

И. Н. ПЕТРОВ — МИНИАТЮРНЫЕ РАДИОУСТРОЙСТВА

И. Н. ПЕТРОВ



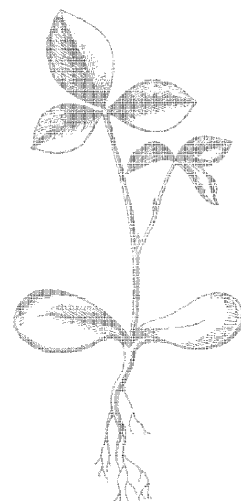
*Миниатюрные*  
**РАДИОУСТРОЙСТВА**

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР  
МОСКВА — 1961

И. Н. ПЕТРОВ

# МИНИАТЮРНЫЕ РАДИОУСТРОЙСТВА

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР  
МОСКВА — 1961



И. Н. ПЕТРОВ

**Миниатюрные радиоустройства**

В брошюре дана краткая характеристика основных миниатюрных радиодеталей, полупроводниковых приборов, а также технология изготовления печатных схем, применяемых при конструировании миниатюрной радиоаппаратуры. Рассматриваются вопросы автоматизации производства радиоаппаратуры и приводится описание некоторых автоматических и полуавтоматических линий.

Брошюра предназначена для солдат, сержантов и офицеров, знакомых с радиотехникой. Она ставит задачей дать сведения о конструировании миниатюрной радиоаппаратуры и перспективах автоматизации ее производства.



---

---

## ВВЕДЕНИЕ

Радио настолько прочно вошло в технику и науку, в производство и быт, что для каждого человека вполне очевидна необходимость дальнейшего совершенствования и развития этого средства связи и управления, средства, позволяющего вести обширные научные исследования и открытия. Поэтому вполне естественно то большое внимание, которое уделяется созданию новой радиоаппаратуры, отвечающей высоким современным требованиям.

Каковы же эти требования?

Это в первую очередь повышение надежности радиоаппаратуры, улучшение ее качества, стремление получить больший эффект от этой аппаратуры при снижении потребляемых мощностей, наконец, резкое увеличение количества выпускаемой радиоаппаратуры.

В связи с этим перед радиотехнической промышленностью ставятся вполне конкретные задачи, без разрешения которых нельзя обеспечить выполнение перечисленных выше требований.

Одна из основных задач, стоящих перед промышленностью, — максимальная автоматизация производства радиоаппаратуры, возможная только при внедрении новой прогрессивной технологии. Важнейшим требованием является также уменьшение размеров и веса радиоаппаратуры, т. е. создание миниатюрной радиоаппаратуры. Для связной радиоаппаратуры главная задача — обеспечить надежность передачи и приема сообщений на большие расстояния при малых мощностях передающей радиоаппаратуры.

Радио уже давно перестало быть только средством связи. Радиоаппаратура теперь используется в телемеханике и медицине, математике и биологии, оптике и геологии, акустике и навигации.

Применение радиоэлектроники создало совершенно новые отрасли науки, такие, как радиофизика, радиоастрономия, радиометеорология, радиогеодезия и т. п.

Последние достижения советской науки — успешные испытания межконтинентальной баллистической ракеты и запуск искусственных спутников Земли и Солнца — стали возможны только благодаря достижениям радиоэлектроники.

Наконец, радиоэлектронная аппаратура успешно обслуживает основные виды промышленности: каменноугольную, нефтяную, металлургическую, лесную, пищевую и многие другие. Радио с каждым днем все шире и шире внедряется в сельское хозяйство.

Развитию радиоэлектроники уделяется большое внимание во многих странах мира. Например, в такой технически развитой стране, как США, радиоэлектронная промышленность занимает по объему продукции третье место, уступая лишь сталелитейной и авиационной.

Наша страна является родиной радио, но в дореволюционной России это величайшее открытие должного развития не получило.

Русский ученый Александр Степанович Попов, изобретатель радио, проводя свои работы, не только не получал никакой поддержки от царского правительства, но, наоборот, тратил много энергии, труда и здоровья на борьбу с бюрократическим и косным отношением царских чиновников к своему гениальному изобретению.

Несмотря на огромные трудности, А. С. Попов сделал очень много для развития отечественной радиотехники. В 1899 г. он сконструировал радиотелефонный приемник для приема на слух азбуки Морзе. Поповым были созданы первые в мире военно-морские и передвижные пехотные радиостанции.

Однако отечественная радиопромышленность развивалась крайне медленно. Первый радиозавод в России появился только в 1915 г. на базе созданных пятнадцать лет назад ремонтных радиомастерских при Кронштадтском военном порте. Примерно в 1911—1912 гг. под руководством будущего академика Н. Д. Папалекси была построена первая приемно-передающая самолетная радиостанция, позволившая осуществить двустороннюю связь самолета с землей. В иностранных армиях самолетные станции появились только в период первой мировой войны.

По-настоящему радиопромышленность России начала развиваться уже в годы Советской власти.

Весной 1918 г. по прямому указанию В. И. Ленина под руководством М. А. Бонч-Бруевича создается первое в России научно-исследовательское и конструкторское учреждение — Нижегородская радиолaborатория, ставшая впоследствии крупнейшим научным центром радиотехники. Именно в Нижегородской лаборатории в 1919 г. была создана первая в мире электронная радиолампа с водяным охлаждением, совершившая переворот в радиотехнике. Там же в 1922 г. О. В. Лосев сконструировал первый радиоприемник с применением полупроводников, положивший начало развитию полупроводниковой электроники.

В конце 1919 г. сотрудники лаборатории создали радиотелефонный передатчик, а спустя три года под руководством М. А. Бонч-Бруевича в Москве была построена 12-киловаттная, в то время самая мощная в мире, радиостанция. Мощность радиостанций Германии и Франции достигала только 5 квт, а США имели радиостанцию мощностью 1,5 квт.

С вводом в строй мощных вещательных станций развивается и крепнет отечественная радиопромышленность.

За несколько десятилетий наша промышленность прошла путь от детекторного приемника до первоклассных многоламповых вещательных и телевизионных приемников. В настоящее время промышленностью освоена замечательная радиоэлектронная аппаратура: автоматические быстродействующие вычислительные машины, сложное оборудование телевизионных станций, радиорелейная аппаратура и т. д.

Наряду со сложными устройствами, занимающими площадь в несколько сотен квадратных метров, создается радиоаппаратура миниатюрных и сверхминиатюрных размеров.

Решения внеочередного XXI съезда КПСС по семилетнему плану развития народного хозяйства требуют от работников радиотехнической промышленности значительного увеличения выпуска приборов-автоматов. Если в 50-х годах мы имели не только полностью автоматизированные отдельные технологические процессы в ряде отраслей народного хозяйства, но и полностью автоматизированные предприятия, то в настоящее время выдвигается задача создания крупных автоматизированных предприятий с законченным производственным циклом, управляемых счетно-решающими машинами.

В контрольных цифрах семилетнего плана большое вни-

мание уделяется также развитию научно-исследовательских работ по полупроводниковым приборам и расширению их практического применения. Значительно должен увеличиться выпуск массовой радиоаппаратуры, вещательных и телевизионных приемников.

В течение 1959—1965 гг. вступят в строй новые телевизионные центры, значительно расширится радиорелейная связь.

Важнейшей задачей является также дальнейшее уменьшение размеров и веса радиоаппаратуры, т. е. создание новой миниатюрной аппаратуры.

Цель настоящей брошюры — рассказать о достижениях радиотехники в области создания миниатюрной радиоаппаратуры, о применении печатных схем и полупроводниковых приборов, о механизации и автоматизации производства радиоаппаратуры.



---

---

## I. МИНИАТЮРНЫЕ ДЕТАЛИ

Любая радиоаппаратура независимо от ее назначения обязательно содержит то или иное количество узлов и деталей. К таким узлам и деталям в первую очередь относятся электронные лампы, полупроводниковые приборы, конденсаторы, сопротивления, катушки, трансформаторы и т. п.

Так как размеры и вес радиоэлектронной аппаратуры зависят от размеров узлов и деталей, то мы и остановимся несколько подробнее на методах производства основных узлов и деталей.

### ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

Несмотря на то что за последние годы в радиоэлектронной аппаратуре широко применяются полупроводниковые приборы, в ряде случаев успешно заменяющие электронные лампы, электронная лампа все еще является основной деталью — сердцем радиоэлектронной аппаратуры. При этом, чем сложнее эта аппаратура, тем большее количество электронных ламп необходимо для ее работы. Если современный вещательный приемник содержит от 5 до 15 ламп, то в телевизионном приемнике количество ламп достигает 25. В современной подвижной радиолокационной станции насчитывается от 300 до 400 радиоламп. Оборудование тяжелого самолета требует около 1000 электровакуумных приборов, а электронно-счетная машина «БЭСМ», работающая в Академии наук СССР, имеет до 5000 электронных ламп.

Применяемые сейчас электронные лампы — результат научных открытий и работ ряда русских и зарубежных ученых.

Еще в 1802 г. профессор-физик В. В. Петров, проводя опыты с построенной им гальванической батареей, получил



длительный дуговой разряд между двумя электродами. Это был первый прибор, в котором электрические заряды переносились через пространство между проводниками, а не по самим проводникам.

В 1883 г. американский изобретатель Эдисон во время своих экспериментов с лампами накаливания установил, что если в электрическую лампу на некотором расстоянии от нити накаливания поместить металлическую пластинку и, кроме электрической батареи, подключенной к нити накаливания, присоединить дополнительную батарею положительным полюсом к металлической пластинке, а отрицательным — к нити накаливания, то в цепи дополнительной батареи начнет протекать электрический ток. Таким образом было установлено, что в определенных условиях ток может протекать и через пространство между нитью накаливания и металлической пластинкой. Однако это явление практического применения в то время не получило.

Двухэлектродная лампа — диод — появилась в 1889 г. в результате семилетней работы ученых Эльстера и Гейтеля. Эта лампа имела накаливаемый катод и холодный анод.

С 1889 г. английский ученый Флеминг работал над изучением и сопоставлением данных, полученных разными учеными в области электронных ламп. В 1904 г. он получил патент на применение сцилляторной лампы в качестве детектора.

В 1906 г. француз Ли де Форест ввел в двухэлектродную лампу дополнительный электрод — сетку и получил уже трехэлектродную лампу — триод. Этот триод явился фундаментом, на котором впоследствии разрабатывались и совершенствовались электронные радиолампы.

Дальнейшее развитие электронных ламп шло по пути увеличения дополнительных электродов — сеток. В 1913 г. Лангмюр ввел в триод вторую сетку, расположив ее возле катода. Затем Шотки ввел сетку между управляющей сеткой и анодом. Эта новая сетка, которую называли экранирующей, увеличила коэффициент усиления лампы и уменьшила емкость между управляющей сеткой и анодом. Дальнейшим усовершенствованием было введение между экранирующей сеткой и анодом еще одной сетки — защитной.

Так была создана пятиэлектродная лампа — пентод, имеющая катод, анод и три сетки.

Введением в электронную лампу третьей сетки закончилось совершенствование электронной лампы как детек-

тора-усилителя, так как шести-, семи- и восьмиэлектродные лампы служат уже для специальных целей или являются объединением двух — трех ламп в одном баллоне.

Первая электронная лампа в России была создана в 1915 г. М. А. Бонч-Бруевичем.

В промышленном масштабе электронные лампы в России начали выпускаться только после Октябрьской революции. В 1923 г. был построен электровакуумный завод. Первоначально он выпускал всего-навсего два типа приемно-усилительных ламп и четыре генераторных, однако по тем временам это было уже серьезной победой.

В 1925 г. был заключен договор с французской фирмой об организации на заводе производства французских радиоламп. Так у нас появились радиолампы типа «Микро» и «R».

Первые миниатюрные лампы (типа Д-1-Д) были разработаны в 1934 г. в Ленинградском электротехническом институте А. А. Шапошниковым и Ю. А. Кацманом. За границей миниатюрные лампы начали появляться только в 1939 г., но уже к 1945 г. в эксплуатации находилось более 50 миллионов таких ламп.

В настоящее время существует несколько сотен типов миниатюрных и сверхминиатюрных ламп. Основное отличие их от обыкновенных стеклянных электронных ламп — малые размеры. Так, например, если диаметр баллона обычных ламп 33—43 мм, а высота около 85—100 мм, то у миниатюрных ламп средний диаметр баллона 19—22,5 мм, а высота около 55 мм. У сверхминиатюрных ламп диаметр баллона около 10 мм, а высота около 36 мм.

Миниатюрные и сверхминиатюрные лампы изготавливаются, как правило, из тех же материалов и по той же технологии, что и обычные лампы.

Катоды этих ламп могут быть двух типов — прямого накала и подогревные.

Сетки малогабаритных ламп делают из таких тугоплавких материалов, как молибден, вольфрам, и их сплавов. Для уменьшения тока эмиссии сетки сверхминиатюрных ламп покрывают золотом, серебром, или другими материалами.

Аноды изготавливают из карбонированного никеля, хорошо излучающего тепло, что важно для улучшения условий работы анода.

