующим «столбцом» поля). Но если вертикальная шина поворачивается, то выбирающий палец закрывает соответствующий промежуток; взаимодействие пальцев и якоря удерживающего электромагнита вынуждает контактную группу выполнить соответствующие переключения. Теперь горизонтальная шина может возвратиться в состояние покоя (промежуточное состояние), а палец останется крепко зажатым (он упруго гнется). Удерживающий электромагнит возбуждается до тех пор, пока точка пересечения остается замкнутой. Все ли вам ясно? Повторим теперь это снова в сжатом виде:

1) возбуждается выбирающий электромагнит — выбирающие пальцы «выбирают» одну из 10-ти «строк»;

2) возбуждается удерживающий электромагнит — выбранная точка пересечения изменяется, и благодаря взаимодействию с якорем удерживающего электромагнита прочно зажимается выбирающий палец;

3) отключается выбирающий электромагнит — горизонтальная шина, возвратившись в состояние покоя, находится в готовности для дальнейших перемещений пальцев, использованный палец остается крепко зажатым;



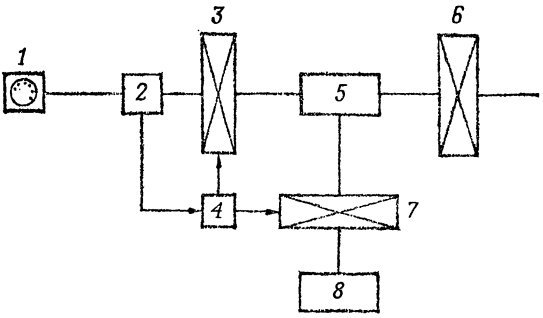
Управление контактами в пересечениях.

а — пружинящий выбирающий палец и якорь удерживающего электромагнита в состоянии покоя, все контакты разомкнуты; *б* — выбирающий палец «отметил» верхний ряд контактов, якорь удерживающего электромагнита оказывает давление вправо на выбирающие пальцы и их управляющие пластины, верхний ряд контактов покоится на вертикальных шинах. *1* — якорь удерживающего электромагнита; *2* — выбирающий палец.

4) только тогда, когда контакт в точке пересечения должен разомкнуться, отключается удерживающий электромагнит.

Таким образом, в координатном искателе почти одновременно осуществляется множество соединений, но они должны следовать друг за другом. Мы видим, однако, что координатный искатель несколько «глупее» шагового искателя: шаговый искатель может считать, что его переключения осуществляются наборными импульсами, а координатный искатель нуждается в особом устройстве — маркёре, который управляет магнитами, прокладывающими нужное соединение.

Системы координатной коммутации было бы неправильно относить к системам с прямым управлением, так как координатный искатель не может обрабатывать наборные импульсы абонента. Такие системы получили название систем с *косвенным управлением.* В связи с этим в системах координатной коммутации часто отказываются от ступенчатой прокладки маршрута соединения, обусловленной ступенчатым набором, выполняемым абонентом, и переходят к косвенному управлению, на свойствах которого мы коротко остановимся.



Соединение регистров в местной сети при косвенном управлении. *1* — абонент; *2* — абонентские станционные приборы; *3* — абонентский соединитель; *4* — маркёр; *5* — преобразователь питания; *6* — первый групповой соединитель; *7* — соединитель регистра; *8* — регистр.

Когда абонент *1* снимает трубку, маркёр *4* получает от станционных приборов абонента *2* команду связать его при помощи устройства *3* со свободным преобразователем питания *5* и дальше через соединитель регистров *7* со свободным регистром *8*. Регистр посылает сигнал готовности набора. Абонент производит набор, и эта информация считывается регистром и запоминается. Только после того, как абонент передал на регистр всю информацию, определяющую цель его соединения, регистр начинает прокладывать соединение с первым групповым искателем *6*. Поскольку имеется полная информация о наборе, дальнейшую прокладку соединения можно производить гораздо эффективнее, чем при прямом наборе. Поиск соединения продолжается даже тогда, когда все прямые каналы уже заняты,— регистр может найти свободный обходный канал через другую телефонную станцию.

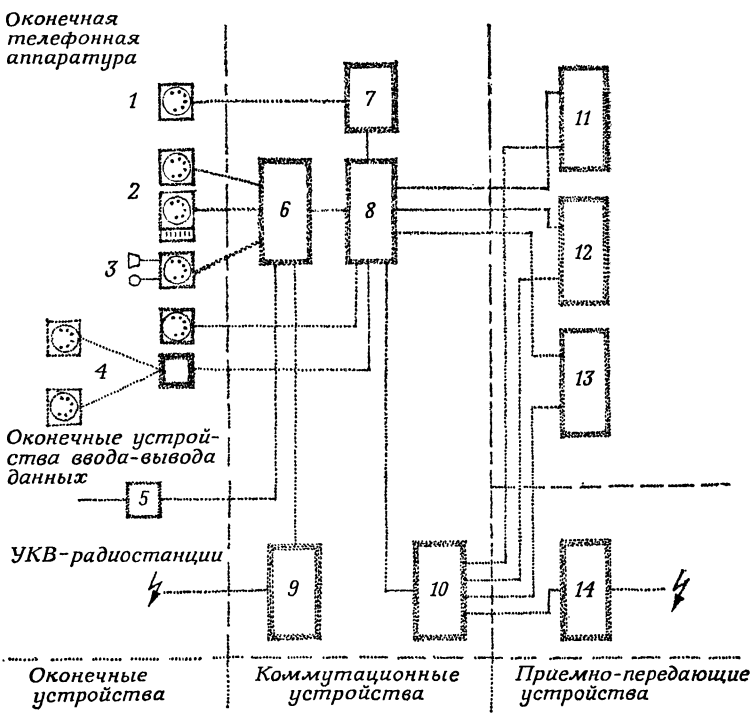
Того, что еще умеют делать системы телефонной связи с косвенным управлением, хватило бы на целую книгу, однако ограничимся сказанным.

Новая система связи INTERCOMAT

Посетителям Лейпцигской весенней ярмарки 1968 г. была представлена новая система связи INTERCOMAT. Эта система содержит все элементы для организации национальной, международной и

трансконтинентальной связи. Она включает в себя самые разные устройства — от вещательных УКВ-радиостанций до коммутационного оборудования. Глядя на структурную схему, приведенную на этой странице, вы можете видеть, каким большим ассортиментом аппаратуры нужно располагать, чтобы обеспечить все требования, которые предъявляются технике связи сегодня.

Из всего многообразия аппаратуры системы INTERCOMAT рассмотрим только подсистемы связи ATZ63, ATZ64 и ATZ65. С помощью этих подсистем мо-



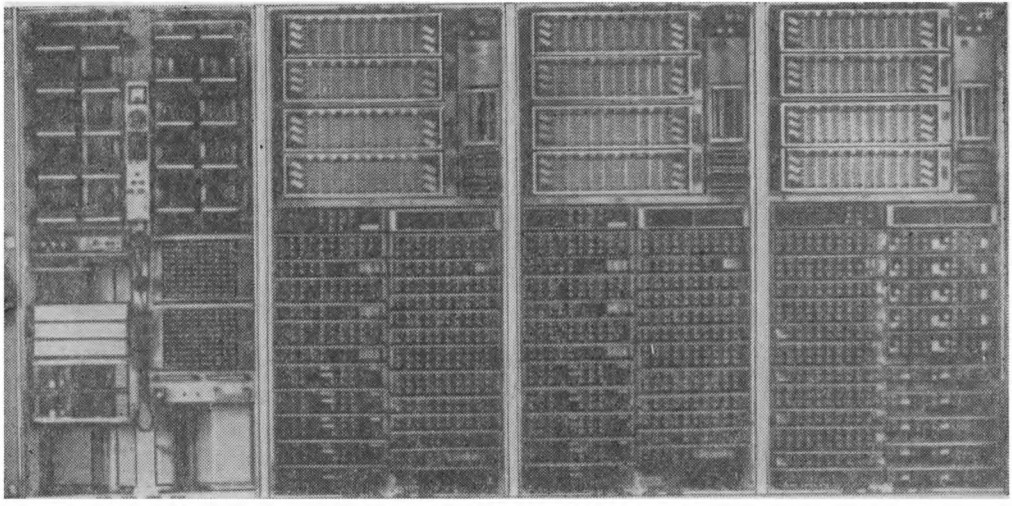
Упрощенная структурная схема соединений коммутационного и передающего оборудования системы INTERCOMAT.

1 — аппараты «Вариант»; *2* — переговорное устройство; *3* — громкоговорящие телефонные аппараты; *4* — линии коллективного пользования; *5* — модем; *6* — оборудование телефонных станций; *7* — ATZ63 и ATZ64; *8* — ATZ65; *9* — коммутационное и переходное оборудование; *10* — междугородные телефонные станции; *11* — ИКМ-аппаратура; *12* — аппаратура частотного уплотнения; *13* — радиорелейные линии; *14* — КВ-радиолинии.

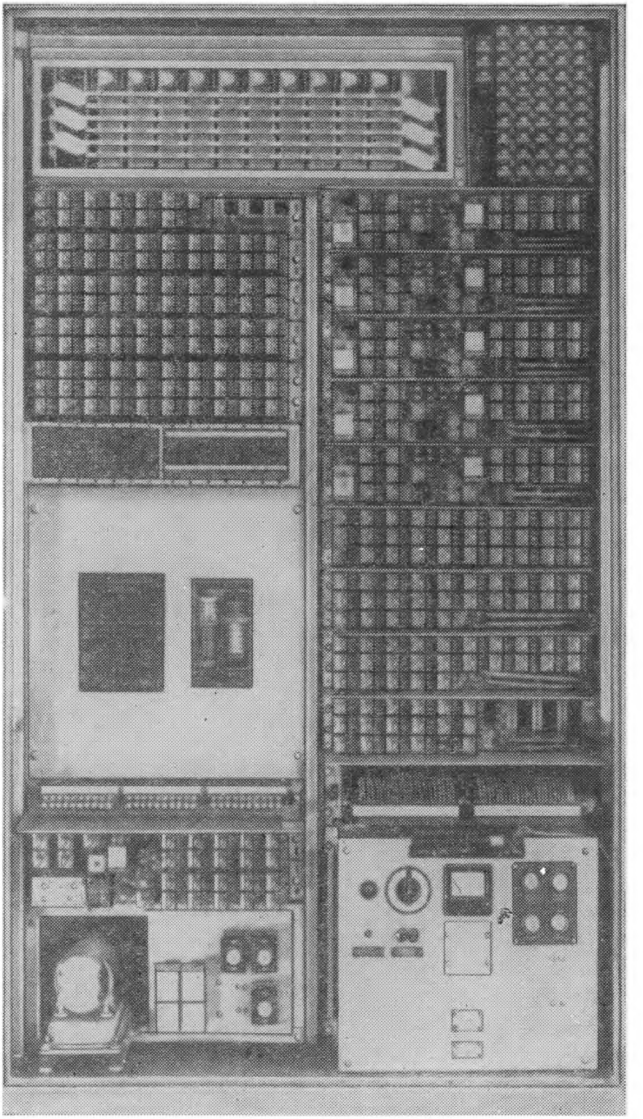
Телефонное оборудование ATZ65 на Лейпцигской весенней ярмарке 1969 г.

гут быть построены все типы необходимых в практике связи телефонных станций — как оконечные станции на 50 абонентов, так и оконечные станции произвольно большой емкости, например на несколько десятков тысяч абонентов. Аппаратура INTERCOMAT позволяет также строить телефонные узлы, подстанции и т. д.

Аппаратура пригодна как для сооружения новых телефонных станций, так и для развития уже имеющихся станций, оборудованных декадно-шаговыми искателями. Возможно, вы обратили внимание на последнее замечание, не вдумавшись, однако, в то, что за ним кроется. Дело в том, что при модернизации любой телефонной станции новая аппаратура должна сопрягаться с уже существующей без особых затруднений, не вызывая больших расходов. Кроме того, новая аппаратура должна вписываться в действующее оборудование по своим габаритам и не потреблять слишком большой мощности. Так вот аппаратура системы



Общий вид коммутационного оборудования системы ATZ64 на 100—600 абонентов.



Общий вид коммутационного оборудования ATZ63 на 50 абонентских вводов.

INTERCOMAT удовлетворяет всем этим требованиям и без особых доработок сопрягается с аппаратурой телефонных станций и в других странах. Это важно для экспорта. Соединения могут осуществляться как ступенчато с помощью набора, выполняемого абонентом, так и посредством регистров. Современная техника коммутации и надежные компоненты позволяют уменьшить эксплуатационные расходы.

Разумеется, в новой системе могут использоваться не только обычные телефонные аппараты, но и аппараты «Вариант» с кнопочным набором, со счетчиком оплаты или без него. Система связи была бы неполной, если бы она не содержала в своем составе коммутаторов. Сколько напрасной траты времени и беготни можно избежать в служебных делах, если умело пользоваться телефоном, способен оценить лишь тот, кто хотя бы однажды лишался этого верного помощника в работе. Сегодня никто уже не может обойтись без телефона, но менее века назад даже больницы и пожарные команды отказывались пользоваться этой «модной выдумкой».

Вычислительные машины в наступлении

В специальной литературе мы давно уже читаем о системах связи с электронными вычислительными машинами (ЭВМ), о программном управлении и других новшествах. Какую же роль играют ЭВМ в технике коммутации с тех пор, как их стали применять для управления процессом соединения абонентов?

В технике связи вычислительные машины приобретают все большее значение. Мы уже знаем, что средства коммутации с косвенным управлением содержат регистры, которые «ведут счет» наборным импульсам, посылаемым абонентам, и запоминают их. Они прокладывают маршрут нужного соединения, если в их распоряжении имеется достаточная информация; кроме того, они могут выполнять множество других функций. Применяемые в технике связи регистры суть не что иное, как счетные устройства, причем даже тогда, когда в своей «классической» форме они построены не на электронных лампах или полупроводниковых приборах, а на реле. Отличительной чертой счетного

устройства или ЭВМ является отнюдь не наличие электронных компонентов, а способность выполнять обширные вычисления без обслуживающего персонала.

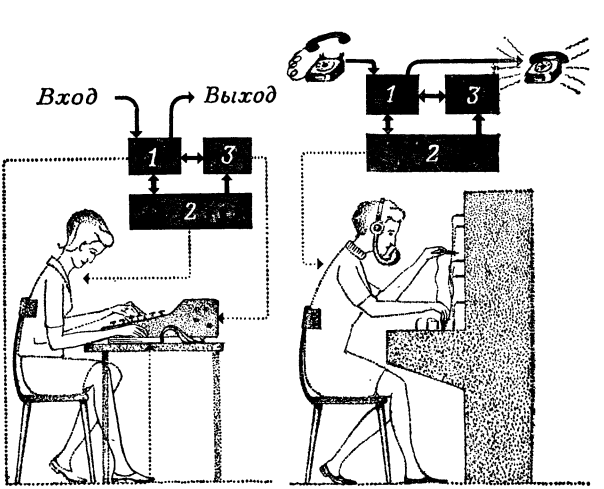
Когда человек нажимает на клавиши конторской счетной машины, он набирает буквы, цифры и знаки, которые считывает с листа бумаги. Нажатием специальной клавиши человек определяет характер действия машины, то есть дает ей команду складывать, вычитать, множить или делить. Далее он считывает результат, записывает его и использует в нужный момент для дальнейших вычислений.

Чарльз Бэббидж, профессор математики Кембриджского университета, еще в 1830 г. пришел к выводу, что именно человек является самым большим препятствием для ускорения процесса вычислений. Поэтому он разработал далеко опередившую свое время автоматическую вычислительную машину. Но, увы, технические средства, которыми располагал Бэббидж, не позволили воплотить его замысел в жизнь. В ту пору над «дурачествами Бэббиджа» только подсмеивались. В нашем веке идеи Бэббиджа легли в основу современных вычислительных машин.

Машина Бэббиджа имела накопитель, в котором собирались все необходимые для вычислений данные, вычислительный механизм, который должен был эти данные перерабатывать, и управляющий механизм, который управлял ходом вычислений. Этот механизм устанавливал порядок, в котором данные поступали из накопителя в вычислительный механизм, управлял процессом вычислений и обеспечивал перенос результатов в накопитель.

Бэббидж вскоре заметил, что для автоматизации всех вычислительных операций одного накопителя данных недостаточно. Машина должна знать, какой вид вычислений (сложение, вычитание, умножение или деление) ей следует каждый раз выполнять. Поэтому она нуждалась в дополнительном устройстве, содержащем набор команд.

На рисунке слева показан переход от ручной конторской счетной машины к вычислительной машине с ее четырьмя основными узлами: *запоминающим устройством* (ЗУ), *ЗУ команд, арифметическим устройством* и *управляющим устройством;* к ним примыкает



Переход от конторских счетных машин ручного обслуживания к ЭВМ можно сравнить с переходом от простейшего номерного коммутатора к телефонным станциям, управляемым регистрами. *1* — запоминающее устройство; *2* — арифметическое устройство; *3* — управляющее устройство.

устройство ввода и вывода информации. Как видно из правой части рисунка, эту схему отделяет только один шаг от применяемого в телефонии счетного устройства — уже известного нам регистра.

Как в вычислительной технике, так и в технике связи счетные устройства вначале создавались на основе реле. Первые управляемые регистрами телефонные станции возникли уже в 1920 г. Вычислительные машины сороковых годов содержали тысячи реле. Одна из первых электронных машин имела 18 000 ламп, которые потребляли мощность около 200 кВт. С появлением транзисторов и схем на полупроводниковых приборах вычислительная техника совершила громадный скачок вперед. Быстродействие и емкость запоминающих устройств непрерывно возрастали, но открытый Бэббиджем принцип действия вычислительной машины не менялся!

Какое применение нашло это в технике коммутации? Вы, наверное, будете поражены, узнав, что в серийных системах коммутации с косвенным управлени-

ем до последнего времени применяются регистры, построенные исключительно на реле. Чем это объяснить?

Чтобы понять, в чем здесь дело, вначале следует уяснить особенности задач, которые выполняет ЭВМ в вычислительной технике вообще и регистр в коммутационной технике в частности.

В вычислительной технике ЭВМ решает наперед заданную задачу. В машину вводятся требуемые исходные данные и программа, после чего она спустя какое-то время выдает решение. Чтобы убедиться в том, что машина работает исправно, ей можно давать контрольные задачи, в любой момент ее можно остановить для профилактического осмотра.

Из-за высокой стоимости таких машин один час работы на них в зависимости от размеров машины обходится в 1000—10 000 марок.

В технике коммутации регистр тоже должен решать наперед заданную задачу: абоненты вводят в него требуемые исходные данные относительно соединений, которые они хотят получить. Но программа задается регистру не для каждой задачи, а раз и навсегда. (Возможно, что при каких-либо изменениях в технике телефонной связи когда-нибудь возникнет возможность введения изменяемых подпрограмм.)

Регистр выдает данные, необходимые для прокладки маршрута требуемых соединений, и управляет процессом формирования этого маршрута. (Таким образом он дает «решение» задачи.) Для работы телефонной станции требуется множество регистров, так как в часы пик тысячи абонентов одновременно пользуются телефонами. Выключить телефонную станцию в случае повреждения не так-то просто, потому что телефонная связь должна годами бесперебойно работать в любое время — днем и ночью, осенью и зимой. Проблема постоянной готовности регистра к действию решается просто: если регистр поврежден, он отключается и его ремонтируют, а связь в этом случае обеспечивается оставшимися регистрами. Поэтому в худшем случае в час пик возникает небольшая задержка (абонент, сняв трубку, слышит сигналы «занято» и должен выждать несколько секунд, пока регистр освободится), но в целом связь при этом не прерывается.

Электронно-вычислительная машина работает гораздо быстрее (обладает гораздо большим быстродействием), чем релейный регистр. ЭВМ может выполнить работу множества релейных регистров. Так, например, около 150 релейных регистров, которые осуществляют косвенное управление телефонной станцией на 10 000 абонентов, можно было бы заменить двумя ЭВМ (двумя только потому, чтобы телефонная станция полностью не вышла из строя в случае отказа ЭВМ). В час пик на телефонной станции, рассчитанной на 10 000 абонентов, происходит около 12 000 соединений. Примем для простоты, что все соединения выполнены и оплачены абонентами по 0,15 марки за разговор. Если мы оценим работу каждой ЭВМ суммой, равной 10% от суммы всех оплаченных разговоров, «гонорар», полученный этими ЭВМ за их работу в часы пик, составит около 180 марок. Таким образом, «гонорар» каждой ЭВМ в час пик составляет около 90 марок. Это возмещение затрат по сравнению с ценами, принятыми при использовании вычислительной техники, очень невелико. Более того, вне часов пик нагрузка ЭВМ существенно упадет, а между 16.00 и 7.00 утра почти сойдет на нет. Теперь, я думаю, вам понятно, почему в технике коммутации предъявляемые к счетным устройствам требования сильно отличаются как в техническом, так и в экономическом отношениях от требований в вычислительной технике.

Следует знать, что телефонные системы с косвенным управлением были первыми техническими системами, в которых широко применялись счетные устройства (хотя они и носили название «регистры»). Сейчас в мире наблюдается тенденция к осуществлению внутриконтинентальной и трансконтинентальной телефонной связи посредством прямого набора, основанной на принципе косвенного управления с помощью регистров и ЭВМ.

Имеют ли релейные регистры будущее или техника коммутации тоже совершит большой скачок, заменив все электромеханические компоненты на электронные?

Для ответа на этот вопрос надо вспомнить, что в настоящее время в мире имеется около 200 млн. телефонных аппаратов и что их годовой прирост составляет около 7%, то есть около 14 млн. аппаратов. Кроме того,

постоянно меняются устаревшие аппараты и оборудование. Поэтому можно считать, что мировой прирост составляет около 20 млн. телефонных подключений в год.

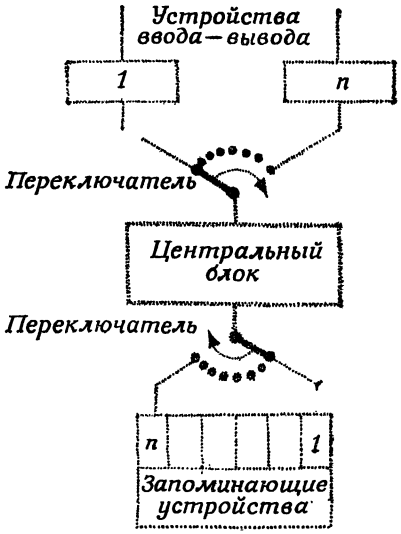
Это составляет громадный объем работ, для выполнения которого требуется масса рабочей силы, оборудования и средств. Сюда же следует добавить уже упоминавшийся рост глобальных телефонных сетей с прямым набором, сетей передачи данных и т. п. Все это послужило толчком к разработкам новейших систем коммутации, требования к которым должны быть следующими:

возможность массового автоматизированного производства как систем в целом, так и их компонентов;
обеспечение рационального монтажа;
простота обслуживания;
возможность дальнейшего расширения систем.

Насколько разносторонни и сложны эти проблемы, яснее всего видно из того, что после 20-летних интенсивных разработок ни в одной стране мира пока не удалось заменить «классическое» коммутационное оборудование новейшими электронными системами.

Техника коммутации автоматизируется уже более 50 лет. Уровень ее за эти годы и в техническом и в экономическом отношениях повысился настолько, что найти лучшие решения, опираясь только на электронику, представляется довольно затруднительным. В тех же отраслях промышленности, где темпы автоматизации были меньшими и где в этом направлении сделаны лишь первые шаги, затрачиваемые на автоматизацию средства в значительной мере компенсируются полученной благодаря ей экономией, так что автоматизация в любой области в конечном счете упирается в экономическую рентабельность.

В то же время ведутся интенсивные работы, направленные на отказ от классических методов техники коммутации. Делается попытка освободиться от обилия проводов, от компонентов, производство которых с трудом поддается автоматизации и которые сами требуют трудоемких регулировочных работ, а также от сложных подверженных помехам шаговых искателей. Желание использовать современную технологию неизбежно приводит к системам, в которых элект-



Централизация функций регистра в одном процессоре, работающем в режиме разделения времени.

ронные и современные электромеханические компоненты монтируются на платах с печатным монтажом (вопросами технологии мы еще займемся). Однако в связи с тем, что переход к косвенному управлению предусматривает классическую технологию, надо думать, он будет исключен.

Возвратимся к работе регистра. Совершив переход от релейного регистра к электронному, мы ничего не достигнем. Правда, здесь есть определенные технологические преимущества, но они не компенсируют стоимости электронных компонентов регистра, которые гораздо дороже реле. Поскольку быстродействие регистра относительно невелико, так как оно связано с действиями человека, который посылает в регистр информацию о желаемом соединении, мы не можем использовать этого одного из основных преимуществ электронных устройств. Выход из положения находят в том, что на телефонной станции устанавливается не один, а множество регистров. Рассмотрим, как это делается, с помощью помещенного здесь рисунка.

Центральный блок, в который собрано большое количество регистров запоминающих устройств, посредством переключателя последовательно подключается к устройствам ввода — вывода (от 1-го до *n*-го), а также к секциям (от 1-й до *n*-й) запоминающего устройства. Когда переключатель соединяет между собой центральный блок с устройством ввода — вывода 1 и с секцией ЗУ, на центральный блок с устройства ввода 1 поступает информация о состоянии, в котором находится «внешний мир». Будем считать, что устройство ввода сообщает о том, что абонентские шлейфы замкнуты. Из секции ЗУ 1 в центральный блок поступают данные о состоянии, в котором соединения находились при предыдущем положении переключателей. Если ЗУ 1 сообщает, что в этот момент абонентские шлейфы были в состоянии покоя, то центральный блок «знает», что абонент только что снял трубку — смысл перехода от состояния покоя к состоянию замыкания абонентского шлейфа однозначен.

Теперь центральный блок выдает на устройство вывода 1 команду *включить во «внешний мир» тон разрешения набора,* а в секцию ЗУ 1 посылается информация *абонентский шлейф замкнут, тон разрешения набора включен.* После этого главный переключатель подключает центральный блок к устройству ввода — вывода 2 и секции ЗУ 2. Информация о состоянии «внешнего мира» сравнивается с содержимым ЗУ и выдаются необходимые команды, которые через устройство вывода поступают во «внешний мир», после чего ЗУ получает информацию о новом состоянии «внешнего мира». Затем переключатель переходит в положение 3 и т. д. Рассмотрим, что происходит в устройствах, когда переключатель находится в положении 1.

При дальнейшем вращении переключателя абонент слышит сигнал разрешения набора. Центральный блок, связанный с ЗУ, измеряет время, в течение которого к абоненту поступает сигнал разрешения набора. Если абонент не приступает к набору через 15 с, центральный блок через устройство вывода посылает во «внешний мир» информацию *абонент не набирает.* Если же абонент начал набирать, то есть он разрывает абонентский шлейф, то это регистрируется в секции ЗУ 1, продолжительность разрывов измеряется взаимодействую-

щими центральным блоком и ЗУ. Если прерывание превышает 100 мс, то центральный блок «считает», что абонент снова положил трубку. Если же до истечения 100 мс его шлейф оказался снова замкнутым, это может значить, что прерывание соответствует первой серии наборных импульсов. Все это достаточно логично, не правда ли? Теперь серии наборных импульсов следуют одна за другой до тех пор, пока не наберется достаточно информации для прокладки маршрута соединения. Я не буду утомлять вас подробностями этого процесса: вся выписанная программа маршрута не уместилась бы на листе бумаги размером с ваш обеденный стол, даже если он раздвинут. Регистр, построенный по рассмотренному нами принципу, позволяет использовать преимущества быстродействия, которые обеспечивают электронные компоненты. Таким образом, это уже значительный шаг от релейного регистра к управляющей вычислительной машине. Напрашивается мысль, а можно ли заставить ЭВМ выполнять большее число такого рода операций, чтобы ее использование было рентабельным, может быть, рационально с ее помощью управлять несколькими телефонными станциями?

Кроме этой проблемы, надлежит также решить проблему постоянной готовности аппаратуры к действию и в особенности проблему экономии средств.

Телефонные станции состоят не только из устройств управления, регистров и ЭВМ, в них много и других узлов.