Баллоны ламп обычно делают из мягкого стекла с температурой размягчения около 350° С.

Уменьшение размеров баллонов ламп связано с определенными трудностями, так как приводит к повышению мощности рассеяния на единицу поверхности, что может вызвать перегрев баллона.

Долговечность электронных ламп значительно зависит от температуры, при которой они работают. Чрезмерный нагрев лампы может привести к электролизу стекла около выводов и к нарушению вакуума. Если в процессе работы температура лампы превысит температуру, при которой проводилась откачка, то в лампе начнут выделяться газы, вредно влияющие на ее работу. Газопоглотители, применяемые в лампах, могут поглощать только определенное количество газов. Когда же выделяемое количество газа больше, чем способен поглотить геттер, вакуум лампы ухудшается. Кроме того, при перегреве баллона газопоглотитель может испариться и осесть на более холодных частях лампы, что приведет к выделению газа самим газопоглотителем. Оседая на слюдяных изоляторах, газопоглотитель увеличивает ток утечки между электродами, что ухудшает работу лампы и даже может привести к полной ее непригодности.

Обычно рабочая температура баллонов приемно-усилительных ламп не должна превышать  $200^{\circ}$ . Нормальное охлаждение баллонов ламп должно строго учитываться при конструировании и монтаже миниатюрной радиоаппаратуры.

Однако вопросы правильного теплового баланса не единственная трудность, возникающая при конструировании миниатюрных и сверхминиатюрных ламп.

Известно, что плотность тока эмиссии с оксидного катода не должна в среднем превышать  $0,2 \text{ а/см}^2$ . Следовательно, уменьшать площадь катода можно только до определенных пределов. У ламп с прямым накалом площадь поверхности катода меньше, чем у подогревных, поэтому такие лампы могут применяться только в тех случаях, когда потребляемый ток невелик.

Режим работы анода выбирается так, чтобы в рабочем состоянии он не нагревался докрасна, так как больший нагрев потребует более полного обезгаживания лампы в процессе откачки, что экономически нецелесообразно. Таким образом, площадь анода не может быть меньше определенного предела, допустимого с точки зрения нормального нагрева анода.

Наконец, плотное расположение электродов и высокие

рабочие температуры приводят к увеличению тока эмиссии сетки.

Все эти особенности значительно осложняют конструирование сверхминиатюрных ламп.

Миниатюрность электродов и малые расстояния между ними требуют особой внимательности и очень высокой степени точности сборки, часто превосходящей допуски на размеры самих деталей. Например, расстояние между катодом и управляющей сеткой может быть порядка 0,1 мм, а у бесцокольных ламп с гибкими выводами оно всего 70 мк. Очевидно, что при таких условиях обеспечить однородность сборки бывает очень сложно.

Электроды этих ламп крепятся, как и у обычных, при помощи слюдяных шайб, в которых заранее пробиваются строго фиксированные отверстия.

Особую трудность представляет заварка лампы — соединение собранной ножки с баллоном. Особенность этой операции заключается в том, что при малых размерах баллона и ножки очень трудно избежать окисления электродов и повреждения катода. Пламя горелок заварочной машины приходится тщательно регулировать, чтобы, не перегревая электроды, обеспечить качественную заварку и не вызвать перенапряжений в стеклянном баллоне, которые могут привести к появлению трещин на баллонах и натеканию ламп.

О сложности конструкции сверхминиатюрных ламп можно судить по рис. 1, на котором в увеличенном масштабе показаны разрезы сверхминиатюрного пентода (а) прямого накала и триода (б) косвенного накала.

Наша промышленность выпускает как миниатюрные, так и сверхминиатюрные электронные лампы. К ним относятся пальчиковые лампы (рис. 2), лампы типа «желудь», бесцокольные лампы с гибкими выводами, стержневые лампы и пр.

В пальчиковом оформлении выпускаются триоды, тетроды, пентоды, гектоды, двойные диоды и триоды, кенотроны и стабилитроны (стабиловольты).

Пальчиковые лампы (кроме стабилитрона) имеют, как правило, оксидированные катоды прямого и косвенного накала и рассчитаны на различные напряжения (1,2; 2,2; 2,4; 6,3 в). Цоколя эти лампы не имеют. Выводы от электродов укреплены в плоской стеклянной ножке и служат штырьками при вставлении лампы в панель. Штырьки расположены по окружности, как и штырьки обычных ламп.

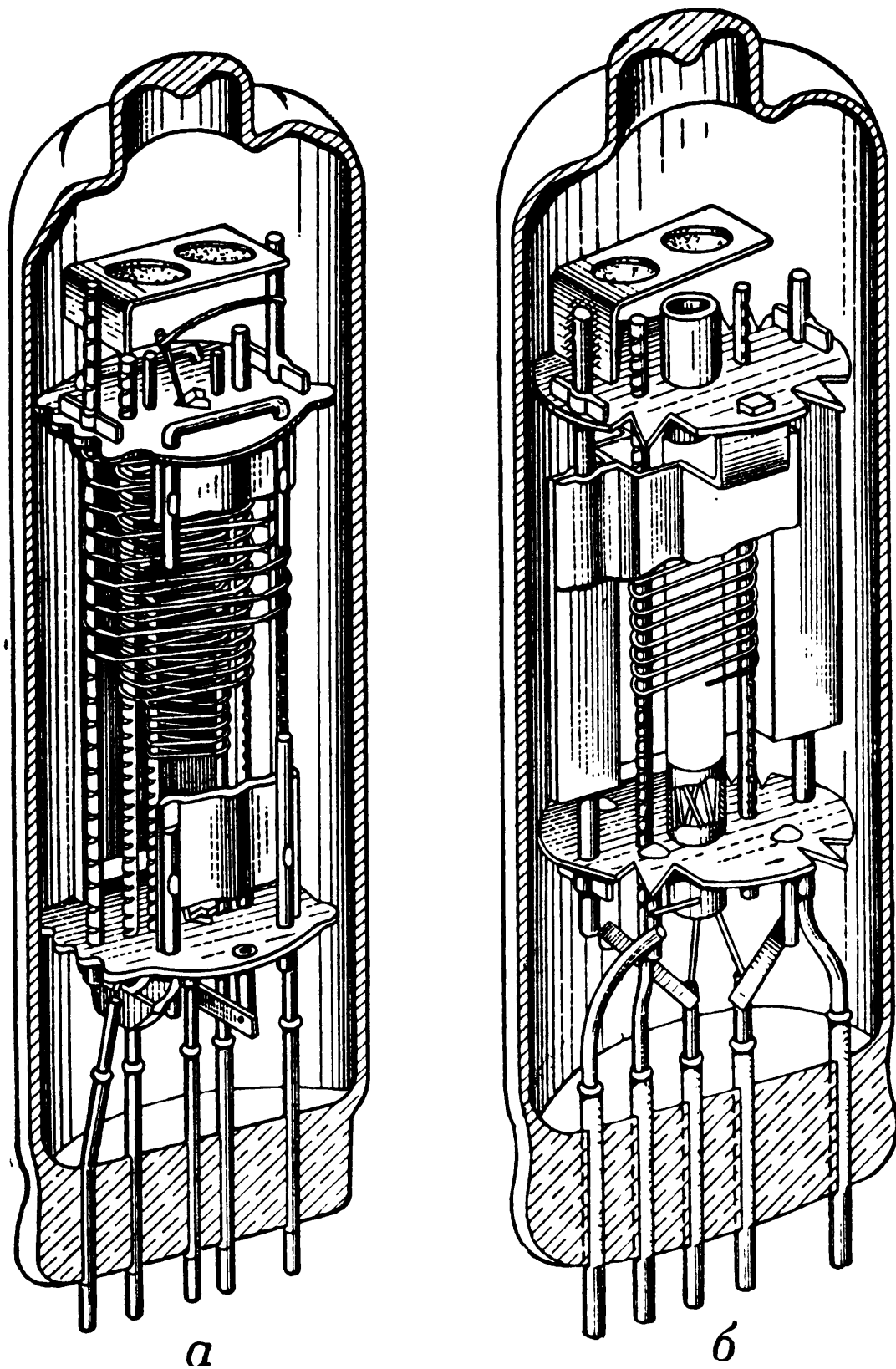


Рис. 1. Сверхминиатюрные лампы

Часть пальчиковых ламп имеет семь штырьков, а часть — девять.

Основные параметры и предельно допустимые режимы некоторых пальчиковых ламп приведены в табл. 1.

Иногда электрические параметры пальчиковых ламп

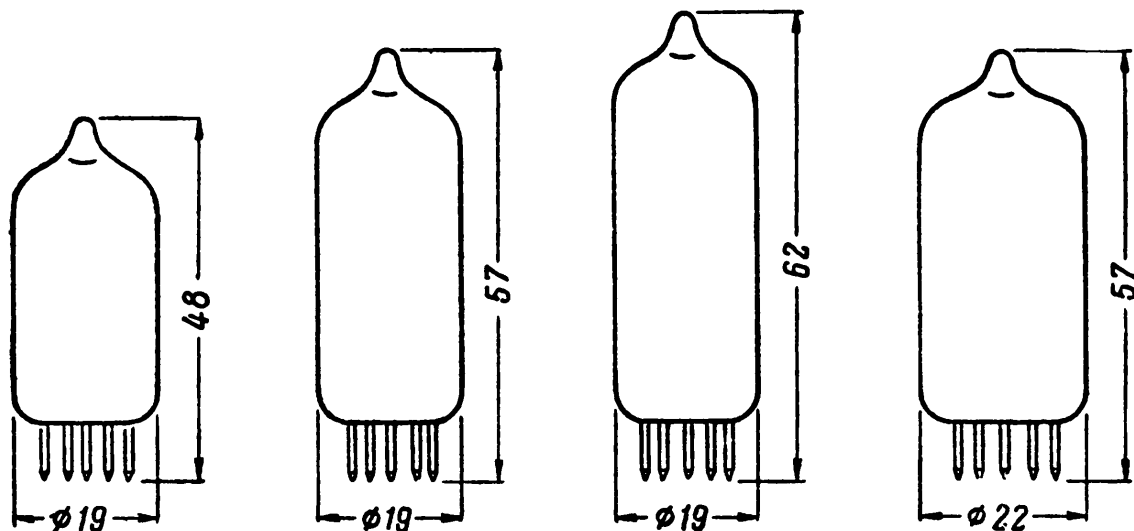


Рис. 2. Пальчиковые лампы

превосходят параметры аналогичных ламп старых конструкций. Микрофонный эффект у миниатюрных ламп проявляется слабее.

Нашей промышленностью разработана и выпускается серия бесцокольных ламп с гибкими выводами (рис. 3 и табл. 2). Эти лампы крепятся к шасси при помощи резиновых колец или металлических колпачков, служащих одно-

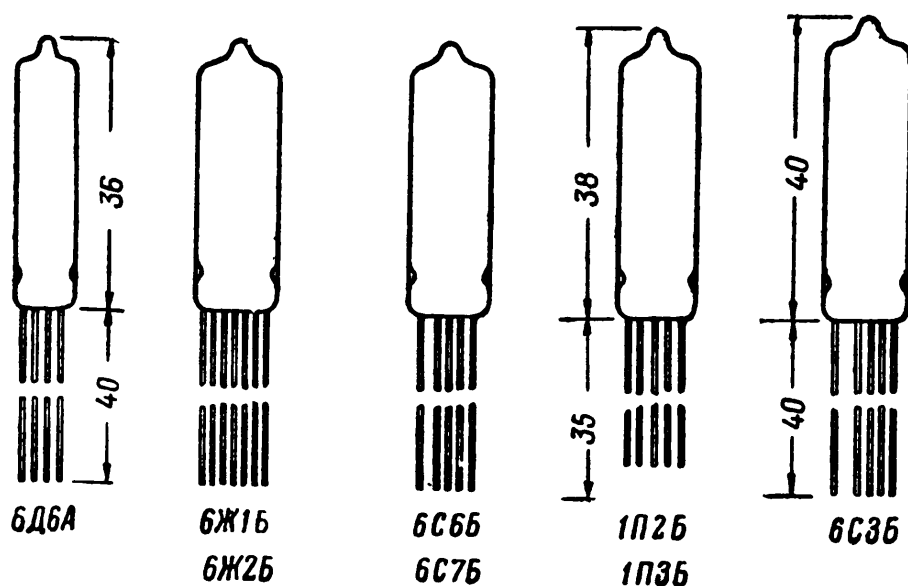


Рис. 3. Бесцокольные лампы с гибкими выводами

### Основные параметры и предельно до

Тип	Наименование	Напряжение,					
		накала			на аноде		на экра- щей
		мин.	ном.	макс.	ном.	макс.	ном.
1Б1П	Диод-пентод	0,95	1,2	1,4	67,5	100	67,5
1К1П	Высокочастотный пентод	0,95	1,2	1,4	90	100	67,5
2Ж27П	То же	2	2,2	2,4	120	200	45
2П1П	Лучевой тетрод	0,95/1,9	1,2/2,4	1,4/2,8	90	100	90
6Б2П	Диод-пентод	5,7	6,3	7	250	330	100
6Ж1П	Высокочастотный пентод	5,7	6,3	7	120	200	120
6Ж2П	То же	5,7	6,3	7	120	200	120
6Ж3П	„	5,7	6,3	6,9	250	330	150
6Ж4П	„	5,7	6,3	7	250	330	100
6Ж5П	„	5,7	6,3	7	250	330	100
6К1П	„	5,7	6,3	6,9	250	275	100
6К4П	„	5,7	6,3	7	250	330	100
6Н1П	Двойной триод	5,7	6,3	7	250	300	—
6Н2П	То же	5,7	6,3	7	250	300	—
6Н15П	Высокочастотный двойной триод	5,7	6,3	7	100	300	—
6П1П	Лучевой тетрод	5,7	6,3	7	250	250	250
6П2П	Пентод	5,7	6,3	7	120	330	120
6С1П	Высокочастотный триод	5,7	6,3	6,9	250	275	—
6С2П	Триод	5,7	6,3	6,9	100	150	—
6Х2П	Двойной диод	5,7	6,3	7	—	—	—
6Ц4П	Двуханодный ке- ноotron	5,7	6,3	7	—	—	—