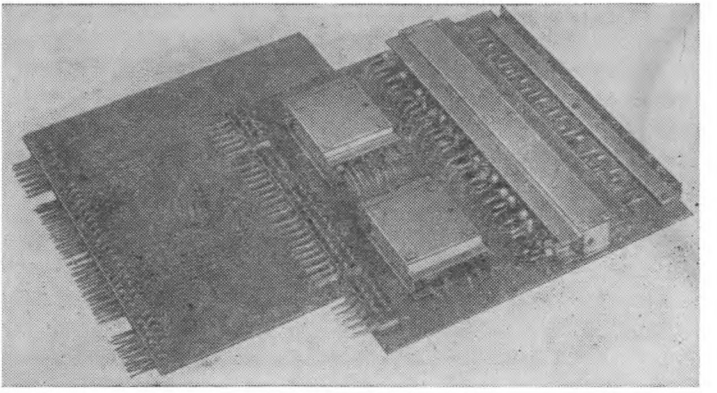
В этом плане наиболее актуальны вопросы, каким должен быть узел; предназначенный для поиска и переключения соответствующих абонентских линий, чем можно заменить шаговый искатель, искатель с машинным приводом и координатный соединитель, будет ли такой узел полностью электронным или электромеханическим. Но здесь я хочу отметить лишь некоторые перспективы, которые открывают язычковые реле с герметическими контактами в металлическом корпусе. Окончательный же ответ на все вопросы мы предоставим будущему.

В заключение оценим уровень, достигнутый в настоящее время в области создания электронных средств коммутации.

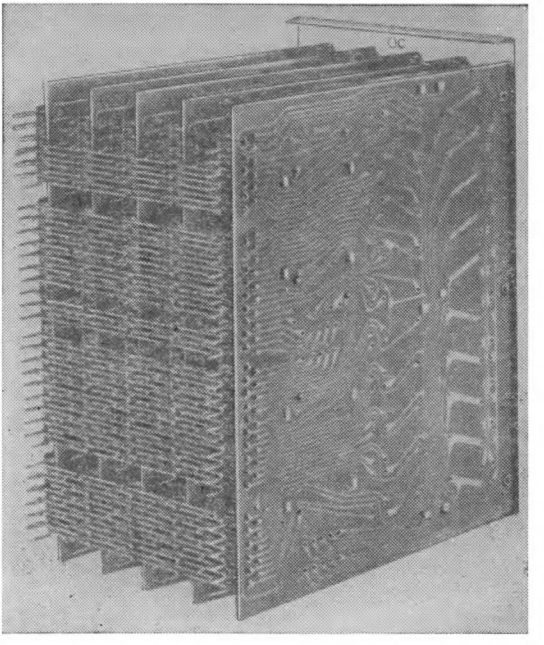
Пока «классическая» телефонная аппаратура повсюду занимает ведущее место. Это не удивительно, поскольку, с одной стороны, как уже говорилось, не решены еще все проблемы, связанные с введением в строй новейших систем, а с другой стороны, аппаратура, отработавшая в глобальных сетях связи 25 или даже 40 лет, допускает замену лишь в исключительных случаях. Иначе обстоит дело, например, в вычислительной технике. Там ЭВМ после нескольких лет эксплуатации может быть заменена более новой, совершенной и быстродействующей машиной. Менять подобным образом коммутационное оборудование не представляется возможным. Ведь в любом деле прибыль должна покрыть издержки эксплуатации и расходы на амортизацию оборудования. Готовы ли вы поддержать повышение телефонных тарифов с целью ввода в строй новейшего оборудования, если старое еще вполне работоспособно?

Уже в середине 50-х годов в ГДР начались работы по созданию новой системы телефонной связи. Был построен первый образец электронной телефонной станции на лампах с холодным катодом. В 1960 г. главные узлы новой системы связи были опробованы в условиях эксплуатации. Обширные исследования позволили разработать телефонную аппаратуру с электронным управлением на основе координатных соединителей. В помещении Берлинской телефонной станции была смонтирована опытная телефонная станция на 10 000 абонентов, которая вначале обслуживала только 200 абонентов. 9 мая 1962 г. эта опытная станция была включена в берлинскую телефонную сеть. Кроме предприятий и учреждений, к станции были подключены 150 произвольно выбранных абонентов, которых не предупредили о том, что их телефонные связи будут обслуживаться опытной аппаратурой.

Эта опытная телефонная станция была первой в странах социалистического лагеря электронной станцией с косвенным управлением. Результаты ее испытаний и эксплуатации оказались полезными для разработки координатных систем ATZ63, ATZ64 и ATZ65— составных частей системы связи INTERCOMAT, о которой мы уже упоминали. Кроме того, они легли в основу системы ETC700.



Печатные платы коммутационной аппаратуры ETC700.



Блок печатных плат коммутационной аппаратуры ETC700.

Опытная станция ETC700 была включена в берлинскую телефонную сеть в 1968 г. Эта электронная станция с косвенным управлением работает с централизованным регистром, принцип действия которого был описан выше. Для поиска и реализации нужных соединений в ней используются контакты язычкового реле. С этой целью была разработана плата с печатной схемой с одним входом и десятью выходами. На ней смонтированы не только десять реле для соединения абонентских линий, но и реле для переключения маркёров и другие элементы. Печатные платы собирались в группы в нужном количестве (см. рис. на стр. 188) при помощи голых монтажных проводов. В устройствах, выполняющих соединения абонентов, эти неизолированные провода подсоединялись к абонентским приборам, смонтированным также на печатных платах.

Цепи управления выполнялись как на основе дискретных электронных компонентов, так и на базе тонкопленочной технологии. Из соображений надежности применялись исключительно кремниевые полупроводниковые приборы, изготовленные по планарной технологии. В системе ETC700 встречаются не только электронные компоненты, но и металлические контакты. Язычковые реле применяются в ней всюду, где необходимо обеспечить заданное быстродействие или надежность. Блок регистра построен на цифровых переключающих схемах. Для маркёра оказалось экономичным использовать такие переключатели схем, которые позволяют сочетать дискретные электронные компоненты и язычковые реле. В этих системах совместная работа электронных и электромеханических компонентов не вызывает особых затруднений. В преобразователях, обладающих небольшим быстродействием и выполняющих немногие функции, как уже указывалось, применение электронных компонентов не дает большой экономии. Поэтому в этом узле применяются как язычковые реле, так и реле с открытыми контактами для оснащения печатных плат. Все управляющие устройства, независимо от применяемых компонентов, выполнялись на печатных платах.

Рассмотрим некоторые эксплуатационные особенности, характерные для современных систем коммутации.

Кнопочный набор. Кнопочный набор, который удобен для абонента, так как ускоряет процесс соединения, в последние годы находит все большее применение. Сегодня система без кнопочного набора уже неприемлема. Однако при замене устаревших телефонных станций из соображений экономии следует предусматривать подсоединение к новым станциям множества уже действующих телефонных аппаратов.

Приоритетность. При установлении различных уровней приоритетности для абонентов (например, преимущественного права трансконтинентальной и континентальной связи, связи в пределах национальных или местных сетей) предотвращается ведение неразрешенных телефонных переговоров посторонними лицами.

Личный и служебный номера телефонов. Используя различие между номерами личного и служебного телефонов, можно выравнивать поток сообщений между различными группами абонентов. При этом «говорливые» абоненты переводятся из перегруженных групп в более свободные без изменения номера абонента.

Номера коммутаторов с несколькими соединительными линиями. В новейших коммутационных системах любые номера абонентов могут быть подключены к номерам коммутаторов, имеющих несколько соединительных линий. При выборе в качестве такого объединенного номера какого-то определенного номера абонента последний подсоединяется к коммутатору свободной линией; при выборе других номеров абонентов соединение осуществляется только через ранее избранный номер. Таким способом в ночные часы возможно осуществлять одиночный вызов определенного подключенного параллельно к коммутатору аппарата.

Проверка на дальность. Эта проверка технического состояния важна как для телефонного аппарата, так и для абонентских линий. Она проводится с помощью центральной испытательной установки.

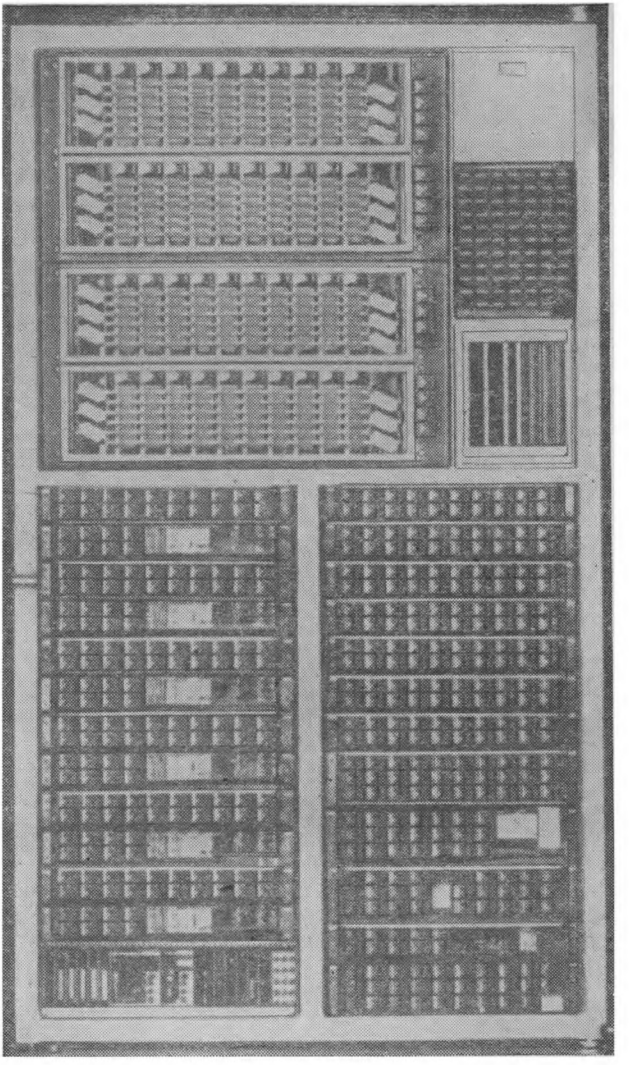
Поиск каналов. Интенсивный поиск каналов позволяет обнаружить последний еще свободный канал. При этом случаи полной занятости сводятся до минимума и возможны только тогда, когда в требуемом направлении не имеется ни одного свободного канала. Интенсивный поиск свободных каналов и их указание

должны быть эффективными не только внутри телефонной станции, но и в пределах связанной с ней подстанции.

Учет оплаты. Учет оплаты производится централизованно. При этом необходимые данные от источников информации поступают таким образом, чтобы все расчеты можно было полностью автоматизировать.

Телефонная пауза. Мы часто испытываем неудобство от телефонных звонков, которые отрывают нас от работы или поднимают с постели, не являясь особенно срочными. Переключение таких вызовов на специальную службу поручений не всегда целесообразно, так как оператор службы поручений задерживает абсолютно все сообщения, в том числе и особо важные. Для решения этой задачи вводится дополнительный режим работы, который назвали «телефонной паузой». Получивший право на телефонную паузу абонент сообщает об этом на телефонную станцию набором специального кодового числа. Это означает просьбу, чтобы его не беспокоили. Когда надобность в паузе минует, набором другого кода абонент сообщает, что он снова готов принимать любые телефонные вызовы. Во время телефонной паузы вызывающему абоненту посылают либо особый звуковой сигнал, либо словесную информацию о нежелательности соединения, после чего вызов погашается. Если у вызывающего абонента дело не срочное, он положит трубку и позвонит позже, но если он будет настойчиво держать трубку и после предупреждения, то через некоторое время получит соединение с вызываемым абонентом.

Это на первый взгляд простое решение задачи связано с рядом труднопреодолимых моментов. Во-первых, к телефонной паузе вызывающие абоненты могут привыкнуть настолько, что не станут ее замечать (как со временем утрачивают для нас свой предупреждающий смысл объявления «Осторожно, окрашено!», «Не курить!» и т. д.). Во-вторых, очень многое зависит от такта вызывающего абонента, который сам должен определить важность своего вызова для того, кому он звонит. Еще сложнее проблемы оплаты. С одной стороны, администрация телефонной службы не должна отказываться от платы за предоставление соединения для переговоров, которые не состоялись только по же-



Установка MSN70 на 70 добавочных абонентов (добавочный коммутатор средней емкости).

ланию одного из абонентов, с другой стороны, нельзя ожидать, что вызывающий абонент будет согласен платить за несостоявшийся разговор. Наверное, было бы в какой-то мере целесообразным начислять оплату на счет вызываемого абонента, но при таком решении каждый посторонний мог бы вести свои переговоры за счет вызываемого.

Сокращенный набор. Подавляющая часть телефонных переговоров абонента ограничивается в большинстве случаев узким кругом лиц. Так, например, руководитель предприятия или директор магазина разговаривают в основном со своими поставщиками и вышестоящими организациями. Практика показывает, что обычно более 90% всех разговоров абонент ведет менее чем с десятью лицами. Между тем абонент довольно много времени, особенно в больших местных телефонных сетях, затрачивает на набор.

Правда, были предложены автоматы, которые устанавливаются рядом с телефонным аппаратом и после предварительного набора номера вызываемого абонента позволяют с ним соединиться. Однако недостатком этого способа является необходимость в дополнительной площади и то обстоятельство, что, хотя время набора у абонента сокращается, он все-таки должен ждать, пока информация о наборе будет передана по абонентской линии и соединение будет выполнено.

Для устранения этих недостатков было предложено подключить к регистрам современных коммутационных систем специальное устройство сокращенного набора. В этом случае номеронабиратель телефонного аппарата снабжается одиннадцатым отверстием для пальца (телефонный аппарат с кнопочным набором — соответственно одиннадцатой кнопкой). Абонент, которому предоставлено право сокращенного набора, начинает набор именно с этого одиннадцатого сигнала, а затем набирает одну из цифр от 1 до 0. Регистр принимает команду на сокращенный набор, производит опознание вызывающего абонента и извлекает из накопителя полный номер для соединения. Номер учитывается регистром, который осуществляет соединение уже в обычном порядке. Реализация этой идеи в современных системах регистров в техническом плане не вызывает возражений. Следует только оценить меру экономич-

ности такого решения, дело в том, что работа устройств сокращенного набора должна быть оплачена абонентом.

Повторение вызова. Чтобы освободить вызывающего абонента от затрат времени на повторный набор в случае занятости вызываемого абонента или всех линий, было предложено использовать регистр, который через короткие промежутки времени должен повторять попытки установить нужное соединение. Вызывающий абонент набором специального кода выражает свое желание повторить вызов и кладет трубку. Как только соединение будет выполнено, оба абонента получат звонок. Если вызывающий абонент за время, которое отведено на повторные вызовы, соединится с кем-либо другим или кто-то другой соединится с ним, заказ на повторный вызов снимается. Техническое решение этой задачи не представляет трудности, следует только иметь в виду, что повторение вызова оправдано лишь в перегруженных сетях, в противном случае в нем нет необходимости. Вместе с тем такое решение имеет ряд недостатков, так как связано с увеличением числа регистров и повышением (значительным) нагрузки сети.

В ряде случаев удобства, которые может обеспечить современная техника телефонной связи и которые предлагаются в настоящее время в качестве новшеств, в действительности уже вошли в практику (например, перевод разговора на другого абонента, устройства персонального поиска и дежурного приема).

В то же время некоторые режимы работы, рассчитанные на создание дополнительных удобств, при ближайшем рассмотрении оказываются более или менее проблематичными. Примерами того, к каким далеко идущим последствиям могут привести эти новшества, являются режимы телефонной паузы, сокращенного набора и повторного вызова. Они показывают, что при пропаганде новых и, казалось бы, привлекательных возможностей телефонной аппаратуры необходимо все эти новшества продумывать до конца.

ТЕЛЕГРАФНОЕ СЛОВО НЕ СТАРЕЕТ

Устное слово может вызвать много недоразумений. В этом одна из причин того, что телеграфная связь, несмотря на бурное развитие телефонии, не только не сокращается, но с годами приобретает все большее значение. Невозможно представить себе современное общество без телеграфного аппарата.

Телеграфный аппарат не только средство быстрой передачи сообщений. Ведь телеграмма — это еще и свидетельство, справка, документ, к которым можно обращаться не один раз. Вот почему телеграфное слово ценится гораздо больше, чем разговорное.

Выше мы уже говорили о сетях телеграфной связи. Теперь же познакомимся несколько ближе с телеграфной аппаратурой. Коммутационное оборудование, которому были посвящены предыдущие главы, позволяет вести переговоры не только по телефону, но и — в соответственно модифицированном виде — по телеграфу. Мы уже знаем, что имеется международный телеграфный пятизначный код. Многие из 32 комбинаций этих пяти знаков используются дважды. Кроме того, к каждой кодовой комбинации добавляются стартовый (пусковой) и стоповый (остановочный) сигналы. Таким образом получается семизначный код. Скорость передачи составляет в обычных условиях 50 бит/с, или 50 Бод[1], что соответствует примерно 7 ударам по клавишам в секунду.

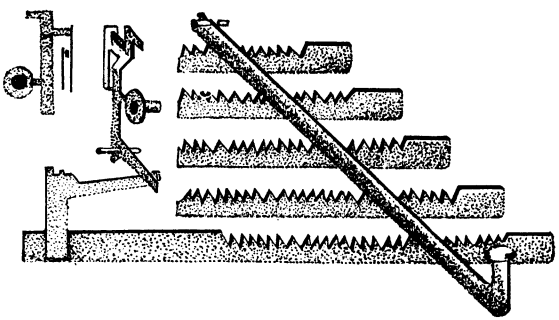
Передающее устройство телеграфного аппарата по внешнему виду очень напоминает пишущую машинку. Перевод букв на цифры и обратно производится нажа-

[1] Единица получила свое название в честь Эмиля Бодо (1845—1903 гг.).

тием специальных клавиш, которые автоматически посылают определенные комбинации импульсов.

Для установления телеграфной связи на пульте управления нажимают кнопку вызова (это соответствует снятию трубки телефонного аппарата) и набирают номер вызываемого абонента. Если он свободен, мотор его телеграфного аппарата включается. Если вызываемый абонент занят, включенный одновременно с набором номера мотор вызывающего аппарата сразу же останавливается. Для окончания телеграфной передачи нажимают кнопку «конец передачи» (это соответствует тому, что абонент кладет телефонную трубку). В режиме связи в цепи обоих корреспондирующих друг с другом телеграфных аппаратов течет ток покоя. Клавиши находятся на своих рычагах. Перпендикулярно клавишным рычагам расположены пять общих наборных линеек (см. рисунок), снабженных выступами и выемками. При нажатии какой-либо клавиши клавишный рычаг давит на одну из пяти расположенных внизу линеек, которые находятся в состоянии покоя.

Это приводит к перемещению наборных линеек влево или вправо, в зависимости от того, куда сместились вырезы на этих линейках — с верхнего правого положения в нижнее левое или наоборот. Сдвинутая вправо наборная линейка находится в положении «токовый импульс», сдвинутая влево — в положении «бестоковый импульс». Таким образом наборные линейки устанавливаются в положение, соответствующее телеграфному коду для данной клавиши. При нажатии клавиши

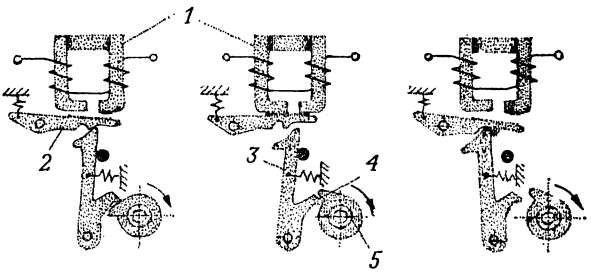


Передающий механизм стартстопного телеграфного аппарата.

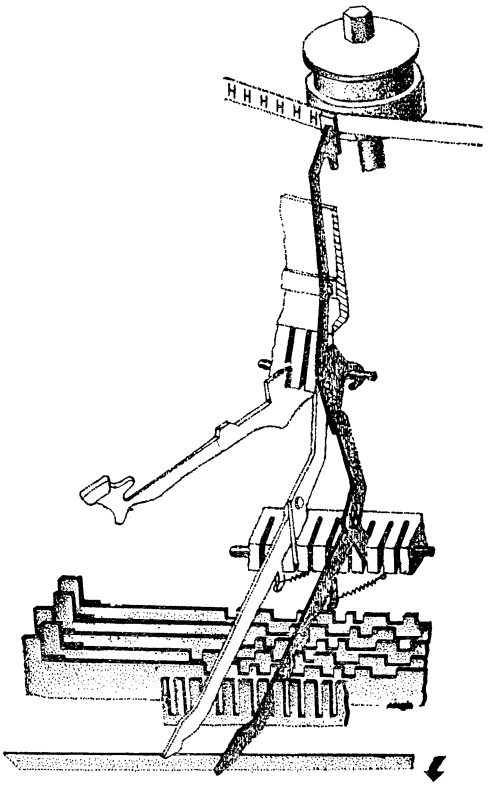
после установки передающих наборных линеек с помощью пусковой линейки передающий вал связывается с непрерывно вращающимся мотором, вследствие чего вал делает один полный оборот. На передающем валу находятся шесть кулачковых шайб: пять для наборных линеек и шестая для всей передаваемой посылки. Пять кулачковых шайб управляют работой контактов, которые они могут замыкать при оборотах передающего вала, когда соответствующие наборные линейки находятся в положении «токовый импульс». Если же линейки находятся в положении «бестоковый импульс», то они препятствуют замыканию контактов. Полученные таким образом токовые или бестоковые посылки подводятся через коммутационное устройство к проводной линии или радиоканалу (иными словами, к тракту распространения), на другом конце которых подключен приемный телеграфный аппарат. В нем имеется электромагнит с пятью якорями.

Под воздействием тока покоя все пять якорей притянуты приемным электромагнитом в направлении, обратном силам действия пяти возвратных пружин. Поступающая семизначная комбинация начинается каждый раз бестоковым стартовым импульсом. Когда он поступает в аппарат, все пять якорей оттягиваются возвратными пружинами, и теперь приемный вал оказывается связанным на один оборот с непрерывно вращающимся мотором. Последующий токовый импульс не может возвратить оттянутый якорь в состояние покоя, так как сила пружины не может быть преодолена ослабленным магнитным полем из-за появившегося воздушного зазора.

На приемном валу сидят пять закрепленных друг против друга селекторных кулачков, которые в соответствии с ритмом перемещения пяти якорей последовательно переходят в рабочее положение с помощью селекторного рычага. Если посылается токовый импульс, то соответствующий якорь удерживается электромагнитом и при дальнейшем вращении селекторного кулачка возвращает селекторный рычаг в состояние покоя. Если же посылается бестоковый импульс, то якорь не удерживается электромагнитом, а своим «клювом» заклинивает селекторный рычаг так, что он может возвратиться в состояние покоя. К пяти селекторным ры-



Приемный механизм стартстопного телеграфного аппарата.
1 — приемный электромагнит; *2* — якорь; *3* — селекторный рычаг; *4* — селекторный кулачок; *5* — ось кулачка.



Взаимодействие селекторных линеек, тяги и типового рычага при печатании буквы Н.

чагам присоединены пять приемных линеек, которые могут перемещаться в продольном направлении посредством селекторных рычагов.

Пятиимпульсной кодовой комбинации соответствует определенное положение селекторных рычагов или селекторных линеек на передающем конце.

Пять приемных линеек снабжены шлицами, так что каждому знаку (символу) соответствует сквозной канал, проходящий через все линейки, в который западает относящаяся к этому знаку тяга. Запавшая тяга попадает в свой сквозной канал в конце каждого цикла приема кодовой комбинации. Вследствие этого определенный типовый рычаг ударяет по бумаге (как бы «прыгает» на бумагу), благодаря чему на бумаге печатается буква (цифра или символ).

После того как передаваемый символ напечатан, стоповый импульс приводит якори в рабочее положение, в котором они удерживаются током покоя. Вот как просто и умно устроен стартстопный телеграфный аппарат. К сожалению, я утаил от вас, как решены в нем некоторые важные конструктивные задачи, например переход с буквенного на цифровой регистр и др. Но и этих сведений довольно, чтобы уяснить себе основное. А что же произойдет, если какой-то импульс в канале передачи исказится?

В этом случае отпечатается не та буква. Подобная ошибка в телеграмме может оказаться очень досадной, если, например, будет искажен номер поезда или время его прибытия. Поэтому такого рода сведения передаются дважды. Но что делать, если по каналу, подверженному помехам, должны передаваться цифровые данные? Над этой проблемой задумался еще в 1932 г. Рудольф Хелл. Познакомившись с названным его именем телеграфным аппаратом, мы сможем с полным правом сказать:

У доктора Хелла светлая голова! [1]

По методу Хелла каждая буква, цифра или знак раскладываются на растровые точки, которые после-

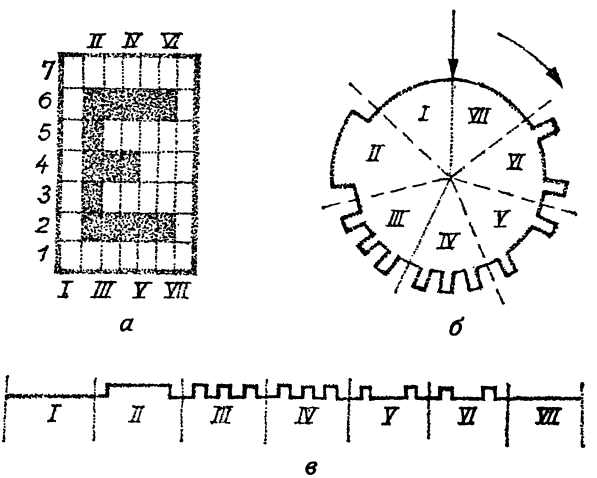
[1] В оригинале непереводимая игра слов: фамилия изобретателя Hell по-немецки означает «светлый». — *Прим. перев.*

довательно передаются одна за другой. Если при передаче возникают ошибки, то знаки, которые регистрирует приемник, будут искажены в той или иной мере, в худшем случае будут совсем неразборчивы, но ни один знак не окажется искаженным полностью.

Взгляните, к примеру, как разлагается на строки и столбцы буква Е. Если последовательно передавать строку за строкой, получится представленная на рисунке последовательность импульсов, которую можно получить с помощью кулачковой шайбы.

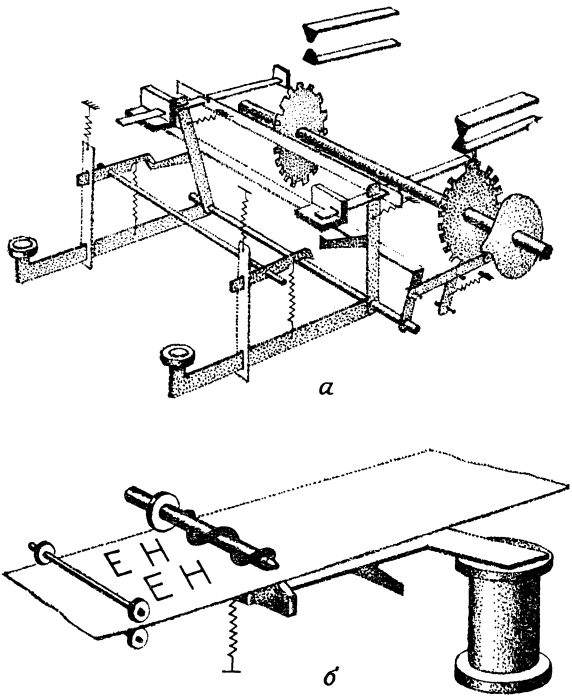
По этому принципу можно создать «телеграфный код», столбцы которого формируются путем «развертки» кулачковой шайбы. В передатчике телеграфного аппарата соответствующая данной клавише кулачковая шайба связана с вращающимся валом, благодаря чему в линию посылается последовательность определенных импульсов (да простят мне доктор Хелл и специалисты это упрощение).

Принцип построения приемника также очень прост. Когда электромагнит находится в возбужденном состоянии, якорь прижимает равномерно продвигающуюся бумажную ленту к вращающемуся пишущему шпин-



Разложение буквы Е.

а — структура растра; *б* — кулачковая шайба; *в* — импульсная последовательность.



Передающий (*а*) и приемный (*б*) механизмы аппарата Хелла.

делю. На шпинделе имеются две винтовые нарезки. За время хода кулачковой шайбы шпиндель передатчика делает семь оборотов. Это значит, что один оборот соответствует одному столбцу растра. Допустим, что передается буква Е и что в начале передачи середины первой и второй винтовых ниток размещаются напротив лезвия якоря. Таким образом за одну седьмую оборота кулачковой шайбы посылается информация, соответствующая первому столбцу буквы Е. В течение этого времени передающий контакт не размыкается и приемный магнит не возбужден. Это значит, что записи не происходит.

Теперь перед лезвием якоря снова расположены середины первого и второго витков червяка. За промежуток времени, соответствующий второй седьмой части

хода кулачковой шайбы, посылается длинный импульс. На время прохождения этого импульса приемный магнит возбуждается. Покрытая краской спираль оставляет на протягиваемой ленте три штриха: один длинный (средний), а сверху и снизу более короткие (примерно в два раза короче). (Если вы не поняли того, что здесь написано, оберните вокруг карандаша по винтовой линии два витка ленты и закрепите ее концы лаком для ногтей. Такая модель поможет вам понять процесс записи с помощью пишущего шпинделя.)