Таблица 1

## пустимые режимы пальчиковых ламп

в		Ток, ма			Крутизна харак- теристики, ма/в	Внутреннее со- противление, Мом	Входная емкость, пф	Максимальная допустимая мощ- ность, рассеивае- мая анодом, вт	Примечание
нирующе- сетке	на управлю- ющей сетке	накала	анода	экранирующе- й сетки					
макс.									
75	0	60	1,6	0,35	0,625	—	—	—	Для пентода
75	0	60	3,5	1,2	0,66	—	3,5	—	
120	0	57	1,9	0,5	1	1,6	4,5	1	
100	—4,5	60/120	9,5	2,2	2	—	5,5	—	
140	—3	300	6,6	1,6	2,7	0,7	4,2	1,1	
150	Смещение авто- матическое	175	7,5	2,5	5,2	0,3	4,3	1,8	
150		175	5,5	5,5	3,55	0,075	4,3	1,8	
165		300	7	2	5	0,5	6,5	2,5	
140		300	7,2	2,6	4,7	1	5,3	3,3	
165		450	10,0	2,5	9	0,5	10	4	
110	—3	150	6,65	2,7	1,85	0,45	3,4	1,8	
140	—	300	10,5	4	4,4	1,5	5,5	3,3	
—	—	600	8	—	3,2	0,008	3,8	2	Для каж- дого триода
—	—	300	2,3	—	2	0,05	1,75	1	
—	—	450	9	—	5,6	0,0068	2	1,6	
250	—12,5	450	45	7	4,5	0,05	7,8	12	
330	—5,5	450	35	12	8	0,012	—	4,2	
—	—7	150	6,1	—	2,26	0,011	1,38	1,8	
—	—	400	10	—	11	0,005	—	2,25	
—	—	300	17*	—	—	—	—	0,5	* Выпрямлен- ный ток
—	—	600	75*	—	—	—	—	3	* То же



Таблица 2

## Основные параметры и предельно допустимые режимы бесцокольных ламп с гибкими выводами

Тип	Наименование	Напряжение, в						Ток, ма			Крутизна характе- ристики, ма/в	Внутреннее сопро- тивление, Мом	Входная емкость, нф	Максимальная допу- стимая мощность, рассеиваемая ано- дом, вт	Примечание	
		накала		на аноде		на экра- нирующей сетке		накала	анода	экранирующей сетки						
		мин.	ном.	макс.	ном.	макс.	макс.									
1П2Б	Выходной пентод	—	1,25	—	45	—	45	—	—2	50	1,3	0,45	0,5	—	—	Прямого накала
1П3Б	То же	—	1,25	—	45	—	45	—	—2	27	0,75	0,45	0,425	—	—	То же
6Д6А	Диод	6	6,3	6,6	—	165	—	—	—	150	0,02	—	—	3	0,2	Косвенного накала
6Ж1Б	Высокочастотный пентод	6	6,3	6,6	120	150	120	125	—	200	7,5	3,5	4,8	4,8	1	С короткой характеристикой
6С3Б	Триод	6	6,3	6,6	270	300	—	—	—	0,15	8,5	—	2,2	2,5	2,5	
6С6Б	”	6	6,3	6,6	—	250	—	—	—	200	9	—	5	3,3	1,2	
6С7Б	”	6	6,3	6,6	250	300	—	—	—	200	4,5	—	4	3,3	1,3	

временно экраном. Гибкие выводы расположены в один ряд и припаиваются непосредственно к схеме. В левой части ножки имеется цветная точка для определения начала отсчета электродов. Бесцокольные лампы особенно удобны для легкой переносной аппаратуры ультракоротковолнового диапазона. Они имеют катоды косвенного подогрева, рассчитанные на напряжение 6,3 в. Особенностью конструкции этих ламп является овальная форма катода и сетки. Управляющие сетки изготавливаются из позолоченной вольфрамовой проволоки. Для повышения механической прочности лампы имеют дополнительные стойки — траверсы, позволяющие более жестко крепить слюдяные изолирующие прокладки.

За последние 10—15 лет основные типы электронных ламп подверглись такому усовершенствованию, которое позволило создать миниатюрные и сверхминиатюрные лампы высокого качества. Такие лампы имеют экономичное питание, хорошие электрические параметры при малых размерах и весе, что дает возможность применять их в такой ответственной аппаратуре, как вычислительные машины, радиолокационная техника, приборы управления самолетами, самолетная связная аппаратура и другое специальное оборудование, а также при создании малогабаритных и экономичных вещательных приемников с бестрансформаторным питанием и телевизионных устройств.

Самые миниатюрные из существующих в настоящее время электронных ламп — это так называемые стержневые лампы (рис. 4). Отличительной особенностью их конструкции является то, что все электроды выполнены в виде вертикально расположенных металлических стержней диаметром менее 1 мм. Выводы электродов, изготовленные из жесткой проволоки диаметром 0,4—0,5 мм, запрессовываются в стеклянное дно баллона и имеют длину около 40 мм.

Так как лампы этого типа присоединяют к схеме непосредственной припайкой выводов, без каких-либо панелей, то концы выводов облуживают, что обеспечивает качественную пайку и надежный контакт со схемой.

Лампы стержневого типа выпускаются с двумя видами оксидных катодов: прямого и косвенного накала. Напряжение накала прямонакальных ламп 1,2 в, а ламп с косвенным накалом 6,3 в.

По внешнему оформлению оба вида ламп одинаковы — в стеклянных баллонах с проволочными выводами электро-

Таблица 3

## Основные параметры и предельно допустимые режимы стержневых ламп

Тип	Напряжение накала, в	Ток накала, ма	Напряжение анода, в	Ток анода, ма	Напряжение на сетках, в			Ток 2-й сетки, ма	Крутизна характеристики, ма/с	Междуэлектродные емкости, пф			Предельно допустимые эксплуатационные режимы								Основное назначение
					1-я сетка	2-я сетка	3-я сетка			входная	выходная	проходная	наименьшее на- пряженное накала, в	наибольшее на- пряженное накала, в	наибольшее на- пряженное анода, в	наибольшее на- пряженное на- пряженное 2-й сет- ки, в	мощность, рас- свечиваемая ано- дом, вт	мощность, рас- свечиваемая 2-й сеткой, вт	ток катода, ма	Число выводов	
1Ж17Б	1,2	60	2	0	40	—	0,3	1,0	3,75	2,1	0,01	1,08	1,32	90	60	0,5	0,18	5	8	Генерирова- ние колебаний и усиление на- пряжения ВЧ	
1Ж18Б	1,2	23,5	60	1,2	0	45	—	0,3	0,7	3,75	2,1	0,01	1,08	1,32	90	60	0,5	0,1	5	5	Усиление на- пряжения ВЧ
1П5Б	1,2	150	90	5	—	4,5	0	1,5	1,2	4,5	3,0	0,01	0,95	1,4	150	120	1,5	0,3	15	10	Генерирова- ние колебаний и усиление на- пряжения ВЧ
2П5Б	$\frac{1,2}{2,4}$	$\frac{150}{300}$	90	8	—	4,5	0	2,5	1,7	7,5	4,5	0,03	$\frac{0,95}{1,9}$	$\frac{1,4}{2,8}$	150	120	3,0	0,5	30	10	То же

дов. Диаметр баллонов 8,5 или 10,5 мм; высота 26, 39 и 45 мм. Обычно вес лампы 4—5 г, наибольший вес — 7 г.

К серии ламп прямого накала относятся высокочастотные пентоды 1Ж17Б, 1Ж18Б, 1П5Б, 2П5Б (табл. 3).

Стержневые лампы обладают большой механической прочностью и имеют довольно большой срок службы. Срок

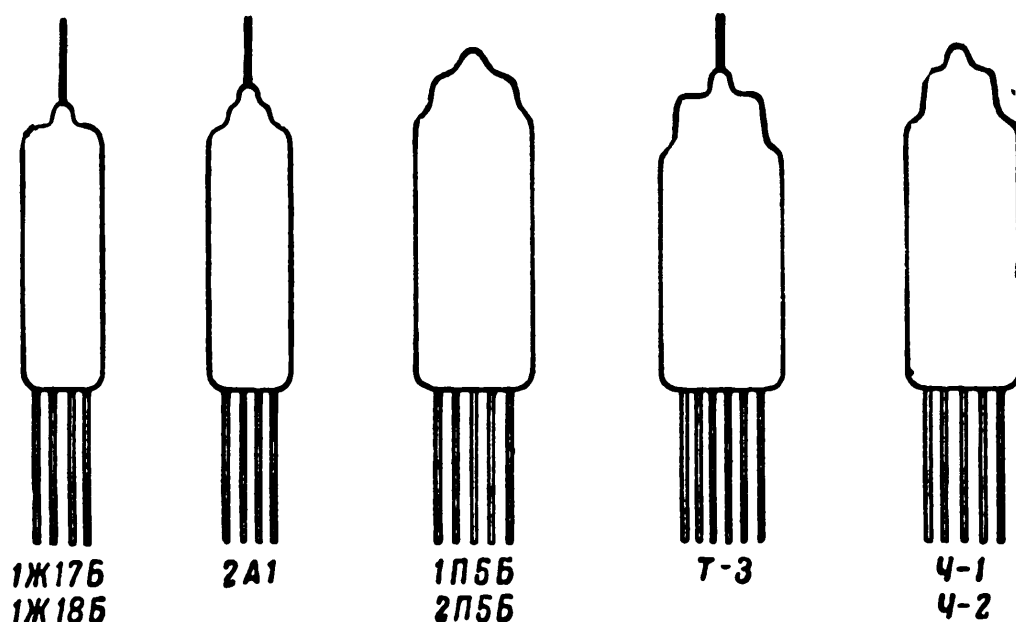


Рис. 4. Стержневые лампы

службы большинства стержневых ламп 500 ч, а высокочастотные пентоды 1Ж17Б и 1Ж18Б работают без ухудшения основных параметров до 2000 ч при 90% годности.

Применение этих ламп для создания миниатюрной и сверхминиатюрной аппаратуры имеет большие перспективы.

### ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Созданию полупроводниковых приборов — кристаллических диодов и триодов предшествовал ряд научных открытий и исследований в области полупроводников. Например, явление односторонней проводимости полупроводников, т. е. выпрямление, было открыто в 1835 г. Мэнком. Практически применил это открытие сорок лет спустя — в 1875 г. Браун в опытах с сульфидами металлов. А. С. Попов использовал выпрямляющие свойства полупроводника для радиосвязи, применив полупроводник при приеме на слух радиосигналов.

Большую роль в практическом использовании полупроводников в радиотехнике сыграли работы, проведенные в 20-х годах сотрудником Нижегородской лаборатории О. В. Лосевым.

Однако бурный рост электровакуумной техники задержал развитие полупроводниковых приборов, предназначенных для детектирования, усиления и генерирования радиосигналов, так как в то время считалось, что электронная лампа гораздо успешнее выполнит эти функции.

Постепенное освоение все более и более коротковолновых участков диапазона радиоволн вплоть до сантиметровых показало, что электронные лампы вследствие инерционности электронов и высокого уровня шумов становятся в ряде случаев непригодными. Внимание специалистов вновь обратилось к кристаллическим диодам, и в 40-х годах были созданы полупроводниковые диоды из германия и кремния, которые по своим механическим и электрическим качествам значительно превосходили предшествовавшие. В 1948 г. появились кристаллические триоды, а затем и тетроды.

Примерно в эти же годы создавалась теория полупроводников, которая объяснила ранее открытые явления и позволила создать новые полупроводниковые приборы.

Видная роль в создании и развитии теории полупроводников принадлежит советским ученым.

Кристаллические диоды, часто называемые кристаллическими детекторами, — разновидность полупроводниковых выпрямителей. Они предназначены для работы в области высоких частот, т. е. для выпрямления высокочастотного переменного тока, используемого для радиосвязи.

Работа полупроводникового диода основана на выпрямляющем свойстве контакта полупроводника с металлом или контакта между двумя полупроводниками, обладающими различными типами проводимости.

Чтобы представить себе физику процессов в полупроводнике, и в частности механизм выпрямления переменного тока при помощи полупроводниковых диодов, вспомним некоторые сведения о строении вещества.

Известно, что все окружающие нас вещества и предметы состоят из мельчайших частиц — молекул. Молекулы образуются из сочетания еще более мелких частиц — атомов, а последние состоят из протонов, нейтронов и электронов.

Протоны имеют положительный электрический заряд, электроны — отрицательный, равный по величине заряду протона, а нейтроны электрически нейтральны, их заряд равен нулю.

Протоны и нейтроны образуют ядро атома, электроны движутся вокруг ядра по определенным замкнутым траекториям — орбитам, образуя как бы электронное облачко, или, как иногда говорят, электронную оболочку атома.

В нормальном состоянии атом содержит одинаковое количество протонов и электронов и поэтому нейтрален.

Размеры и масса атомов и электрических частиц, образующих атом, чрезвычайно малы: например, десять миллионов атомов, «уложенных» в один ряд, образовали бы линию длиной около 1 мм; масса электрона составляет лишь  $9,1 \cdot 10^{-28}$  г. Вес протонов и нейтронов приблизительно одинаков и превышает вес электрона более чем в 1800 раз.

Количество протонов, нейтронов и электронов в атоме зависит от типа химического элемента, который он представляет. Атом каждого химического элемента периодической системы элементов Менделеева имеет строго определенную структуру. Атом водорода, например, имеет всего 1 электрон, атом углерода — 6 электронов, кислорода — 8, натрия — 11, фосфора — 15, а атом урана содержит 92 электрона.

Электроны атомов расположены в определенном порядке и составляют как бы ряд слоев, в каждом из которых может находиться строго определенное число электронов.

Электроны находятся в непрерывном движении, происходящем по определенным законам. Под действием электрических, магнитных и ядерных сил электроны движутся с огромной скоростью вокруг ядра. Расстояние электрона от ядра зависит от запаса энергии электрона. Наибольший запас энергии имеют электроны на удаленных от ядра орбитах, наименьший — электроны, находящиеся на ближних орбитах.

Электроны, расположенные на внешних орбитах атомов, называются валентными электронами. Они участвуют в переносе электрического заряда и определяют электропроводность тела. При помощи этих электронов атомы соединяются в молекулы.

Переход электрона с орбиты на орбиту связан с изменением запаса его энергии. Чтобы переместиться с ближней к ядру орбиты на более дальнюю, электрон должен

получить дополнительную энергию. При потере части энергии электрон переместится на ближнюю к ядру орбиту, т. е. его энергетический уровень станет ниже.

В определенных условиях атомы могут терять электроны на внешней орбите или, наоборот, принимать на эту орбиту «чужие» электроны. Атом, отдавший или принявший электрон, уже не будет электрически нейтральным, а приобретет положительный (в случае недостатка электронов) или отрицательный (в случае избытка электронов) заряд; атом, имеющий электрический заряд, называют ионом. Ионы, имеющие разноименные заряды, притягиваясь один к другому, образуют молекулы.

Атомы большинства твердых тел располагаются в определенном порядке, представляющем ту или иную геометрическую фигуру, причем каждое вещество имеет постоянную для него структуру расположения атомов. Подобное расположение атомов напоминает объемную решетку. Обычно принято говорить, что в твердых телах (за исключением аморфных) атомы составляют кристаллическую решетку. Атомы под действием сил взаимного притяжения удерживаются на строго определенных местах, сохраняя вполне постоянную структуру кристалла.

В настоящее время известно 230 различных типов кристаллических решеток.

Полупроводниковые приборы изготавливаются, как правило, из твердых полупроводников, имеющих кристаллическую структуру, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать строение и физические свойства именно таких веществ, атомы и молекулы которых образуют кристаллическую решетку.

Физические свойства твердого тела определяются наличием электронных связей между ионами, составляющими кристаллическую решетку. Чем эти связи сильнее, тем труднее изменить структуру тела (например, расплавить его или растворить).

Из разнообразных свойств твердых тел нас будет интересовать в первую очередь их способность проводить электрический ток, т. е. их электропроводность. С этой точки зрения все тела разделяются на три группы: проводники, полупроводники и изоляторы. Принадлежность тела к той или иной группе определяется степенью связи валентных электронов с ядром атома.

Проводники — это те вещества, которые имеют большое количество слабо связанных с ядром валентных электро-

нов, сравнительно легко «покидающих» свою орбиту и становящихся свободными электронами, участвующими в переносе электрического заряда.

У изоляторов, наоборот, валентные электроны прочно связаны с ядром и не могут участвовать в переносе электрического заряда.

Полупроводники составляют обширную промежуточную группу. Количество свободных электронов в полупроводнике значительно меньше, чем в проводниках, однако при определенных условиях валентные электроны могут стать электронами проводимости. Поясним это несколько подробнее.

Мы уже говорили, что электроны атома имеют различные энергетические состояния или, как принято говорить, находятся на различных энергетических уровнях, причем в одном атоме не может быть больше двух электронов с одинаковой энергией. Таким образом, электроны атома в каждый данный момент расположены на определенных энергетических уровнях и не могут переместиться на другой уровень, если он уже занят двумя электронами.

Так как твердое тело (в нашем случае кристалл) состоит из большого числа атомов, находящихся на близких расстояниях один от другого, то их электрические и магнитные поля, оказывая влияние одно на другое, значительно меняют энергетическую структуру распределения электронов. Если в отдельных атомах электроны находились в одних энергетических состояниях, то в кристалле эти энергетические состояния претерпевают изменения.

Кристалл имеет определенное количество атомов. Вследствие взаимного влияния каждый энергетический уровень атома «расщепляется» на такое же количество уровней, как и число атомов в кристалле. По величине эти уровни близки один к другому и на каждом из них может находиться также по два электрона. Такой ряд «расщепленных» уровней принято называть энергетической зоной.

Следует отметить, что физически в кристалле никаких зон и уровней нет. Эти понятия вводятся для удобства рассуждений и теоретического обоснования процессов и явлений, происходящих в твердом теле.

Структура твердого тела определяется взаимным расположением атомов, ионов или молекул, образующих кристаллическую решетку. Понятие «зона» или «уровень»



дается только для того, чтобы подчеркнуть, что те или иные электроны обладают вполне определенной энергией.

При графическом изображении энергетической структуры твердого тела (рис. 5), когда по вертикали откладывается значение энергий, границами зоны будут линии, соответствующие наименьшему и наибольшему значениям энергии электронов данной зоны.

Когда мы говорим, что электрон находится на определенном энергетическом уровне или расположен в такой-то

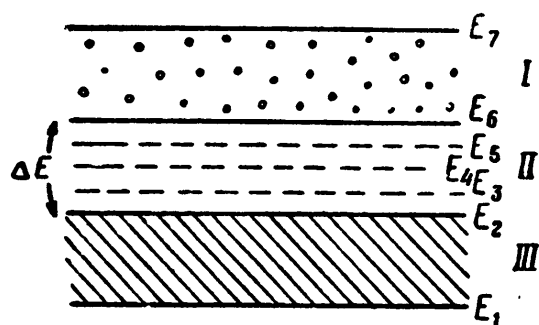


Рис. 5. Схема энергетической структуры тела:

*I* — зона проводимости; *II* — запрещенная зона; *III* — нормальная зона;  $E_1, E_2$  и т. д. — энергетические уровни;  $\Delta E$  — ширина запрещенной зоны

зоне, то под этим подразумевается только его энергетическое состояние, величина энергии электрона, а не геометрическое расположение его в теле.

Каждое из твердых тел имеет энергетические зоны, полностью или частично заполненные валентными электронами. Такую зону обычно называют нормальной или заполненной. Помимо заполненных зон, каждое тело имеет зоны проводимости (их

часто называют зонами возбуждения). Эти зоны могут быть разделены запрещенными зонами (иногда эти зоны называют зонами недозволенных уровней).

Шириной запрещенной зоны, выраженной в электрон-вольтах (т. е. в определенном количестве энергии), определяется электропроводность материала.

Такая энергетическая структура твердых тел позволяет объяснить физическую сущность разделения их на проводники, полупроводники и изоляторы.

Рассмотрим три следующих случая.

1. Нормальная зона расположена рядом с зоной проводимости (рис. 6, а). Запрещенной зоны нет. В этом случае все валентные электроны могут перемещаться на свободные энергетические уровни зоны проводимости и участвовать в переносе электрического заряда. Такое тело имеет очень хорошую электропроводность и является проводником.

2. Между нормальной зоной и зоной проводимости расположена запрещенная зона (рис. 6, б). Запрещенная зона

относительно невелика, и под действием внешних факторов (тепло, свет, электрическое поле и т. п.) электроны за счет изменения запаса энергии могут перемещаться из нормальной зоны в зону проводимости, преодолевая действие запрещенной зоны. Электропроводность такого тела неустойчива и сильно зависит от внешних факторов. Это — полупроводник.

3. Тело имеет все три зоны (рис. 6, в), причем запрещенная зона настолько велика, что никакими внешними воздействиями нельзя заставить электроны перемещаться

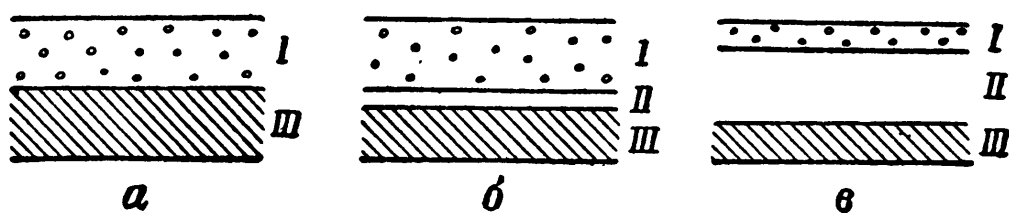


Рис. 6. Расположение энергетических зон твердого тела: а — проводник; б — полупроводник; в — изолятор; I — зона проводимости; II — запрещенная зона; III — нормальная зона

из нормальной зоны в зону проводимости. Практически можно считать, что электропроводности у такого тела нет (в действительности даже изоляторы обладают некоторой электропроводностью). Это — и з о л я т о р.

Выражение «электрон перешел из нормальной зоны в зону проводимости» следует понимать как увеличение его энергии, которую он получил от другого электрона или за счет воздействия внешних факторов.

Таким образом, электропроводность материала зависит от наличия так называемых свободных электронов, могущих переносить электрический заряд.

Остановимся несколько подробнее на проводимости полупроводников.

В зависимости от того, какие частицы являются носителями электрического тока, проводимость может быть и о н н о й или э л е к т р о н н о й.

Ионная проводимость может быть трех видов: к а т и о н н а я (носители тока — положительно заряженные ионы), а н и о н н а я (носители — отрицательно заряженные ионы) и с м е ш а н н а я (в процессе проводимости участвуют и положительные и отрицательные ионы).

Электронная проводимость также бывает трех видов: избыточная, обычно называемая просто э л е к т р о н н о й,

дефектная, которую часто называют дырочной, и смешанная (электронная и дырочная). Электронная и дырочная проводимости могут быть и одновременно и раздельно, причем в зависимости от условий один вид проводимости может преобладать над другим.

Практически не существует полупроводников, имеющих только электронную или только дырочную проводимость. Полупроводники с электронной проводимостью имеют в качестве основных носителей тока электроны, а имеющиеся в очень небольших количествах дырки играют вспомогательную роль. Наоборот, в дырочном полупроводнике основными носителями будут дырки, а неосновными — электроны.

Таким образом, по характеру проводимости полупроводник относится к тому или другому типу в зависимости от вида основных носителей тока.

Полупроводниковые материалы с ионной проводимостью, как правило, для изготовления приборов не применяются, так как химический состав и физические свойства вещества определяются взаимным расположением ионов и атомов, а ионная проводимость обычно вызывает изменения химических и физических свойств полупроводника. Такие полупроводники имеют весьма неустойчивые характеристики, что делает их непригодными для изготовления полупроводниковых приборов.

Типичным представителем полупроводников с ионной проводимостью является раствор каменной соли.

У полупроводников с электронной или дырочной проводимостью атомы при прохождении электрического тока остаются в фиксированных положениях; число электронов или дырок, участвующих в процессе проводимости, может изменяться, но химический состав и структура вещества при этом остаются неизменными. Эти свойства позволяют широко использовать полупроводники с электронной проводимостью для изготовления различных полупроводниковых приборов.

Чтобы лучше разобраться в механизме проводимости полупроводников, вернемся опять к структуре твердого тела, его кристаллической решетке.

Необходимо отметить, что вопросы, связанные с рассмотрением механизма проводимости, довольно сложны и требуют привлечения квантовой механики, однако, допустив некоторые упрощения, не нарушающие принципа фи-

зических явлений, происходящих в полупроводниках, можно довольно ясно представить себе сущность процессов, происходящих в электронных полупроводниках.

Как отмечалось выше, в переносе электрического заряда участвуют электроны, расположенные на внешних орбитах, т. е. валентные электроны.