Снова середины первого и второго витков занимают положение напротив лезвия. За время, соответствующее третьей седьмой части хода кулачковой шайбы, посылается три коротких импульса, и приемный магнит будет троекратно возбуждаться. Пишущая спираль записывает короткие импульсы так, как это показано на рисунке. (Попробуйте уяснить себе это с помощью вашего карандаша.)

Таким же образом посылаются импульсы в оставшиеся четыре седьмых оборота кулачковой шайбы.

Требования к равномерности вращения передатчика и приемника нельзя назвать жесткими. Если приемник опережает передатчик или отстает от него, запись на бумаге будет сползать вверх или вниз. Но благодаря повторным начертаниям каждый знак по крайней мере один раз воспроизводится полностью.

Возможно, вы заметили, что аппарат Хелла пригоден для всевозможных шрифтов — необходимы лишь соответствующие кулачковые шайбы. С его помощью можно также передавать изображения с крупным растром, но такой метод, к сожалению, слишком груб, а изготовление кулачковых шайб достаточно дорого. В то же время, читая следующую главу, вы поймете, что половину пути к подобной передаче мы уже проделали.

ГАЗЕТА ПО ФОТОТЕЛЕГРАФУ

Газеты информируют нас о последних событиях в своей стране и во всем мире. Не знаю, будет ли так всегда или в какой-то далекий от сегодняшнего день вы не станете покупать газету в киоске, а прямо в вашей квартире будете извлекать ее из какого-то таинственного ящика. Если такое случится, мне явно будет не хватать пахнущих свежей печатной краской шелестящих страниц и живого общения с продавцом вечерних газет.

Но представим себе на минуту, что появился такой электронный ящик и пришедшая в дом по радио газета стала реальностью. Будет ли отличаться такая газета от телевизионного изображения?

Для телевидения характерен «эффект присутствия»: мы переживаем сиюминутные события непосредственно с их участниками, видим движущиеся изображения, слышим сопровождающую их речь. Газету мы держим в руках, пробегаем глазами мало интересующие нас статьи и, напротив, перечитываем то, что кажется нам интересным. Если есть время и желание, рассматриваем фотографии, хотим — делаем это подолгу, не хотим — мельком.

В телевидении, чтобы наш глаз получил впечатление движущегося изображения, каждую секунду должны быть переданы и воспроизведены 25 изображений (кадров) [1]. Газетная полоса, которую мы получим из

[1] Для уменьшения ширины полосы частот передаваемого телевизионного изображения до 25 кадров в секунду в современном телевидении применяется так называемая чересстрочная развертка, то есть сначала передают нечетные строки, а затем четные. Мелькание изображений при такой частоте исключается, так как каждый кадр передается дважды (сначала нечетные, а затем четные строки). — *Прим. ред.*

нашего электронного ящика, должна быть передана и воспроизведена всего лишь один раз. Сколько времени занимала передача (1/25 с, 1 с или, может быть, несколько минут), нас не интересует.

Как в телевидении, так и при передаче газетной полосы передаваемое изображение формируется строчка за строчкой. Изменения яркости преобразуются в электрические колебания и передаются по проводу или по радио. В приемном устройстве изображение воссоздается снова строчка за строчкой либо на экране электронно-лучевой трубки (кинескопе), либо на бумаге.

В телевидении каждый кадр передается с помощью 625 строк, а в секунду таких кадров передается 25. Это составляет 16 тыс. строк в секунду! Не удивительно, что передающий канал в телевидении должен иметь очень большую пропускную способность, эквивалентную примерно нескольким тысячам телефонных каналов.

Газетную полосу или какой-либо другой текст, предназначенный для передачи, укрепляют на барабане фототелеграфного аппарата. Перед началом передачи запускается машинный привод, и барабан с прикрепленным к нему оригиналом начинает вращаться. Текст считывается с помощью светового луча строка за строкой в направлении продольной оси барабана. Фотоэлемент преобразует отраженный текстом свет в колебания электрического тока, мгновенное значение которого соответствует степени «зачерненности» текста. На приемном пункте синхронно и синфазно вращению первого барабана вращается такой же барабан, но с укрепленной на нем светочувствительной бумагой. Передаваемый сигнал управляет яркостью источника света, который строка за строкой при помощи специального оптического устройства освещает светочувствительную бумагу. После обычных в фотографии процессов проявления и фиксирования мы получаем изображение переданного текста. Если бы газетная полоса передавалась телефонному каналу с обычным для телевидения разрешением, это потребовало бы увеличения продолжительности передачи в 1000 раз (пропускная способность телефонного канала в 1000 раз меньше телевизионного), что составило бы около 40 с. Но достаточное для телевизионного изображения разрешение

в 625 строк при передаче газетной полосы или подобного ей материала слишком мало. Поскольку граница разрешающей способности человеческого глаза при нормальном расстоянии его от объекта 25—30 см лежит в пределах 4—5 строк на миллиметр, следует предусмотреть соответственно больше число строк. Так, например, лежащую перед вами страницу книжки (очень маленькую по сравнению с газетной полосой) для увеличения четкости придется разбить более чем на тысячу строк. Для такого рода разрешения без повышения пропускной способности канала не хватит и 40 с. Так что успокойтесь, вытащить вечернюю «радиогазету» из ящика в вашей квартире не так-то просто, да и один такой номер сегодня стоил бы вашей месячной зарплаты. Однако в ряде случаев применение фототелеграфии целесообразно. Ниже мы рассмотрим такие случаи.

Какая будет завтра погода?

Нередко мы слышим по радио, как центральная метеослужба обещает нам на следующий день ливневые дожди (лучшего метеорологи предложить, конечно, не могут!), но не задумываемся как-то над тем, откуда черпают мудрость «оракулы погоды», как составляют они свои прогнозы.

Прогнозы создаются на основе одновременных наблюдений погоды во множестве мест земного шара. Результаты этих наблюдений в соответствии с международными правилами сводятся воедино, а сообщения о погоде передаются в большинстве случаев по фототелеграфу. Метеорологи сравнивают полученную информацию и составляют карты погоды. На этих картах отображается состояние погоды на больших пространствах земной поверхности. Карты погоды в свою очередь передаются по фототелеграфу местным метеослужбам, где метеорологи составляют прогнозы погоды для определенных областей; именно эти прогнозы и передаются по радио, телевидению и т. п.

Поскольку карты погоды представляют собой простые штриховые изображения, для их передачи полутона не требуются, а поэтому можно использовать относительно простые фототелеграфные устройства, так на-

зываемые факсимиле (вспомните здесь об аппарате Хелла).

Факсимильная аппаратура, которая в зависимости от конкретного применения называется также «Телефакс», «Бизнесфакс» и «Ветерфакс», может передавать черно-белые изображения всех видов, шрифтовой материал и документы. Поскольку полутона передавать не требуется, в приемном устройстве можно отказаться от фотографических способов воспроизведения изображения и применить прямопишущие электромагнитные системы.

Обычно устройства факсимильной аппаратуры позволяют передавать оригиналы формата А4[1]. Передаваемая информация может воспроизводиться с помощью быстросохнущей нестираемой краски на нормальной писчей бумаге. Пишущая система обеспечивает также изготовление копий.

При передаче фотографий, которые содержат полутона, используется более сложная фототелеграфная аппаратура. Такие устройства называются телефотоаппаратами. Они применяются, в частности, информационными агентствами для передачи актуальных фотоматериалов. Вы, наверное, неоднократно видели пометку под фотографией в газете:

Передано по фототелеграфу

Каждая ежедневная газета, которая выходит большим тиражом, стремится познакомить своих читателей с самой последней информацией, не снижая рентабельности издания. Ежедневные перевозки центральных газет во все концы страны связаны с громадными транспортными расходами и потерями актуальности напечатанного материала. Поэтому принято за правило не печатать весь тираж газеты в месте ее издания, а делать это в крупных административных центрах. Туда перевозятся только матрицы отдельных газетных полос (они используются для изготовления печатных форм). Таким образом отчасти решается транспортная проблема, но проблема «часовой стрелки» остается. А нельзя ли разрешить и эти проблему (попутно сняв все

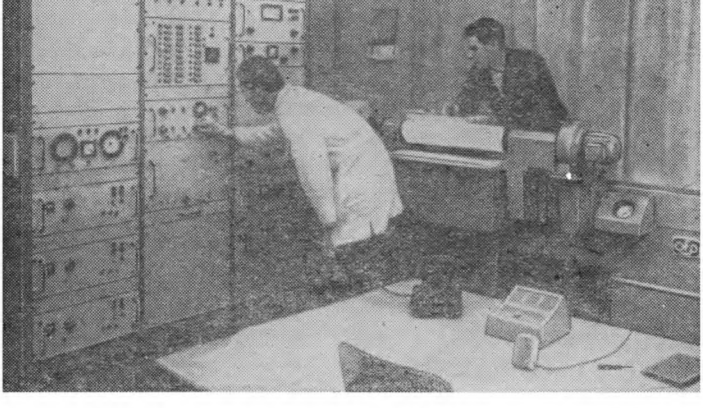
[1] Формат А4 имеет размеры 297×210 мм. — *Прим. ред.*

транспортные заботы), передавая отдельные газетные полосы непосредственно из издательства в типографию по фототелеграфу? При реализации этой идеи столкнулись главным образом с двумя трудностями:

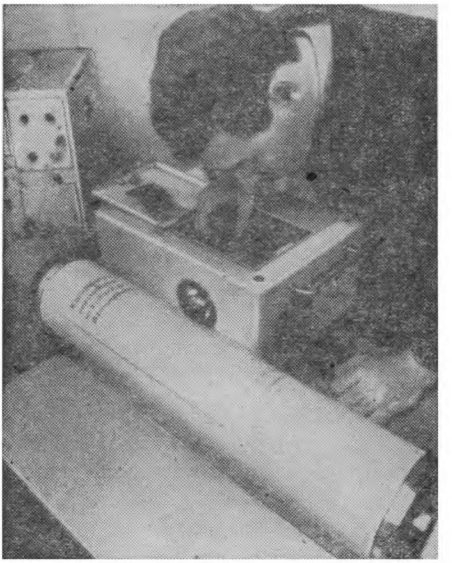
отсутствием фототелеграфных аппаратов, которые соответствовали бы формату газеты и имели бы требуемую для передачи разрешающую способность;

тем фактором, что переданные по телеграфу и воспроизведенные на фотобумаге или пленке газетные полосы не позволяли изготовить печатные формы, пригодные для обычной техники высокой печати на ротационных машинах.

При использовании офсетной ротационной печати, доведенной в последние годы до высокого технического уровня, печатное изображение переносится фотомеханически на печатные платы. Здесь возможно непосредственное использование оригинала, наносимого на пленку. Центральная лаборатория фототелеграфной техники в Берлине и Дрезденский технический университет совместно разработали аппаратуру для передачи газет «Бильдтелеграф Z», которая обеспечивает передачу целых газетных полос вместе с полутоновыми изображениями.



Аппаратура станции «Бильдтелеграф Z» для передачи газет по фототелеграфу.



Передающий барабан.

При передаче в качестве оригинала служат черно-белые отпечатки газетной полосы с полутоновыми фотографиями. Оригинал передается посредством оптического зондирования методом отраженного луча. Разрешение составляет от 10 до 20 линий на миллиметр. Специальная схема обеспечивает возможность использования различных видов бумаги.

Для передачи графического материала по широкополосному кабелю или по радиорелейным линиям сигналы (в диапазоне частот 10—40 кГц) преобразуются в импульсно-кодовую форму. Время передачи в зависимости от выбранного разрешения составляет от 10 до 20 мин. Сигналы синхронизации передающего и приемного аппаратов вырабатываются кварцевыми генераторами, причем кварцевый генератор приемного устройства синхронизируется сигналом передатчика.

Приходящие сигналы воспроизводятся на специальной пленке, которая экспонируется импульсным источником света, управляемым специальным сигналом. Воспроизводимый материал в соответствии с последу-

Увеличенный фрагмент передаваемого текста.

ющим процессом печати может быть выполнен в позитиве или негативе. Максимальный формат передаваемого оригинала и пленки соответствует размерам газетной полосы 410×610 мм². После успешных испытаний в дециметровом диапазоне волн образец аппарата был выставлен на стенде Лейпцигской весенней ярмарки 1965 г. В 1968 г. в ГДР аппарат «Бильдтелеграф Z» был введен в эксплуатацию для децентрализованного печатания газеты «Нейес Дейчланд».

В обеспечении актуальности газет решающая роль принадлежит технике связи; именно посредством техники связи распространяются сообщения крупных информационных агентств по всему миру, не последняя роль принадлежит здесь и передаче целых газетных полос по фототелеграфу.

Итак, я сижу в Эрфурте, в молочном кафе, и читаю свою «радиогазету», которая хотя и не выпала из электронного ящика в моей квартире, но прошла по радиорелейной линии длинный путь из Берлина в Эрфурт.

РАЗГОВОР С ЭВМ

Если завтра в Лейпциге состоится совещание, в котором мне предстоит принять участие, я нахожу в железнодорожном справочнике все необходимые мне данные о предстоящей поездке: экспресс Ex2 — отправление из Берлина — Шёнефельд в 8.10, прибытие в Лейпциг в 9.41.

На совещании я должен сделать сообщение о состоянии ряда разработок. Для этого мне требуются данные о количестве рабочих часов, действительно затраченных на эти работы, о ходе выполнения плана, о материальном обеспечении разработок, об испытываемых трудностях, успехах и о многом другом.

В настоящее время каждому из нас в той или иной мере приходится иметь дело с какими-то данными. Токарь в конце смены подсчитывает количество изготовленных им деталей, определяет процент брака и заполняет соответствующую учетную форму. Бухгалтер рассчитывает заработную плату, директор магазина направляет заказы на товары, а дома мы обсуждаем, как лучше построить семейный бюджет и в каком порядке приобретать нужные нам вещи.

Но так ли уж необходимо токарю тратить свое время на подсчеты и заполнение учетных форм, бухгалтеру рассчитывать зарплату, а директору магазина подсчитывать наличие одних и заполнять бланки заказов на другие недостающие товары? Мы знаем, что все эти работы могут выполняться и уже выполняются во все возрастающем объеме вычислительными машинами и устройствами для обработки данных, и только семейный бюджет мы по-прежнему планируем без их помощи.