Валентные электроны создают в полупроводнике устойчивую взаимно связанную систему. Теоретически доказано, что наиболее устойчивая электронная связь образуется двумя электронами. Такую связь называют двухэлектронной или ковалентной.

Для образования ковалентной связи два атома, расположенные по соседству, дают по одному электрону. В этом случае каждый из двух электронов совершает движение уже не вокруг одного ядра своего атома, а вокруг обоих ядер соседних атомов. Притягиваясь к обоим ядрам, электроны ковалентной связи образуют устойчивую взаимосвязанную систему.

Рассмотрим атом углерода. Он содержит шесть электронов; два из них вращаются на внутренней орбите, тесно связаны с ядром и в переносе электрического заряда не участвуют, а остальные четыре электрона, вращаясь на внешней орбите (это валентные электроны), могут принимать участие в переносе электрического заряда и вступать в химические соединения.

Таким образом, каждый из четырех валентных электронов связан соответственно с четырьмя соседними атомами. При двухэлектронных (ковалентных) связях каждый атом углерода оказывается связанным с другими атомами восемью электронами (рис. 7): четырьмя электронами данного атома и четырьмя электронами соседних атомов по одному электрону от каждого из них.

Кристаллическая решетка, в которой каждый электрон, вращающийся на внешней орбите атома, связан ковалентными связями с остальными атомами вещества, называется

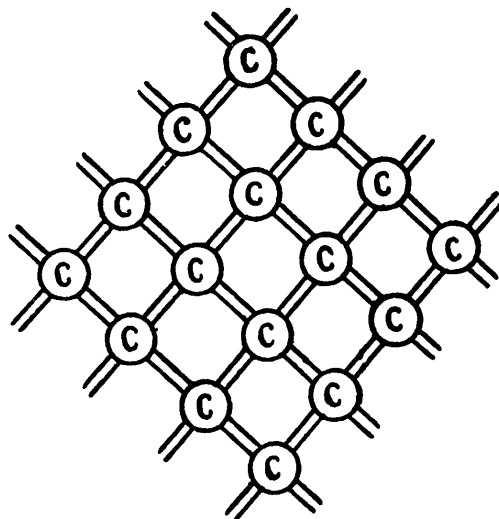


Рис. 7. Плоскостное схематическое изображение кристаллической решетки (электронные связи между атомами показаны черточками; буква С в кружке — обозначение углерода)

идеальной. В кристалле, имеющем идеальную решетку, все валентные электроны прочно связаны между собой и участвовать в процессе проводимости не могут. Такую кристаллическую решетку имеют все полупроводники только при температуре абсолютного нуля —  $273,2^{\circ}\text{C}$ .

В результате воздействия на полупроводниковый кристалл внешних факторов (главным образом тепла) идеальная структура кристаллической решетки нарушается и электроны могут быть вырваны из ковалентных связей. Вырванный из связи электрон будет избыточным по отношению к тем электронам, которые обеспечивают ковалентные связи, так как ни в одну из завершенных связей он войти не может.

Под действием приложенного к полупроводнику электрического поля избыточный электрон будет перемещаться в определенном направлении и переносить электрический заряд, т. е. создавать электрический ток.

Проводимость, обусловленная движением избыточных электронов, называется **электронной**.

В той связи, откуда внешним воздействием был вырван электрон, как бы осталось пустое место, которое может быть занято каким-либо электроном, вырванным из другой связи. Такое освободившееся в электронной связи место условно назвали **дыркой**.

Дырка может быть представлена как положительный электрический заряд, равный по величине заряду электрона. Электрон соседнего атома, занявший образовавшуюся дырку, оставляет в свою очередь новую дырку и т. д. Таким образом, дырки как бы перемещаются, «дрейфуют» в кристаллической решетке под действием электрического поля, приложенного к полупроводнику. Направление перемещения дырок, т. е. положительных зарядов, будет противоположно направлению перемещения электронов.

Проводимость, обусловленную перемещением положительных зарядов, условно названных дырками, принято называть **дырочной**.

Не следует, конечно, забывать, что в действительности в полупроводнике движутся только электроны, а движение дырок является уже следствием перемещения электронов.

Различие в механизме этих двух видов проводимости заключается в том, что при электронной проводимости носителями тока являются электроны зоны проводимости, а при дырочной — электроны нормальной зоны.

Ясно, что в рассмотренном примере при разрыве электронных связей количество избыточных электронов и образовавшихся дырок будет равно и, следовательно, в процессе проводимости будут принимать участие и электроны и дырки в равных количествах. Такую проводимость принято называть собственной проводимостью проводника.

Происходящий под действием внешних факторов процесс вырывания электронов из связей и образования дырок будет сопровождаться другим процессом — восстановлением ковалентных связей. При определенной температуре или под действием на полупроводник света определенной интенсивности количество избыточных электронов, а следовательно, и дырок будет для данного типа кристалла вполне определенным, так как число распавшихся и восстановившихся электронных связей в единицу времени — величина постоянная.

Если в кристаллическую решетку искусственно ввести атом другого вещества, то равновесие избыточных электронов и дырок нарушится. В зависимости от того, атомы какого вещества будут введены в кристалл, можно получить преобладание избыточных электронов или дырок, т. е. получить полупроводник с электронной или дырочной проводимостью.

Проводимость, вызванная присутствием в кристалле чужеродных атомов, называется примесной.

Примеси, вызывающие в полупроводнике увеличение избыточных электронов, называются донорными, а вызывающие увеличение дырок — акцепторными.

Различное действие примесных атомов объясняется следующим образом. Предположим, что в кристалл углерода, атомы которого имеют четыре валентных электрона, введен атом вещества, имеющий на внешней орбите не четыре, а пять валентных электронов. Тогда при замещении четыре электрона введенного атома образуют связи с атомами углерода, а пятый электрон окажется избыточным и сможет участвовать в проводимости кристалла.

Точно так же можно получить в кристалле полупроводника дырку, введя в кристаллическую решетку атом такого вещества, у которого валентных электронов на один меньше. В этом случае ковалентные связи не будут полностью завершены и образовавшаяся дырка может «дрейфовать» по кристаллу, создавая дырочную проводимость.

Названия примесных атомов — донорные и акцепторные — произошли от их свойств отдавать (донор) или захватывать (акцептор) электроны.

Примесные атомы оказывают огромное влияние на электропроводность полупроводников. Например, при введении в окись меди 1% атомов кислорода проводимость этого полупроводника даже при комнатной температуре может возрасти в миллион раз.

Проводимость полупроводников в значительной степени зависит от внешних факторов, таких, как свет, тепло, электрическое поле. Под влиянием этих факторов проводимость полупроводников изменяется в широких пределах. Это свойство и положено в основу принципа действия целого ряда полупроводниковых приборов.

Одним из замечательных свойств, которым обладают полупроводники, является способность выпрямлять переменный ток. Сущность этого явления сводится к тому, что на границе соприкосновения полупроводника с металлом или на границе между двумя полупроводниками, обладающими различными типами проводимости (электронной и дырочной), образуется запорный слой, пропускающий электроны в одном направлении и препятствующий их прохождению в обратном.

Сочетание двух типов полупроводников с различными видами проводимости в технике принято называть электронно-дырочным переходом или сокращенно *n-p* переходом. Это сокращение соответствует начальным буквам латинских слов «negative» — отрицательный (здесь подразумевается отрицательный заряд электрона), что соответствует электронному типу проводимости, и «positive» — положительный, что соответствует дырочному типу проводимости. Обычно полупроводник, имеющий электронную проводимость, называют полупроводником типа *n*, а полупроводник с дырочной проводимостью — полупроводником типа *p*.

Основные процессы выпрямления переменного тока происходят в *n-p* переходе, т. е. в переходном слое между областями полупроводника с электронной и дырочной проводимостями.

Допустив некоторые упрощения, процесс выпрямления переменного тока можно представить следующим образом. В переходном слое образуется электростатическое поле, являющееся своеобразным барьером, который препятствует или способствует прохождению через него носителей

электрического заряда (электронов или дырок) в зависимости от знака внешнего электрического поля, приложенного к  $n$ - $p$  переходу. Этот барьер (часто его называют потенциальным барьером) возникает вследствие скопления неподвижных электрических зарядов разных знаков по обеим сторонам границы соприкосновения полупроводников типов  $n$  и  $p$ .

Такое явление происходит потому, что часть электронов, имеющих в большом количестве в полупроводнике типа  $n$ , под действием теплового движения проникает в область дырочного полупроводника. При этом приграничная область электронного полупроводника, потеряв часть электронов, окажется заряженной положительно, а приграничная часть дырочного полупроводника, куда проникли электроны, — отрицательно.

Аналогичное явление произойдет и с дырками полупроводника типа  $p$ : часть дырок проникнет в электронный полупроводник и тем самым увеличит положительный заряд его приграничной области, а так как в ней количество положительных зарядов, т. е. дырок, уменьшится, то и отрицательный заряд этой области возрастет. В результате по обеим сторонам границы соприкосновения двух разнотипных полупроводников образуются разноименные заряды: в полупроводнике типа  $n$  — положительный заряд, а в полупроводнике типа  $p$  — отрицательный. Между этими зарядами возникает определенная разность потенциалов, препятствующая дальнейшему проникновению электронов в дырочный полупроводник, а дырок — в электронный.

Электроны полупроводника типа  $n$ , двигаясь к границе, будут наталкиваться на одноименный отрицательный заряд точно так же, как и дырки полупроводника типа  $p$ , перемещаясь в сторону границы, будут наталкиваться на положительный заряд, образовавшийся вблизи граничного слоя. Преодолеть действие этого барьера смогут лишь те немногие электроны или дырки, которые обладают достаточно высокой энергией для преодоления действия барьера. Зато электроны, имеющиеся в незначительных количествах в дырочном полупроводнике, или дырки, находящиеся в электронном полупроводнике, могут довольно свободно проникать через потенциальный барьер, так как положительный заряд, образовавшийся в электронном полупроводнике, будет как бы втягивать электроны из дырочного.

Точно так же будет действовать отрицательный заряд дырочного полупроводника на дырки, имеющиеся в элек-



тронном полупроводнике. Если к  $n$ - $p$  переходу никакого внешнего электрического поля не приложено, то количество электронов, проникающих через потенциальный барьер из электронного полупроводника в дырочный, будет равно количеству электронов, свободно возвращающихся в электронный полупроводник. Это равенство поддерживается благодаря установившейся разности потенциалов в приграничной области электронного и дырочного полупроводников.

Точно такое же равенство потоков из одного типа полупроводника в другой будет и для дырок.

Приграничная область окажется обедненной основными носителями тока (свободными электронами в полупроводнике типа  $n$  и дырками в полупроводнике типа  $p$ ) и ее проводимость будет очень мала, а, следовательно, сопротивление станет весьма большим. Эту приграничную область, обладающую большим сопротивлением, принято называть запорным слоем.

Запорный слой имеет одностороннюю проводимость или, иначе говоря, обладает выпрямляющими свойствами: при пропускании через него переменного тока можно получить выпрямленный ток.

Рассмотрим такой пример. Если взять полупроводник, состоящий из двух частей с различными типами проводимости, и подключить к нему внешний источник тока, как показано на рис. 8, то напряжение батареи будет противоположно по знаку внутреннему полю полупроводника и действие запорного слоя ослабится. В этом случае электроны и дырки, двигаясь навстречу (к границе), уже не будут испытывать противодействия запорного слоя. Его проводимость возрастет, сопротивление уменьшится и через  $n$ - $p$  переход начнет протекать электрический ток.

Если изменить полярность внешнего источника (рис. 9), то действия внутреннего поля и поля, создаваемого батареей, будут совпадать. Результирующее поле станет равным сумме обоих полей. Теперь электроны и дырки начнут перемещаться в обратном направлении (от границы), а около границы, по обеим ее сторонам, образуются пространственные заряды разных знаков. В приграничной области свободных носителей заряда почти не останется, сопротивление запорного слоя резко возрастет, и ток через  $n$ - $p$  переход практически протекать не будет.

Из рассмотренного примера видно, что  $n$ - $p$  переход обладает свойством хорошо пропускать электрический ток в

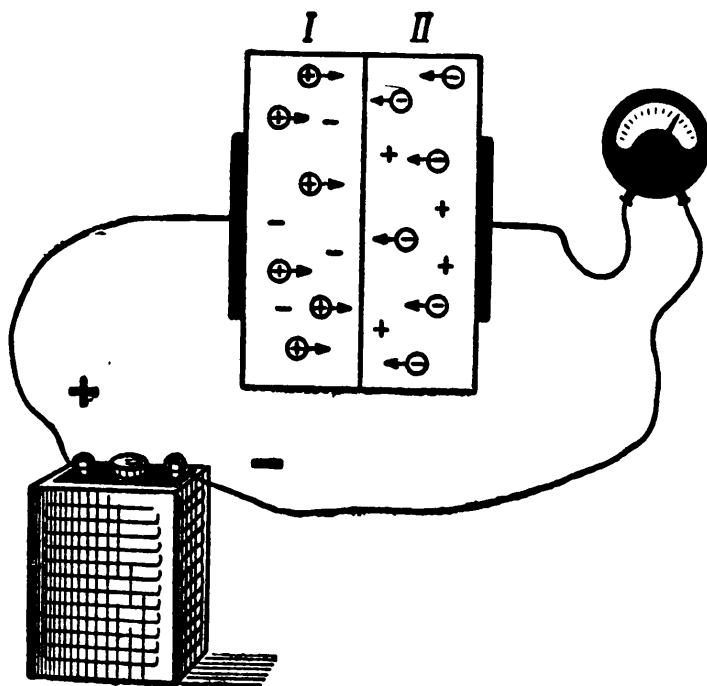


Рис. 8. Плюс батареи подключен к дырочному полупроводнику, а минус — к электронному:

*I* — дырочный полупроводник; *II* — электронный полупроводник;  $\leftarrow \ominus$  — электрон;  $\leftarrow \oplus$  — дырка;  $\leftarrow \rightarrow$  — атом-акцептор;  $\leftarrow + \rightarrow$  — атом-донор

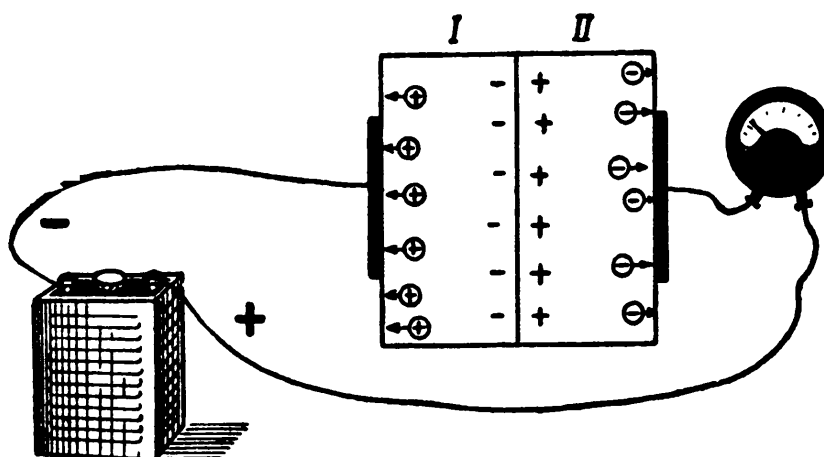


Рис. 9. Плюс батареи подключен к электронному полупроводнику:

*I* — дырочный полупроводник; *II* — электронный полупроводник;  $\leftarrow \ominus$  — электрон;  $\leftarrow \oplus$  — дырка;  $\leftarrow \rightarrow$  — атом-акцептор;  $\leftarrow + \rightarrow$  — атом-донор

одном направлении и препятствовать его прохождению в обратном направлении, т. е. имеет одностороннюю проводимость.

При изменении напряжения внешнего источника величина запирающего слоя также будет изменяться. С уменьшением приложенного к  $n$ - $p$  переходу напряжения действие запирающего слоя уменьшится, но даже в том случае, когда напряжение снизится до нуля (батарея отключена), запирающий слой полностью не исчезнет.

С увеличением напряжения внешнего источника возрастает и противодействие запирающего слоя, но если приложенное к  $n$ - $p$  переходу напряжение превысит определенное предельное значение, то действие запирающего слоя можно преодолеть, причем выпрямляющее свойство  $n$ - $p$  перехода ухудшится и может прекратиться совсем. Дальнейшее повышение внешнего напряжения приведет к пробое запирающего слоя.

Аналогичные явления происходят и в контакте, образованном полупроводником и металлом. На границе их соприкосновения точно так же образуется запирающий слой, т. е. и в этом случае мы получим  $n$ - $p$  переход.

Такие переходы можно получить в одном кристалле полупроводника при его выращивании путем добавления донорных и акцепторных примесей.

Возможны и другие способы получения  $n$ - $p$  переходов, например, если на полупроводниковую пластину типа  $n$  наплавить капельку металла индия (акцепторная примесь), то часть атомов индия, проникая в полупроводник, образует на его поверхности область с дырочной проводимостью типа  $p$ , т. е. опять получим  $n$ - $p$  переход.

Рассмотрим некоторые примеры изготовления полупроводниковых выпрямителей — диодов.

Для изготовления кристаллических диодов пригодны многие полупроводники, но наиболее широко используются германий и кремний.

Кремниевые диоды были созданы раньше германиевых.

Германий — химический элемент, обладающий полупроводниковыми свойствами, относится к IV группе Периодической системы элементов. Его порядковый номер 32, атомный вес 74,6.

Существование этого элемента было предсказано Д. И. Менделеевым в 1871 г., а открыт он был только в 1886 г.

По внешнему виду германий напоминает серебристо-

серый металл. Его удельный вес 5,35; температура плавления около  $960^{\circ}\text{C}$ . Германий весьма хрупок, имеет кристаллическую решетку алмазного типа. По своим химическим свойствам он близок к углероду и кремнию.

В природе германий встречается во многих минералах в распыленном состоянии, однако получение чистого германия связано со значительными производственными трудностями. Наибольшее количество германия содержится в каменном угле и цинковых рудах.

На электрические свойства германия, как и на свойства всех других полупроводников, сильно влияют концентрация и тип примесей, введенных в кристаллическую решетку.

Кристаллы германия получают выращиванием монокристалла при помощи затравки или направленной кристаллизацией расплавленного германия.

Полученные кристаллы разрезают на тонкие пластины, тщательно шлифуют и покрывают с одной стороны слоем металла для последующей подпайки контактного вывода. Затем пластинки обрабатывают с другой стороны, являющейся рабочей поверхностью, которую также тщательно шлифуют и полируют до получения зеркальной поверхности. Полученный кристаллик тщательно промывают и рабочую часть его подвергают химическому травлению. Площадь такого кристалла составляет около  $2\text{ мм}^2$  при толщине  $0,5\text{ мм}$ . Готовый кристалл поступает на сборку диода.

Кремний также относится к элементам IV группы Периодической системы. Его порядковый номер 14, атомный вес 28,06. Удельный вес 2,4.

Кремний — один из самых распространенных в природе элементов. Он составляет 26% земной коры, уступая по количеству только кислороду, который составляет 49,13%.

Температура плавления кристаллического кремния около  $1415^{\circ}\text{C}$ . Кремний кристаллизуется подобно алмазу в решетку кубической формы. Кристаллы кремния довольно твердые, но хрупкие и имеют сероватый цвет.

Химически чистый кремний получают восстановлением четыреххлористого кремния цинком при высокой температуре или последовательной обработкой промышленного кремния кислотами. В результате обработки кислотами получают порошок чистого кремния, который просушивают и сплавляют в вакуумных печах.

Второй способ более сложен и длителен, но не требует постоянного поддержания высокой температуры, что облегчает технологию производства.

Обработка кремния по первому способу продолжается около 24 ч, а по второму — в два раза больше.

Применяется также способ получения чистого кремния восстановлением четыреххлористого кремния водородом.

Чистый кремний имеет очень низкую проводимость, поэтому в него вводят соответствующие примеси, причем их правильный подбор и тщательная дозировка имеют решающее значение в получении кремния с необходимыми электрическими характеристиками.

Для кристаллических детекторов обычно применяют кремний с дырочной проводимостью, что достигается введением в его кристаллическую решетку атомов бора, алюминия или бериллия. Иногда в качестве примеси применяют смесь этих элементов.

Изготовление технических кристаллов кремния, идущих на сборку диодов, принципиально не отличается от изготовления германиевых кристаллов.

По конструктивному выполнению кристаллические диоды разделяются на две группы: диоды с точечными контактами (точечные диоды) и диоды с плоскими контактами (плоскостные диоды). Основное различие между этими группами заключается в площади рабочего контакта.

На рис. 10 показан разрез кристаллического диода с точечным контактом.

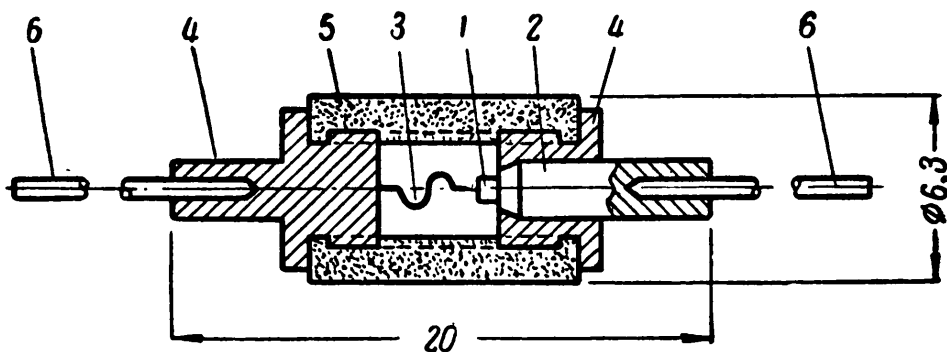


Рис. 10. Диод с точечным контактом:

1 — кристалл германия; 2 — кристаллодержатель; 3 — контактная пружина; 4 — металлические пробки с резьбой; 5 — керамический патрон; 6 — проволочные выводы

Такие диоды собираются следующим образом.

Полученный одним из описанных выше способов полупроводниковый кристалл припаивают к металлическому держателю той стороной, которая была покрыта слоем металла. Вторым электродом диода служит вольфрамовая пружинящая проволока, которая одним концом крепится

в металлическом держателе — пробка с резьбой, а другим (острозаточенным) опирается на рабочую поверхность кристалла.

Для изготовления пружинящего электрода употребляется также проволока из фосфористой бронзы, молибдена и т. п. Площадь контакта проволочного острия с кристаллом составляет 45—50  $\text{мк}^2$ .

Держатели с двух сторон вставляют в керамическую втулку, после чего диод настраивают, т. е. подбирают такое давление проволочного острия на полупроводниковый кристалл, при котором выпрямляющее свойство контакта будет максимальным.

Собранный диод подвергают формовке, заключающейся в пропускании через него электрического тока в обратном (непропускном) направлении. Формовка улучшает выпрямляющие свойства диода.

Кремниевые диоды рассчитаны на работу при относительно небольших напряжениях. Чувствительность их при детектировании слабых сигналов больше, чем германиевых. Важным преимуществом германиевых диодов является их способность выдерживать большое обратное напряжение. Уже существуют германиевые диоды, способные выдерживать обратные напряжения более 400 в.

Основной характеристикой диода, показывающей его выпрямляющие свойства, служит вольтамперная характеристика. Так как на работу и электрические параметры высоковольтных диодов большое влияние оказывают температурные изменения, вопрос теплового баланса имеет серьезное значение.

На рис. 11 показана типичная вольтамперная характеристика кристаллического высоковольтного германиевого диода типа ДГ-Ц, снятая при температуре  $+10^\circ\text{C}$ . Для сравнения на этом же графике пунктиром дана вольтамперная характеристика, снятая при температуре  $+60^\circ\text{C}$ , показывающая влияние температуры на параметры диода. Интервал температур, при которых диоды работают нормально, находится в пределах от  $+70$  до  $-50^\circ\text{C}$ .

Важнейшими данными, характеризующими качество диодов с точечными контактами, являются:

выпрямленный ток, т. е. постоянная составляющая тока диода, протекающего через него в течение длительного времени и не вызывающая изменения характеристик диода;

прямой ток — ток, протекающий через диод в пропускном направлении, когда к диоду приложено определенное по величине постоянное напряжение, положительный полюс которого соединен с контактной пружиной диода; измерять прямой ток принято при напряжении 1 в;

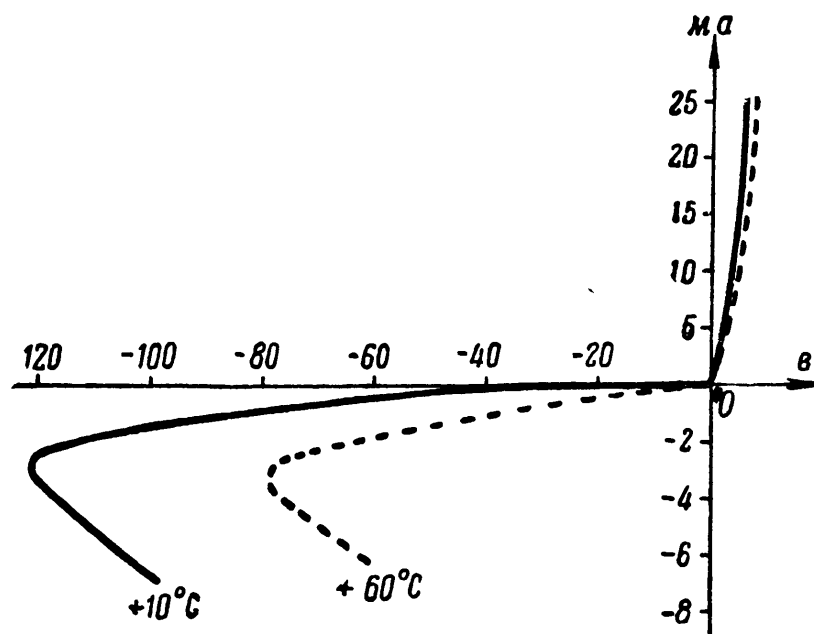


Рис. 11. Вольтамперная характеристика кристаллического высоковольтного диода типа ДГ-Ц

обратный ток — ток, протекающий через диод в обратном (непропускном) направлении, когда к диоду приложено обратное напряжение, т. е. к контактной пружине присоединен отрицательный полюс; этот ток измеряют при максимально допустимом обратном напряжении;

обратное напряжение — длительно приложенное к диоду напряжение такой полярности, при которой через диод протекает ток в обратном (непропускном) направлении, причем максимально допустимая величина этого напряжения не должна нарушать нормальную работу диода;

обратное пробивное напряжение — величина обратного напряжения, при котором происходит пробой диода.