Все работы, требующие определенного умственного труда и выполняемые по заданной схеме или программе, могут быть также исполнены и электронными вычислительными машинами. Однако ЭВМ не способны принимать творческие решения, для этого, как и прежде, требуются люди. Что произойдет, когда у нас появятся автоматы, разражающиеся смехом от наших острот, не берусь предсказать. Но нам при решении самых сложных проблем смех явно помогает.

Обилие данных

Данные не только подвергаются обработке на ЭВМ. Часто оказывается необходимым передавать их от источников к ЭВМ или же, наоборот, от ЭВМ — в места, где возникает потребность в такой информации. Вот еще один пример. Когда в туристическом бюро я приобретал билет в Лейпциг, мужчина у соседнего окошка интересовался возможностью заказать билет на самолет, отлетающий в Софию в четверг утром на следующей неделе. Девушка, сидящая за этим окошком, сразу же набрала на своем телефонном аппарате с клавиатурой номер центральной кассы, а затем закодированные данные о месте назначения, а также дату и номер рейса. ЭВМ центральной кассы в своей огромной памяти имеет данные о свободных местах на все рейсы. Машина устанавливает, что все места на запрошенный рейс уже распроданы, и в качестве замены предлагает место на самолете, вылетающем в Софию во второй половине того же дня. Клиент соглашается, и девушка уведомляет об этом ЭВМ. После этого машина вычеркивает из своей памяти еще одно место из числа свободных на этот рейс и дает команду печатающему устройству, установленному в туристическом бюро на рабочем месте нашей девушки, закомпостировать билет на данный рейс.

Вы думаете, что все, о чем я сейчас рассказал, фантастика? Ни в коем случае. Техника уже сегодня предоставляет нам подобные возможности, однако будем ли мы их использовать, определяют экономические соображения.

В только что приведенном примере в вычислительную машину нужно было ввести очень небольшое ко-

личество данных. Для этого достаточно иметь телефонный аппарат с клавишным вводом. На ваш запрос ЭВМ ответит вам «человеческим голосом». (В этом нет ничего особенного: когда вы набираете, например, в Москве цифру 100, автомат, подключенный к телефонной сети, точно так же сообщит вам время.) Кроме того, ЭВМ управляет печатающим устройством, которое заполняет билет на самолет. (В этом также нет ничего нового, так как мы уже знакомы с телетайпом.)

Однако здесь легко обнаружить и явное различие между тем, что мы только что рассмотрели, и тем, с чем нам приходится обычно сталкиваться. Когда я отправляюсь в Лейпциг со своими материалами к совещанию, я сам *транспортирую данные.* Когда данные записываются на какой-то носитель (будь то перфокарта, перфолента, магнитная лента и т. п.) и этот носитель транспортируется из одного места в другое, то говорят о *доставке данных.* Если же данные представляются в виде электрических сигналов и последние пересылаются из одного места в другое по проводным или радиоканалам, то этот процесс называют *передачей данных.* Таким же образом посланная телеграмма сначала передается по телетайпной сети из места отправления в отделение связи места назначения, а оттуда *доставляется* адресату почтальоном.

Данные можно передавать по мере их поступления. Так обычно поступают с оперативной или срочной информацией. Но данные можно сначала накапливать, а затем передавать их в какой-либо подходящий момент, например в период, для которого введен минимальный тариф за передачу.

Когда говорят о *неоперативном режиме работы,* то под этим подразумевается такой процесс, при котором данные поступают в ЭВМ не сразу, а сначала загружаются в буферный накопитель. В случае же *оперативного режима* данные передаются непосредственно в ЭВМ. Если источник данных способен обмениваться данными с ЭВМ (мы наблюдали это в случае приобретения билета на самолет), то говорят о работе в масштабе *истинного (реального) времени.*

Данные можно передавать по специализированным линиям для цифровой передачи или же через существующие сети для телетайпной и телефонной связи.

К концам линий для передачи цифровых данных подключены *модемы (модуляторы* на передающей стороне и *демодуляторы* на приемной). Скорости передачи в таких линиях, как правило, составляют 50, 200, 1200 бит/с и т. д. вплоть до 450 000 бит/с.

Я помогу вам составить представление об этих скоростях на примере нашей книги. Если отказаться от специального представления прописных букв и пойти на некоторые другие упрощения, то каждую букву, цифру и знак в этой книге можно передавать в виде 7-разрядного кода (вспомните о телетайпном коде!) Одна страница текста насчитывает приблизительно 2300 букв, цифр и знаков. В книге примерно 230 страниц чистого текста, то есть около 415 000 букв, цифр и знаков. Этому количеству соответствует приблизительно 3 млн. бит информации.

Обычный телетайп, скорость передачи которого 50 бит/с, или 50 Бод, потратит на передачу всего текста книги 70 000 с (примерно 20 ч). При скорости 200 бит/с это время составит 5 ч, а при 1200 бит/с — около 50 мин. Если же воспользоваться скоростью передачи, скажем, в 450 000 бит/с, то для передачи текста книги на значительное расстояние достаточно будет 8 с. Сравнив это время со временем, которое вам потребуется для прочтения моей книги, вы сейчас же поймете, что такого рода скорости представляют интерес главным образом для обмена информацией между вычислительными машинами. Мы же, люди, будем буквально затоплены огромным количеством передаваемой почти мгновенно информации.

Передача данных

Если вы хотите применить экономически оптимальный метод передачи данных и экономически оптимальную ее скорость, необходимо прежде всего определить объем передаваемых данных и срочность их передачи.

Мы здесь больше не будем заниматься этой весьма сложной проблемой, отметим лишь, что для народного хозяйства особое значение имеют скорости передачи 200 бит/с и 1200 бит/с. Лишь очень небольшая доля информации оказывается столь важной, что ее требуется передать в течение секунд; большая же часть данных

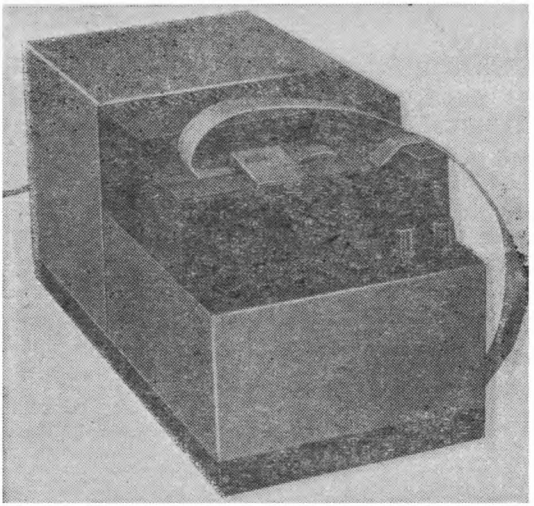
может накапливаться в течение нескольких часов, а уже затем передаваться в то время, когда линия связи будет наименее загруженной.

Так как принятый в телеграфии алфавит допускает передачу всего 32 различных кодовых комбинаций, он оказывается недостаточным для передачи цифровых данных. В связи с этим был принят международный код, который отвечает требованиям как передачи, так и обработки данных. Этот 7-битовый код при цифровой передаче данных дополняется битом четности, который обеспечивает надежность передачи, он позволяет использовать 128 различных комбинаций без переключающего сигнала. Поэтому оказывается возможным прием управляющих сигналов, которые могут потребоваться в ходе работы.

Столбцы → / Строки ↓					0	1	2	3	4	5	6	7
					0	0	0	0	L	L	L	L
					0	0	L	L	0	0	L	L
					0	L	0	L	0	L	0	L
0	0	0	0	0	Управляющие сигналы для передачи цифровых данных		Пр.	0	Вн.	P	'	p
1	0	0	0	L			!	1	A	Q	a	q
2	0	0	L	0			"	2	B	R	b	r
3	0	0	L	L			£	3	C	S	c	s
4	0	L	0	0			$	4	D	T	d	t
5	0	L	0	L			%	5	E	U	e	u
6	0	L	L	0			&	6	F	V	f	v
7	0	L	L	L			'	7	G	W	g	w
8	L	0	0	0			(	8	H	X	h	x
9	L	0	0	L			)	9	I	Y	i	y
10	L	0	L	0			*	:	J	Z	j	z
11	L	0	L	L			+	;	K	[	k	Вн.
12	L	L	0	0			,	<	L	Вн.	l	
13	L	L	0	L			-	=	M	]	m	
14	L	L	L	0			.	>	N	^	n	
15	L	L	L	L			/	?	O	_	o	Ст.

Международный телеграфный код № 5 для цифровой передачи данных.

Пр. — пробел; Вн. — для внутреннего пользования; Ст — стирание.



Передатчик типа LSL101 для телеграфной передачи данных, считываемых с перфоленты

Рассмотрим, что представляет собой установка для передачи цифровых данных, с помощью которой по телефонным линиям со скоростью 200 бит/с можно передавать данные с такого носителя, как перфолента.

В состав такой установки входят передатчик типа LSL101, считывающий передаваемые данные с перфоленты, приемник типа LSS101, записывающий принятые данные на перфоленту, модель типа 200Bd и управляющее устройство. Кроме того, имеется обычный телефонный абонентский ввод, который подключается к сети общественного пользования или к добавочному параллельному вводу, а в конечном счете к АТС.

С помощью *управляющего устройства,* к которому подключены прочие устройства и телефонная линия, могут быть реализованы следующие режимы работ:

1) телефонная связь; в этом режиме осуществляется нормальная телефонная связь и устанавливаются связи, необходимые для передачи данных;

2) передача данных; считанные с перфоленты данные передаются к приемнику;

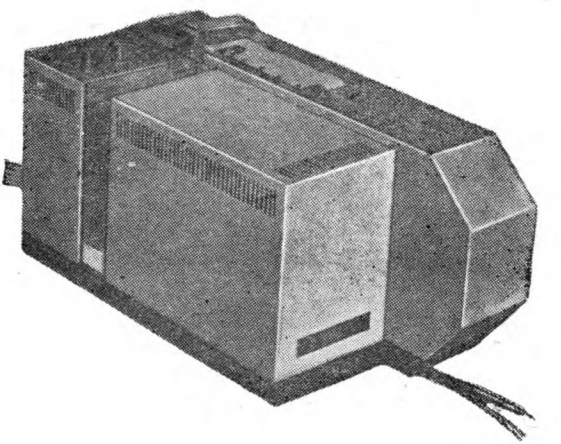
3) прием данных; переданные передатчиком данные принимаются приемником LSS101;

4) дуплексная связь; осуществляются одновременные передача и прием, то есть режимы 2 и 3, если пропускная способность канала обеспечивает возможность реализации такого режима;

5) местная работа; размножение перфоленты путем считывания с нее данных посредством передатчика и выдачи копии через приемник; во время местной работы телефонная линия может быть использована и для нормальной телефонной связи.

В задачи управляющего устройства, кроме того, входит сигнализация о неисправностях в работе устройств с перфолентой, например об обрыве ленты. Это устройство самостоятельно прерывает режим цифровой связи (режим приема — передачи данных) по окончании передачи требуемого сообщения.

Передатчик, считывающий данные с перфоленты, может в зависимости от выбранного режима оптически считывать данные с 5-, 6-, 7- и 8-позиционных перфолент. В передатчике установлено зеркало, которое направляет изображение считываемого участка ленты на



Приемник типа LSS101, записывающий принятые данные на перфоленту.

кремниевые фотодиоды. Благодаря такому методу считывания перфоленты предохраняются от износа. При использовании подобного механизма считывания перфолента выдерживает до ста тысяч перемоток, то есть практически не изнашивается.

Допускается применение лент, на которых перфорация имеет шаг 2,5 или 2,54 мм. Передачу считанных с них данных можно производить со скоростью 50, 100 и 200 бит/с. Как видите, передатчик для считывания с ленты обладает практически универсальными возможностями.

Команды «Прямая перемотка», «Обратная перемотка», «Пошаговая протяжка» и «Стоп» можно вводить вручную при помощи клавиатуры или же использовать для этой цели соответствующие электрические сигналы.

Принцип работы *приемников* для записи на перфоленту ничем не отличается от принципа работы передатчиков. В таком приемнике имеется схема для проверки принятых кодовых комбинаций на четность. Если такая проверка дает отрицательный результат, то выдается сигнал ошибки.

Модем служит для согласования цифровых приемопередающих частей системы с телефонным каналом, обладающим определенной спецификой. В одном телефонном канале размещаются два канала цифровой передачи данных с частотами 1080 и 1750 Гц, на которых производится дуплексная передача.

Вы познакомились с двумя методами передачи цифровых данных — первый из них позволяет передавать данные с помощью клавиатуры или переключателей, сопряженных с телефоном абонента, причем эти данные воспринимаются в виде слов, «произнесенных» ЭВМ, а второй основан на технике передачи телеграфных сообщений. Оба метода очень просты, они гораздо проще методов обмена информацией между самими вычислительными машинами. Однако всегда нужно помнить, что успех внедрения техники передачи данных зависит не столько от наличия оборудования, сколько от того, ориентирована ли организация предприятия на обработку данных или нет и удачно ли составлены рабочие программы.

В связи с этим я хочу рассказать о неудачном программировании в одной американской компании, зани-

мающейся электроснабжением. Клиент этой компании, приехав весной на свою заколоченную дачу, обнаружил в почтовом ящике составленный ЭВМ счет за электричество на сумму 0,00 долларов, а также уведомление об отключении электричества при неуплате этой задолженности к определенному сроку. Дачник не растерялся и послал компании чек на уплату 0,00 долларов. Вскоре от ЭВМ в его адрес поступила квитанция — долг был погашен, а тем самым инцидент исчерпан.

СЛОВО ТЕХНОЛОГИИ

Вычислительные машины, передача информации и бурное развитие связи были бы невозможны без внедрения новейших технических средств. Среди них особое место принадлежит транзисторам, интегральным переключающим схемам и ряду остроумно решенных устройств. Год от года возрастает быстродействие электронных устройств, непрерывно увеличивается их сложность и расширяется сфера применения. Поэтому все острее встает вопрос, как удовлетворить постоянно растущий спрос на высококвалифицированные кадры, требующиеся для производства, монтажа и обслуживания этих устройств.

Насущность проблемы понимают лишь немногие. Но обратимся к многочисленным бытовым приборам, которые предлагают нам сегодня магазины. По меткому замечанию, которое мне довелось как-то услышать, только благодаря этой чудо-технике у нас появляется время для ее обслуживания, чистки и ремонта.

По-видимому, проблему удовлетворения потребностей в рабочей силе нельзя решить только путем увеличения числа специалистов соответствующих профессий — мы просто не располагаем таким количеством людей. Необходимо искать другие пути решения этой задачи, связанные с автоматизацией производственных процессов, с упрощением монтажа и обслуживания разрабатываемых устройств, а также с созданием приборов, практически не нуждающихся в обслуживании.

Применение интегральных схем с их технологией, отвечающей требованиям массового производства, и исключительно высокой надежностью является первым шагом в этом направлении. Необходимо также продолжать дальнейший поиск оптимальной технологии для интегральных схем и прежде всего искать более удач-

ные в технологическом отношении решения для таких элементов, как проводные жгуты и соединения, выполняемые пайкой.

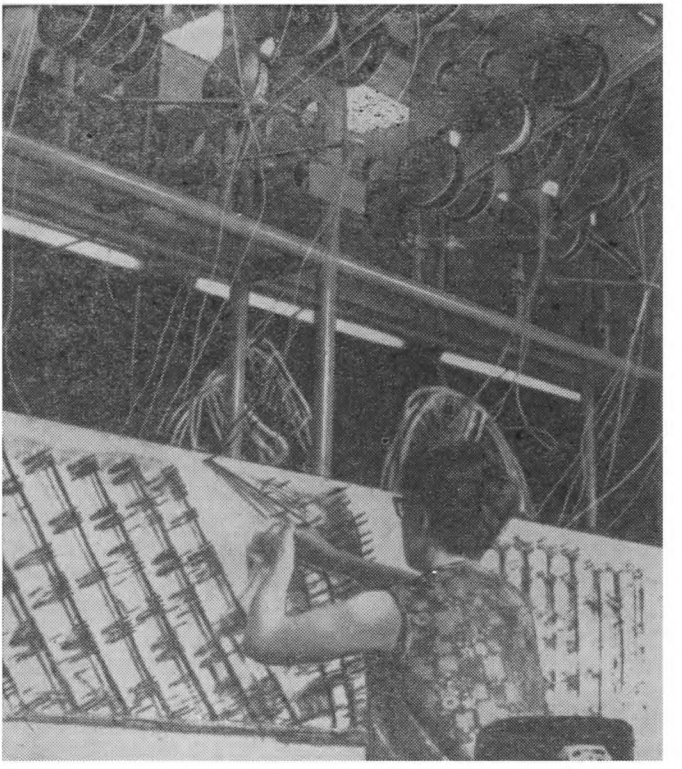
Применение в качестве основных схемных элементов *плат с печатным монтажом,* или *печатных плат* (с которыми вы знакомы по вашим радиоприемникам и телевизорам), объединение печатных плат одного функционального узла в *съемный модуль,* соединение этих модулей между собой путем применения накруточной технологии, а также использование *современных методов компоновки* — все это непременные условия внедрения прогрессивной технологии, обеспечивающей сокращение потребностей в рабочей силе.

Рисованные и печатные соединения

Еще лет девять назад отдельные детали радио- и телевизионных приемников монтировались на металлическом шасси, а соединения между ними выполнялись с помощью проводников, которые поочередно припаивались к выводам деталей. Элементы устройств связи (и прежде всего реле) еще и сегодня монтируются на релейных шинах, а зажимы реле соединяются между собой посредством проводных жгутов. Эти проводные жгуты изготовляют на больших деревянных досках, в которые вбиты гвозди, определяющие размеры отдельных проводников в жгуте. Жгуты вяжут из нарезанных проводников, после чего производится изоляция и лужение их концов. В таком виде жгут готов для распайки по месту в монтируемом устройстве. На предприятиях изготовлением и распайкой жгутов занято огромное количество людей, так как эти работы трудно автоматизировать.

Сегодня детали радио- и телевизионных приемников устанавливаются непосредственно на печатных платах. Механическое закрепление и электрические соединения всех элементов монтажа на плате производятся путем погружения платы в ванну с припоем.

Что же представляет собой печатная плата и каким путем ее изготовляют? Тонкий лист изоляционного материала, например гетинакса, покрывают медной фольгой и разрезают на платы необходимого размера. На медной фольге печатным способом наносится требуе-



Изготовление проводного жгута.

мый рисунок соединений с контактными площадками для припайки компонентов. В зависимости от числа требуемых плат их «размножение» осуществляется фотомеханическим или шелкографическим способом. В качестве «краски» применяют стойкий к травителям лак. После этого плата погружается в ванну с кислотой, в результате чего с ее поверхности удаляются те участки медной фольги, которые не были защищены печатным рисунком. Остатки кислоты смывают с платы, а оставшиеся участки фольги очищают от слоя лака. Таким образом на поверхности платы получают рисунок соединений. Затем на контактных площадках про-

сверливают отверстия. В таком виде плата готова для монтажа. Компоненты крепятся на плате с одной стороны (противоположной той, где нанесены проводники), а их выводы вставляются в отверстия в контактных площадках. Эту операцию выполняют загрузочные автоматы, отличающиеся высокой производительностью. После этого плата со стороны печатного монтажа погружается в ванну с припоем (пайка волной припоя) и за один прием выполняются все требуемые соединения.

Весь технологический процесс легко автоматизировать. Уже сегодня действуют автоматы для изготовления различных печатных плат, они же крепят на них компоненты схем и припаивают их выводы к печатному монтажу. Человек осуществляет лишь настройку и контроль за работой таких автоматов.

Однако следует отметить, что превратить требуемые соединительные цепи в проводящий рисунок без пересечений совсем не просто. Это удается не во всех случаях. Правда, задача несколько упрощается, если использовать в местах пересечений перемычки, размещенные на той стороне платы, где крепятся детали. Иногда применяются платы, фольгированные с двух сторон, тогда проводящий рисунок наносится на обе стороны платы. «Проводящие узоры» соединяются между собой посредством сквозных металлизированных отверстий.

Хотя переход к двусторонним печатным платам предоставляет конструкторам дополнительные возможности, такое решение экономически целесообразно лишь тогда, когда поставленную задачу невозможно решить на основе односторонних печатных плат. Стоимость двусторонне фольгированных плат значительно выше, чем односторонне фольгированных, что объясняется главным образом необходимостью располагать отверстия, соединяющие оба проводящих узора, с большей точностью, а также дополнительными затратами на металлизацию самих соединительных отверстий [1].

[1] В настоящее время получил распространение метод машинного проектирования печатных плат, при котором разводка соединительных линий на плате осуществляется с помощью ЭВМ. Кроме того, все шире применяются многослойные платы. — *Прим. ред.*

Для перехода от классического проводного монтажа к печатным соединениям не достаточно овладеть технологией изготовления печатных плат. Нужны также и пригодные для монтажа схемные элементы. У таких элементов все внешние выводы располагаются преимущественно с одной стороны; они должны иметь форму проводов и служить также для закрепления элементов на плате.

Для «развлекательной» электроники, то есть для радиоприемников, телевизоров и магнитофонов, такие элементы существуют. Но, к сожалению, плоское реле устанавливать на печатной плате нельзя, а некоторые виды миниатюрных реле, рассчитанные на такую установку, пока еще не удовлетворяют всем требованиям, которые предъявляются к реле в аппаратуре связи. Кроме того, существует мнение о бесперспективности реле, которые можно устанавливать на печатных платах, при переходе аппаратуры связи на электронные схемы. Однако сегодня мы в равной степени нуждаемся и в электронных элементах, и в реле, а потому вынуждены признать, что если миниатюрные транзисторные приемники изготовляются средствами современной технологии, то о серийных связных устройствах этого пока сказать нельзя.

Необходимо также принять во внимание и то, что транзисторный приемник или телевизор содержит всего одну или несколько печатных плат, в то время как большие связные установки должны насчитывать их тысячи. Каким же образом можно подключать эти многочисленные печатные платы к устройству и каким путем соединить их друг с другом, соблюдая принцип их взаимозаменяемости? На первый взгляд может показаться, что решение этой проблемы весьма несложно: разъемам на торцах каждой печатной платы будут соответствовать ответные части разъемов на раме, а к ним будут подключаться провода соединительного монтажа. Применение таких многополюсных, или многоконтактных, разъемов позволяет легко установить или заменить любую плату. Однако такая конструкция имеет очень существенные недостатки:

а) стоимость многоконтактных разъемов столь высока, что их применение в больших количествах экономически невыгодно;

б) многоконтактные разъемы имеют относительно низкую надежность; их применение в больших количествах понижает надежность работы связных устройств в целом;

в) практически невозможно создать достаточно экономичную контрольно-испытательную систему, способную обнаружить, в какой из тысяч печатных плат произошел отказ. Кроме того, невозможно выявить неисправную плату с помощью испытаний.

Таким образом, справиться со всеми этими проблемами совсем не просто.

В качестве одного из возможных решений рассмотрим устройство, выполненное в виде стойки, на «полки» которой вертикально устанавливаются кассеты с печатными платами. На этих платах размещаются требуемые схемные элементы. После установки всех кассет они подключаются через свои разъемы к соединительным жгутам, заканчивающимся ответными частями разъемов; эти жгуты размещаются с передней стороны стойки. Преимущества такого конструктивного решения будут следующими:

а) благодаря стойкам, которые можно размещать вдоль стен или устанавливать в два ряда «спиной к спине», отпадет необходимость в откидных шасси и других механически сложных конструкциях;

б) состоящие из многих печатных плат полнообъемные функциональные узлы соединяются с остальной системой с помощью довольно небольшого числа разъемов (помните о их цене и надежности!), так что выявить отказ такого узла относительно несложно;

в) поскольку жгут содержит провода, обеспечивающие внешние связи лишь одного функционального узла, он относительно невелик, поэтому жгуты размещаются с передней стороны стойки и разъемы жгута соединяются с разъемами вставленных функциональных узлов поочередно, причем даже в том случае, если в одном узле используется много разъемов, благодаря чему отпадает множество проблем, например вопросы допусков, плавающая подвеска зажимов и, наконец, необходимость приложения значительной силы для соединения разъемов при установке кассеты.

Нет сомнения, что рассмотренное решение имеет и некоторые недостатки. Однако здесь мы останавли-

ваться на них, равно как и на описании других конструкций, не будем.

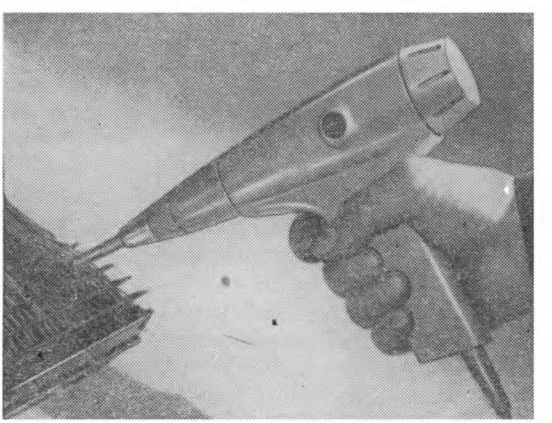
Что же можно предпринять, чтобы сделать более технологичным изготовление трудоемких проводных жгутов?

Пистолеты, которые не стреляют

Что за удивительные пистолеты? — спросите вы. А это не что иное, как пистолеты, с помощью которых концы соединительных проводов накручиваются на контактные штырьки схемных элементов, соединительных разъемов и т. п., именно накручиваются, а не припаиваются, как это делалось до сих пор.

Вспомните, как вам приходилось сращивать разорвавшийся электрический провод. Вы скручивали оголенные концы проводников, а затем заматывали место соединения изоляционной лентой. Это очень опасно и непрофессионально, но быстро приводит к желаемому результату. Кроме того, по опыту можно сказать, что такие временные соединения оказываются весьма долговечными.

Сегодня технология накрутки стала технически безупречным способом соединений и часто употребляется взамен обычной пайки. Контактные штырьки схем-



Электрический пистолет для выполнения соединений методом накрутки.

ных элементов и т. п. имеют четырехугольное сечение с острыми углами. Предварительно очищенный от изоляции конец подсоединяемого провода вводится в накруточный пистолет, при срабатывании которого провод накручивается на четырехгранный контактный штырь в виде многовитковой плотной обмотки.

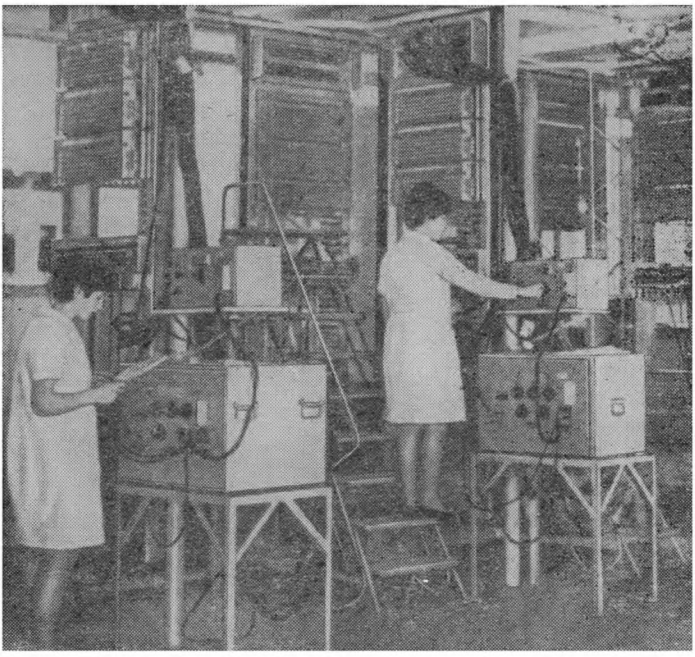
Поверите вы этому или нет, но подобные накруточные соединения оказываются значительно более надежными, чем паяные. Ведь паяные соединения иногда содержат так называемые «холодные» пайки, и лишь тот, кому их приходилось отыскивать, знает, как трудно обнаружить этот дефект, скрывающийся за внешне прекрасной пайкой. Сколько раз «холодные» пайки выводили меня из себя, однако мне ни разу не пришлось столкнуться с плохим соединением, выполненным накруткой.

Накруточные соединения не только надежнее паяных, но и заметно сокращают затраты на изготовление проводных жгутов. Провод накручивается на контактный штырек, например, соединительной панели, от которого начинается цепь, затем он укладывается в кабельный канал и подводится к конечному штырьку этой цепи, на который накручивается второй его конец. Так провод за проводом осуществляется весь монтаж. Здесь имеются свои трудности. Например, частота накрутки провода на неправильно выбранный штырек значительно превышает частоту ошибок при классическом монтаже путем распайки по месту концов проводного жгута, поскольку в последнем случае возможен контроль на промежуточных операциях. Что же в связи с этим целесообразно предпринять?