Сравнивая отдельные типы диодов между собой, часто употребляют термин коэффициент выпрямления. Под ним понимают отношение прямого тока к обратному при одинаковой величине приложенного напряжения.

На протяжении ряда лет наша промышленность выпускала точечные германиевые и кремниевые диоды в кера-

мических патронах (типа ДГ-Ц, ДГ-С, ДК-В и ДК-С), однако их параметры перестали удовлетворять возрастающим требованиям к радиоэлектронной аппаратуре, и эти диоды были сняты с производства.

В настоящее время точечные диоды выпускаются в стеклянном оформлении (рис. 12) и маркируются буквой «Д»

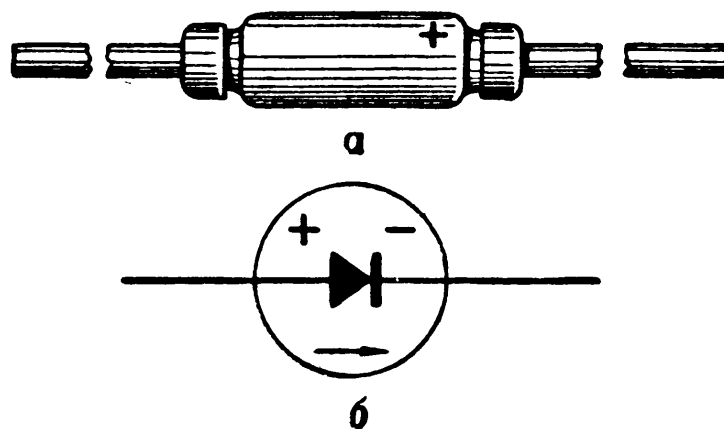


Рис. 12. Диоды типа Д2 с точечными контактами:

а — внешний вид; б — условное изображение диодов на схемах

с добавлением цифры и буквы, обозначающих подтип прибора. Основные параметры точечных диодов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные параметры точечных диодов  
(в стеклянном оформлении)

Тип	наименьший прямой при напряжении +1 в	Ток, ма						наибольший выпрямленный значение		Обратное пробивное напряжение, в
		наибольший обратный при обратном рабочем напряжении, в						наибольший выпрямленный значение		
		—7	—10	—30	—50	—100	—150	среднее	амплитудное	
Д2А	$\geq 50$	0,25	0,5	—	—	—	—	50	150	15
Д2Б	5—10	—	0,1	—	—	—	—	16	50	45
Д2В	$\geq 10$	—	—	0,25	—	—	—	25	75	60
Д2Г	2—5	—	—	—	0,25	—	—	16	50	100
Д2Д	5—10	—	—	—	0,25	—	—	16	50	100
Д2Е	5—10	—	—	—	—	0,25	—	16	50	150
Д2Ж	2—10	—	—	—	—	—	0,25	8	25	200



Вторая группа диодов — диоды с плоскостными контактами. Их часто называют «силовыми», поскольку площадь рабочего контакта плоскостных диодов во много раз превосходит площадь рабочего контакта точечных диодов, что позволяет пропускать через плоскостные диоды большие токи и рассеивать значительные мощности.

Принцип работы плоскостных диодов, как и точечных, основан на выпрямляющем свойстве электронно-дырочных ( $n-p$ ) переходов, образующихся в одном кристалле полупроводника за счет участков с разными типами проводимости.

Конструктивно плоскостной диод представляет собой тонкую полупроводниковую пластину, по обеим сторонам которой наносятся металлические электроды. Один электрод может быть изготовлен из любого металла, а второй — из такого металла, который, диффундируя в полупроводник, создает в нем область с иной проводимостью, чем у самого кристалла.

Например, если в качестве полупроводника применен германий с электронной проводимостью (тип  $n$ ), то электрод из металла индия, являющегося акцепторной примесью, сообщит части кристалла, соприкасающейся со вторым электродом, дырочную проводимость (тип  $p$ ). На границе слоев с разными типами проводимости образуется  $n-p$  переход, обладающий выпрямляющими свойствами.

Выпускаемые промышленностью германиево-индиевые плоскостные диоды имеют обозначение «Д7». Они имеют металлический сварной корпус и отличаются высокой влагуостойчивостью.

По размеру плоскостные диоды незначительно отличаются от точечных. Длина собранного плоскостного диода Д7 без выводов 17,5 мм, диаметр около 11 мм.

Важнейшими электрическими параметрами плоскостных диодов являются подводимое переменное напряжение, выпрямленный ток, прямое падение напряжения диода и обратный ток (табл. 5).

Плоскостные диоды, имеющие большую емкость, чем точечные, на сверхвысоких частотах не применяются, они рассчитаны на частоты до 50 кгц.

По сравнению с ламповыми диодами кристаллические имеют ряд преимуществ: их размеры и вес во много раз меньше, механическая прочность значительно выше, вольт-амперная характеристика при относительно небольших напряжениях имеет линейную форму, междуэлектродная ем-

## Основные параметры плоскостных диодов

Тип	Ток, <i>ма</i>							наибольший выпрямлен- ный*	Обратное пробив- ное напряжение, <i>в</i>	Наибольшая амплитуда обрат- ного напряжения, <i>в</i>
	наибольший обратный при наибольшем обратном напряжении, <i>в</i>									
	-50	-100	-150	-200	-300	-350	-400			
Д7А	0,5	—	—	—	—	—	—	300	75	50 при $20 \pm 5^\circ \text{C}$ при экс- плуата- ции
Д7Б	—	0,5	—	—	—	—	—	300	150	
Д7В	—	—	0,5	—	—	—	—	300	225	
Д7Г	—	—	—	0,5	—	—	—	300	300	
Д7Д	—	—	—	—	0,3	—	—	100	450	
Д7Е	—	—	—	—	—	0,3	—	100	525	
Д7Ж	—	—	—	—	—	—	0,3	100	600	

кость невелика, уровень собственных шумов на высоких частотах ниже, чем у электронных ламп, причем с ростом частоты это различие проявляется сильнее; коэффициент выпрямления также больше. Кристаллические диоды имеют большой срок службы, достигающий нескольких десятков тысяч часов.

Перспективы дальнейшего совершенствования кристаллических диодов заключаются в создании диодов с большим допустимым обратным напряжением, в увеличении отдаваемой мощности и расширении пределов частотного диапазона.

Следующей ступенью в развитии полупроводниковых приборов было появление в 1948 г. кристаллических триодов. Вначале появились триоды с точечными контактами, а затем в 1950 г. — с плоскостными, которые иногда называют слоистыми.

Полупроводниковые триоды, часто называемые транзисторами (это название происходит от сокращения английских слов «transformer of resistance», что означает трансформатор сопротивления), представляют собой полупроводниковые трехэлектродные приборы, предназначенные для усиления, генерирования или преобразования электрических колебаний.

\* Наибольшие выпрямленные токи для диодов Д7А, Д7Б, Д7В и Д7Г достигаются при напряжении  $+0,5 \text{ в}$ , а для диодов Д7Д, Д7Е и Д7Ж — при напряжении  $+0,3 \text{ в}$ .

Как точечные, так и плоскостные триоды содержат два соединенных последовательно электронно-дырочных перехода, но техника получения этих переходов у точечного и плоскостного триодов различна.

Точечный триод представляет собой полупроводниковую пластинку, на которую опираются два остро заточенных пружинящих проволочных электрода. Электроды располагаются на небольшом (десятки микрон) расстоянии один от другого и образуют своими остриями контакты с полупроводником. В качестве полупроводника обычно используется германий или кремний преимущественно с электронной проводимостью. Металлические электроды изготавливаются из вольфрама или фосфористой бронзы.

Один из электродов (входной) называется э м и т т е р о м, второй (выходной) — к о л л е к т о р о м. Полупроводниковая пластина, служащая третьим электродом, называется о с н о в а н и е м или б а з о й триода. Для получения хорошего контакта между полупроводником и внешней цепью нижняя часть полупроводниковой пластины металлизуется.

Чтобы получить  $n$ - $p$  переходы, триод подвергается формовке — пропусканию через него кратковременных импульсов тока. После формовки около металлических электродов образуются области полупроводника с иным по отношению к основанию типом проводимости (рис. 13).

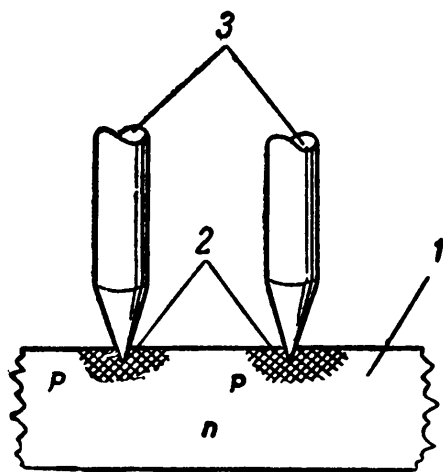


Рис. 13. Схематическое устройство полупроводникового триода с точечными контактами:

1 — полупроводниковая пластинка с электронной проводимостью; 2 — область полупроводника с дырочной проводимостью; 3 — металлические электроды

В результате получим два соединенных последовательно электронно-дырочных перехода, причем средняя часть будет общей для обоих переходов. Если в качестве основания взят полупроводник с электронной проводимостью, то получим переходы  $p$ - $n$  и  $n$ - $p$ , а такой триод будет обозначаться  $p$ - $n$ - $p$ . Если же основанием триода будет служить полупроводник с дырочной проводимостью, то в результате формовки получим переходы  $n$ - $p$  и  $p$ - $n$ , а триод будет иметь структуру  $n$ - $p$ - $n$ .

Рассмотрим, как усиливается сигнал триодом с точечными

контактами. В рабочих условиях (рис. 14) на эмиттер 2 подается от батареи  $B_2$  положительный (относительно основания 1) потенциал около 0,1 в и от источника  $\Gamma$  переменное напряжение сигнала, которое необходимо усилить. На коллектор 3 от батареи  $B_1$  подается отрицательный (относительно основания) потенциал порядка десятков вольт.

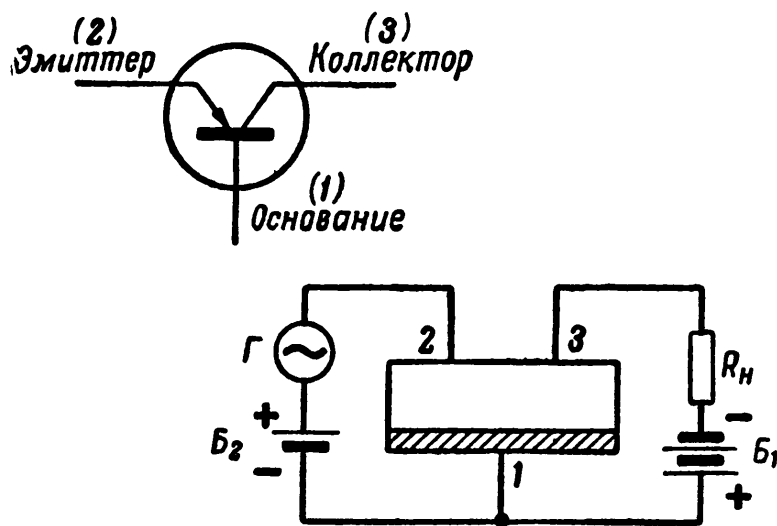


Рис. 14 Принципиальная схема включения и условное изображение кристаллического триода

В цепь коллектора включается нагрузочное сопротивление  $R_H$ , с которого снимается усиленное переменное напряжение. Таким образом, внешнее напряжение подводится к триоду так, что действие потенциального барьера в коллекторной части увеличивается, а в эмиттерной, наоборот, уменьшается.

Под действием поля эмиттера происходит разрушение ковалентных связей атомов, расположенных возле этого электрода, и часть освобожденных электронов под действием положительного потенциала притягивается эмиттером и уходит из полупроводникового основания. Ток эмиттера будет зависеть от потока этих электронов.

После ухода из основания некоторого количества электронов в нем останется такое же количество дырок, которые начнут перемещаться в сторону коллектора, имеющего отрицательный потенциал. Попадая на коллектор, дырки, с одной стороны, будут увеличивать ток, протекающий через коллектор, а с другой — снижать действие потенциального барьера, что приведет к увеличению потока электронов от коллектора к основанию триода и так же увеличит ток, протекающий в цепи коллектора.