Контроль накрутки производят с помощью специального монтажного установочного автомата. Если монтажник (которого пока еще не удается заменить автоматом) подводит пистолет с проводом не к нужному штырьку, пистолет не срабатывает и накрутка не производится.

Какие технологические и экономические факторы определяют оптимальную структуру несущих конструкций для наших схемных элементов?

Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны знать, какое количество созданных нами устройств потребуется. Если оно невелико, следует найти «готовую не-



Стойки с координатными соединителями на испытательном стенде.

сущую конструкцию», уже освоенную производством. В ряде случаев приходится несколько модифицировать выбранную «тару», чтобы она стала приемлемой для нашего устройства. Если мы рассчитываем на массовое производство своих устройств, то едва ли удастся избежать разработки технологически оптимальной несущей конструкции, которая будет определяться числом, характером и размером размещаемых в ней схемных элементов.

На несущую конструкцию оказывают влияние и многие другие факторы, например условия эксплуатации изделий, общий объем проводного монтажа и, не в последнюю очередь, производственно-технологические возможности предприятия-изготовителя.

ЧТО СУЛИТ НАМ БУДУЩЕЕ

Прогнозирование возможно лишь при определенных ограничениях. В нашем случае эти ограничения сводятся к следующему:

«система», относительно которой делается прогноз, должна быть известной;

построение такой системы должно отвечать логически сформулированным и в свою очередь известным законам;

должны быть известны исходный уровень развития системы и (или) направление этого развития;

необходимо знать характер внешних воздействий на направление развития системы;

время разработки прогноза должно быть короче времени, остающегося до начала прогнозируемого периода.

Так, например, можно предсказать, на каком этапе телефонные аппараты с кнопочными номеронабирателями вытеснят телефонные аппараты с дисковыми номеронабирателями. (К сожалению, это не произойдет так быстро, как нам хотелось бы, поскольку такая замена начнется лишь тогда, когда полностью окупятся действующие сейчас аппараты и телефонные коммутаторы.) Но ответить на вопрос, когда произойдет замена кнопочных номеронабирателей более совершенными устройствами, пока нельзя.

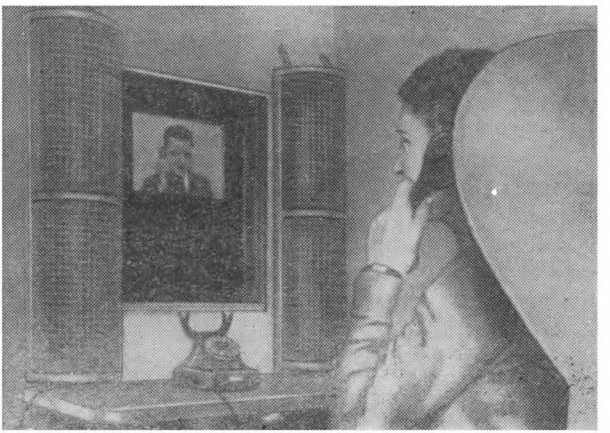
Когда в 1962 г. сотрудники американского журнала «Лук» поинтересовались у ЭВМ, какой она видит моду 1987 г., то через 40 мин узнали, что должен наступить возврат к греческому хитону, а дневные платья будут длиннее вечерних. Этот прогноз столь же бессмыслен, как и попытка предсказать, останутся ли наши женщины верными столь полюбившимся им

мини. Сегодня я предпочитаю отказаться от прогнозов на этот счет; однако к тому времени, когда вы будете читать эту книгу, кое-что и прояснится. Думается, программист, который «помогал» ЭВМ высказаться относительно моды 1987 г., просто пошутил над журналистами.

И все же я попытаюсь ответить на ряд вопросов, связанных с дальнейшим развитием техники связи, которые мне приходилось часто слышать. Вот один из них:

Где же видеотелефон?

Сначала я хочу уточнить, что мы понимаем под «видеотелефоном». Может быть, это устройство, которое позволяет заглянуть к вам в квартиру каждому, кто набирает ваш номер, которое заставит нас, мужчин, даже дома постоянно быть при галстуке, а женщин при каждом звонке бросаться к зеркалу? Иными словами, какую дополнительную информацию, помимо наших слов, способен передать видеотелефон? Разумеется, видеотелефон, о котором мы сейчас говорили, внедрять никто не собирается. Однако совершенно иную роль может сыграть видеотелефон при дальней связи. Пользуясь им, смогут разговаривать, видя



Видеотелефонный переговорный пункт в 1936 г.

друг друга, люди, разделенные огромными расстояниями. Для этого им не потребуется совершать далеких путешествий, а достаточно будет лишь дойти до переговорного пункта в их собственном городе. Вы будете удивлены, узнав, что идея видеотелефона не так уж и нова. В Германии технически она была осуществлена уже в 1936 г. Следовательно, возможности для развертывания видеотелефонной сети имеются уже давно. Но тот факт, что на практике видеотелефон почти не применяется, говорит об отсутствии подлинного интереса к нему. Можно с уверенностью сказать, что распространение видеотелефона в быту малоперспективно. В отличие от обычного телефона и автомашины видеотелефон вряд ли станет в нашем обиходе предметом широкого потребления.

Если же под видеотелефоном понимать устройство, которое позволяет, к примеру, крановщику видеть из своей кабины, что происходит за углом; облегчает регулировщику управление потоками автомашин; позволяет служащим банковских филиалов предъявлять подписи клиентов для контроля центральной конторе; разрешает исследователям вести дистанционные наблюдения за ходом опасных экспериментов; делает возможным «вынесение» интересных операций в большие аудитории и т. д., то такое устройство существует уже много лет. Так называемое «промышленное телевидение», или «замкнутые системы телевидения», проникло во многие отрасли промышленности и в будущем получит еще большее распространение, в том числе и при передаче и обработке информации. Можно полагать, что усовершенствованный коммерческий видеотелефон будет использоваться все шире. Именно такой специализированный видеотелефон, который служит нуждам управления, вскоре войдет в наш повседневный обиход.

Теперь перейдем к следующему вопросу:

Появятся ли обучающиеся автоматы?

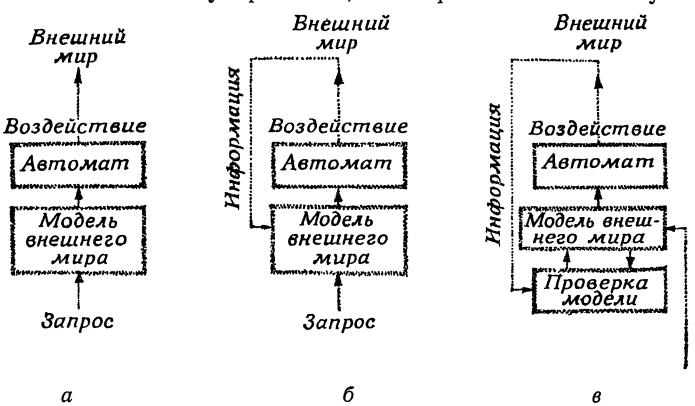
Прежде чем я отвечу на этот вопрос, следует уточнить, что мы вкладываем в понятия «обучаться» и «автомат».

Человек, обучаясь, накапливает информацию. Она удерживается в его памяти более или менее длительное время — незначительные события порой могут запечатляться в нашем мозгу на всю жизнь, а промежуточные результаты при устных вычислениях — всего на несколько секунд. Кроме того, человек накапливает «жизненный опыт». Так мы «учимся» на неудаче, постигшей нашего соседа в результате определенной линии поведения. Иными словами, в нашем сознании представления об окружающем мире постоянно уточняются, постоянно совершенствуется наша внутренняя модель окружающего мира.

К. Штейнбух говорит об этом следующими словами: «Обучение системы состоит в том, что в соответствии со своими предшествующими удачами и неудачами (опыт!) она совершенствует внутреннюю модель окружающего ее мира».

Такое определение обучения можно считать вполне приемлемым. Теперь перейдем к определению автомата.

В «Азбуке науки и техники», изданной Брокгаузом, мы читаем, что автоматом называют «реальное или гипотетическое устройство, которое после запуска



Типы автоматических систем

Когда поступает запрос, автомат оказывает свое воздействие на внешний мир:

а — независимо от каких-либо изменений в окружающей среде; *б* — в зависимости от тех изменений, контроль за которыми предусмотрен конструкцией автомата; *в* — после проверки соответствия модели внешнего мира действительному состоянию внешней среды — в случае необходимости в модель внешнего мира вносятся коррективы.

способно самостоятельно выполнять свою функцию».

Следовательно, автоматами являются устройства, выполняющие какую-то операцию (например, выдачу некоторого товара) после их пуска (для которого, например, нужно опустить монету в соответствующую щель). Может ли такой автомат обучаться? Давайте исследуем этот вопрос с помощью структурных схем.

Конструктор автомата, который должен решать определенную задачу, снабжает автомат на весь его «жизненный путь» моделью внешнего мира. Во всех случаях, когда в автомат поступает запрос (опускается монета), он оказывает на внешний мир свое воздействие (выдает товар).

На приведенном на стр. 228 рисунке в случае *а* изображена принципиальная схема автомата, который должен наливать охлажденную газированную воду с апельсиновым сиропом. Автомат будет это делать всякий раз, когда в него опустят требуемую монету, независимо от того, стоит ли 30-градусная жара или трещит 30-градусный мороз.

В случае *б* на рисунке изображен автомат, не только снабженный моделью внешнего мира, но и обладающий способностью учитывать определенные изменения в окружающей его среде. Во всех случаях, когда в такой автомат поступает запрос (то есть опускается монета), он оказывает воздействие на внешний мир. Однако в этом случае характер воздействия зависит от состояния внешнего мира в данный момент, а сама эта зависимость определяется конструктором автомата. И этот автомат должен наливать газированную воду с апельсиновым сиропом. Однако при 30-градусной жаре он будет наливать охлажденную воду, а при 30-градусном морозе — подогретую. Такое поведение автомата стало возможным благодаря тому, что он располагает информацией об окружающем мире и способен воспринимать ее и перерабатывать в соответствии с программой, заложенной в него конструктором.

В случае *в* автомат не только снабжен моделью внешнего мира и органом, с помощью которого он на него воздействует, но наделен еще и способностью проверять соответствие своей модели внешнего мира состоянию внешней среды и в случае необходимости

исправлять эту модель. Если при 30-градусной жаре произойдет резкое снижение спроса на газированную воду с сиропом, то автомат предпримет шаги по увеличению сбыта своего товара: например, он может снизить содержание углекислоты в воде. Поскольку теперь в моду входят негазированные напитки, это позволит повысить объем продаж, что даст основание автомату исправить свою модель внешнего мира. Таким образом, автомат совершит действие, которое было бы невозможно без его способности к обучению, а для совершения этого действия из внешнего мира должна поступать информация.

Автоматы для устного перевода речи с одного языка на другой (такие автоматы непременно появятся в перспективе) также должны будут обладать способностью подстраиваться к речевым особенностям говорящих. Я полагаю, что такая задача будет по плечу лишь обучающемуся автомату.

Сигналы далеких миров

Люди и автоматы доставляют на Землю лунную породу, луноходы с дистанционным управлением исследуют поверхность Луны, космические корабли опускаются на поверхность Венеры, а спутники изучают околоземное пространство. Эти потрясающие сообщения об успехах науки и техники вновь и вновь заставляют нас задуматься над тем, не придется ли нам, людям, когда-нибудь встретиться с живыми существами из далеких миров, не достигнет ли нас когда-либо весточка от мыслящих существ, посланная из глубин Вселенной.

Наука доказала, что планеты Солнечной системы не единственны. Существующие на таких планетах условия могут оказаться благоприятными для возникновения жизни. По всей вероятности, жизнь является порождением не только нашей Солнечной системы. Надо думать, и в других далеких мирах в результате эволюции появились мыслящие живые существа, которые достигли успехов и в науке и технике. Как эти существа выглядят, каковы их интересы, мораль и культура, мы не знаем. Здесь достаточно простора для фантастов.

Если мы даже абсолютно уверены в том, что где-то в далеких мирах существуют высшие формы разумной жизни, то и тогда вероятность установления контакта с этой жизнью весьма невелика. Этому препятствуют бесконечные просторы Вселенной, колоссальное время, требуемое для распространения информации, и наши весьма ограниченные на фоне таких пространств технические возможности. Кроме того, нам не известно, есть ли вообще у далеких живых существ желание вступить с нами в контакт. Но все это не должно ослабить наши поиски разумной жизни в далеких мирах. Если даже мы в этой Вселенной и одни — а это самое вероятное,— мы все же не одиноки. И именно благодаря средствам связи.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА РУССКОГО ПЕРЕВОДА 5
ПРЕДИСЛОВИЕ 9
БАРАБАНЫ И КОСТРЫ 11
ИГРА СЛУЧАЯ 30
УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР ЧИСЕЛ ГОТФРИДА ЛЕЙБНИЦА . . 50
НЕМНОГО ИНФОРМАЦИИ О ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ . . . 69
ДЖОРДЖ БУЛЬ И ЕГО АЛГЕБРА 78
СОВРЕМЕННО ЛИ РЕЛЕ? 99
МОДНОЕ СЛОВО «ЭЛЕКТРОНИКА» 109
НЕРВЫ СТРАНЫ 128
ПОЗВОНИТЕ МНЕ! 145
ПРАВИЛЬНО ЛИ ВЫ НАБИРАЕТЕ? 161
ТЕЛЕГРАФНОЕ СЛОВО НЕ СТАРЕЕТ 192
ГАЗЕТА ПО ФОТОТЕЛЕГРАФУ 200
РАЗГОВОР С ЭВМ 207
СЛОВО ТЕХНОЛОГИИ 216
ЧТО СУЛИТ НАМ БУДУЩЕЕ 225

К. РУМПФ
БАРАБАНЫ, ТЕЛЕФОН, ТРАНЗИСТОРЫ

Редактор А. Белевцева
Художник Ф Инфантэ. Художественный редактор Ю Максимов
Технический редактор Е. Потапенкова. Корректор С. А Денисова

Сдано в набор 13/III—1974 г. Подписано в печать 5/IX—1974 г.
Бум тип № 3 $84\times108^{1}/_{32}=3{,}63$ бум л. Печ л. усл. 12,18. Уч -изд. л. 10,66. Изд. № 12/7541. Цена 50 коп. Зак. 195.

Издательство «Мир», Москва, 1-й Рижский пер , 2

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ярославль, ул. Свободы, 97

50 к