Двигаясь от коллектора к основанию, некоторая часть электронов нейтрализует встречающиеся на пути дырки, однако основная масса электронов попадает к основанию триода. Поток электронов между коллектором и основанием определяет величину коллекторного тока. При движении от эмиттера к коллектору часть дырок, встречаясь со свободными электронами, также будет нейтрализоваться, что приведет к некоторому уменьшению коллекторного тока. Чтобы свести это явление к минимуму, обычно стараются сблизить эмиттер и коллектор.

В результате процессов, протекающих в точечном триоде, получается, что появление некоторого количества дырок в области эмиттера вызывает значительно больший поток электронов от коллектора к основанию.

Практически в обычном точечном триоде увеличение тока эмиттера на  $1 \text{ ма}$  вызывает увеличение тока коллектора примерно на  $2,5 \text{ ма}$  или, если обратиться к электронам и дыркам, это означает, что появление на эмиттере 1000 дырок вызывает 2500 электронов на коллекторе, из которых одна тысяча пойдет на нейтрализацию дырок, а остальные потекут к основанию триода.

Усилением триода по току принято считать отношение изменения величины тока коллектора к изменению величины тока эмиттера. В нашем примере усиление точечного триода по току равно 2,5.

Особенностью полупроводниковых триодов является значительное различие между входным и выходным сопротивлениями (транзистор — трансформатор сопротивления). Входное сопротивление триода относительно мало и измеряется сотнями ом. Выходное сопротивление достигает десятков тысяч ом.

Так как напряжение равно произведению тока на сопротивление, то усиление триода по напряжению (отношение выходного напряжения к входному) будет равно отношению выходного сопротивления (т. е. сопротивления в цепи коллектора) к входному (в цепи эмиттера), помноженному на усиление по току.

В нашем случае, если принять отношение сопротивлений равным 100 (практически для точечных триодов эта величина колеблется в пределах 65—70), то усиление по напряжению будет  $100 \times 2,5 = 250$ . Усиление по мощности, получаемое от точечного триода, будет  $250 \times 2,5 = 625$ .

Таким образом, точечный триод дает не только усиле-

ние по току, но и по напряжению, а следовательно, и по мощности.

Если в цепь эмиттера будут поступать не отдельные импульсы, а целая серия импульсов, например сигнал, который необходимо усилить, то одновременно с изменением потенциала эмиттера изменится также и ток в его цепи, что вызовет соответствующее изменение тока в цепи коллектора и напряжения на нагрузочном сопротивлении. В результате в цепи нагрузки будет воспроизведена форма сигнала, поданного на вход триода, но уже с увеличенной амплитудой, т. е. сигнал будет усилен.

Точечный триод типа  $n-p-n$ , т. е. такой, у которого полупроводниковая пластина имеет не электронную, а дырочную проводимость, работает аналогично рассмотренному примеру с триодом  $p-n-p$ , но полярность напряжения смещения, подводимого к эмиттеру и коллектору, должна быть изменена на обратную.

В плоскостном триоде между эмиттером и основанием и между коллектором и основанием имеются контакты, образованные плоскостью.

Электронно-дырочные переходы плоскостных триодов можно получить в процессе выращивания кристалла путем добавления соответствующих примесей или путем наплавки на полупроводниковую пластину индия или сурьмы так же, как и при получении плоскостных диодов. Способы изготовления плоскостных триодов мы рассмотрим ниже.

Плоскостной триод так же, как и точечный, имеет два электронно-дырочных перехода, соединенных последовательно, причем оба перехода объединены общей кристаллической решеткой.

В зависимости от характера проводимости основания плоскостные триоды могут быть типа  $n-p-n$  или  $p-n-p$ . Отечественной промышленностью преимущественно выпускаются триоды второго типа.

На эмиттер триода типа  $p-n-p$  подается небольшой положительный потенциал, а на коллектор — отрицательный, т. е. эмиттерный переход включен в прямом (пропускном) направлении, а коллекторный — в обратном (непропускном).

Находящиеся в области эмиттера дырки будут отталкиваться в сторону перехода, т. е. к основанию триода, а так как действие потенциального барьера этого перехода снижается за счет напряжения смещения, подаваемого на

эмиттер, то часть дырок проникнет в основание и начнет перемещаться к коллектору.

Пройдя через основание, некоторое количество дырок (до 5%) будет нейтрализовано находящимися там электронами, а большая часть попадет на коллектор.

Таким образом, у плоскостных триодов ток коллектора всегда будет меньше тока эмиттера, а следовательно, и усиление по току у плоскостных триодов будет меньше единицы (практически в пределах 0,95—0,99).

Обычно толщину полупроводниковой пластины, служащей основанием триода, стремятся сделать меньше, чтобы снизить потери дырок (или электронов) при прохождении носителей тока через основание триода.

Работа триодов типа *n-p-n* будет отличаться лишь тем, что основными носителями будут уже не дырки, а электроны и подключение напряжения смещения эмиттера и коллектора должно быть обратным, т. е. на эмиттер надо подавать минус, а на коллектор — плюс.

Несмотря на то что плоскостные триоды имеют меньшее усиление по току, чем точечные, усиление напряжения, а следовательно, и мощности от плоскостных триодов можно получить значительно большее, чем от точечных. Объясняется это тем, что выходное сопротивление у плоскостных триодов значительно больше (миллионы ом), чем у точечных. Если принять отношение выходного сопротивления к входному равным 2000, то усиление по напряжению будет  $2000 \times 0,95 = 1900$ , а по мощности —  $1900 \times 0,95 = 1805$ .

Эффект усиления кристаллического триода хорошо виден на рис. 15. В левой части рисунка дана вольтамперная характеристика эмиттера, в правой — семейство вольтам-

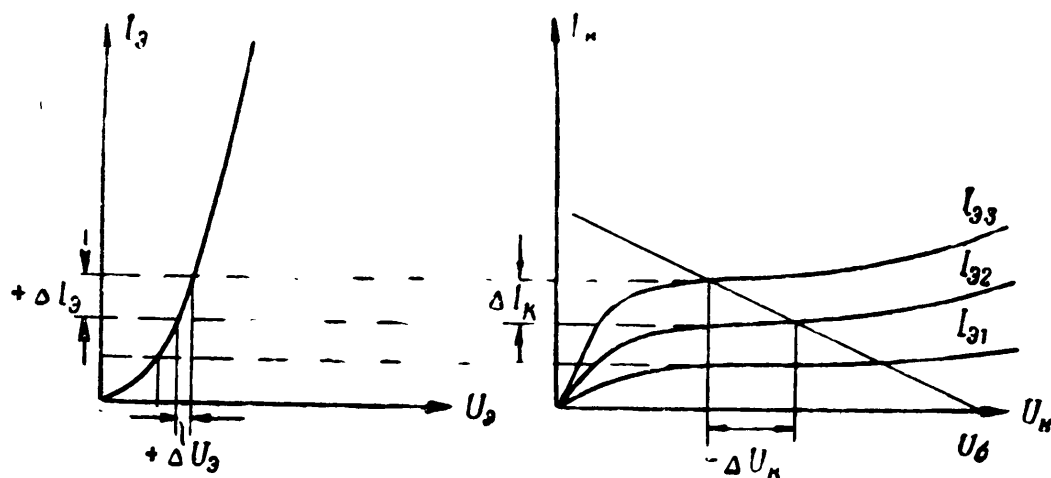


Рис. 15. Вольтамперные характеристики кристаллического триода

перных характеристик коллектора, снятое при различных токах на эмиттере, и нагрузочная характеристика, позволяющая определить изменение напряжения на коллекторе при постоянном напряжении батареи.

Если ток эмиттера изменится на какую-то величину, предположим на  $\Delta I_{\text{э}}$ , то это вызовет изменение тока коллектора на  $\Delta I_{\text{к}}$ . Но так как коллекторные характеристики приблизительно горизонтальны, а эмиттерная характеристика почти вертикальна, то изменение напряжения на коллекторе  $\Delta U_{\text{к}}$  будет значительно больше, чем изменение напряжения эмиттера  $\Delta U_{\text{э}}$ .

Таким образом, кристаллический триод дает усиление напряжения и мощности.

Усиление кристаллического триода будет зависеть от внутреннего сопротивления источника переменного напряжения, подаваемого на эмиттер, и нагрузочного сопротивления в цепи коллектора. Как правило, коллекторное сопротивление исчисляется миллионами ом, а сопротивление цепи эмиттера — сотнями ом. Таким образом, усиление по напряжению, получаемое от кристаллического триода, может достигать нескольких десятков тысяч.

Триоды с точечными контактами имеют различную конструкцию. Одна из них, показанная на рис. 16, представляет собой небольшой латунный цилиндр диаметром 5 мм и длиной около 10 мм. В торцы цилиндра, являющегося корпусом 5 триода, вставляются пробки, одна из которых (3) латунная, а другая (4) пластмассовая. К латунной пробке припаивается металлизированной стороной полупроводниковая пластинка 1 — основание триода.

Пробка 4 служит для крепления выводов 6 двух других электродов 2 — эмиттера и коллектора. Оба электрода изготавливаются из пружинящей никелевой проволоки.

На концах электродов 2 припаиваются более тонкие проволочки из фосфористой бронзы диаметром 0,13—0,15 мм. Концы этих проволочек, опирающиеся на полупроводниковое основание, тщательно заостряются. Иногда их подвергают электролитической полировке.

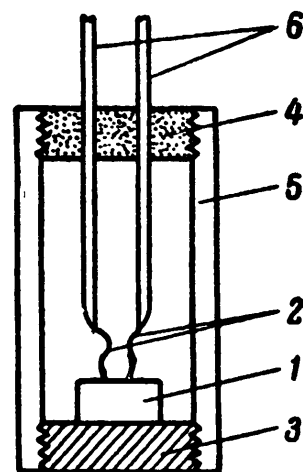


Рис. 16. Триод с точечными контактами



Поверхность полупроводниковой пластинки 1, обращенная к проволочным электродам, обрабатывается так же тщательно, как и поверхность пластинки кристаллического диода. Размеры пластинки невелики — около  $0,3 \text{ мм}^2$  при толщине  $0,5 \text{ мм}$ . После электрической формовки триода, заключающейся в пропускании через коллектор довольно большого ( $250\text{—}300 \text{ ма}$ ) обратного тока, внутреннюю полость триода иногда заполняют воскообразным наполнителем.

Другая конструкция триода с точечными контактами — коаксиальный триод (рис. 17). Корпусом такого триода служит цилиндрический патрон диаметром  $8\text{—}9 \text{ мм}$  и высотой  $25\text{—}30 \text{ мм}$ . Основание триода — германиевая пластинка в виде таблетки диаметром  $3 \text{ мм}$  и толщиной  $0,5 \text{ мм}$  — имеет в центре обеих поверхностей сферические углубления (лунки), уменьшающие толщину таблетки в центральной части до  $0,1 \text{ мм}$ . Основание скреплено с корпусом по периферии кристалла примерно в средней части патрона.

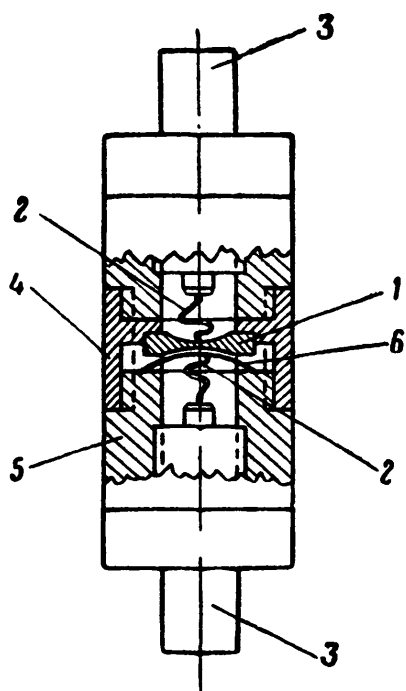


Рис. 17. Коаксиальный триод с точечными контактами:

1 — полупроводниковая пластинка; 2 — пружинящие проволочные электроды; 3 — контактные выводы эмиттера и коллектора; 4 — металлическое основание триода; 5 — изоляционная трубка; 6 — пружинящая шайба

Эмиттер и коллектор в виде тонких заостренных проволок упираются в основание с двух противоположных сторон в центрах сферических углублений. Выводы эмиттера и коллектора сделаны в торцах триода, а выводом основания служит корпус.

Возможны и другие конструкции кристаллических триодов с точечными контактами.

Точечные триоды могут работать на более высоких частотах, чем плоскостные, однако плоскостные триоды позволяют получить большую выходную мощность, имеют лучшую механическую прочность, а уровень собственных шумов у них меньше, чем у точечных.

В последнее время точечные триоды применяются довольно редко из-за нестабильности параметров во времени. Ряд типов точечных триодов с производства снят.

Плоскостные триоды изготавливаются различными способами.

Один из них заключается в том, что на полупроводниковую пластинку из германия с электронной проводимостью, служащую основанием 1 триода, с противоположных сторон наплавляют капельки металла индия, представляющие собой электроды: эмиттер 2 и коллектор 3 (рис. 18).

Индий, проникая в германий, создает в нем области с дырочной проводимостью. Так получается триод типа *p-n-p*. Если же взять пластину германия с дырочной проводимостью и наплавить на ее плоскости капельки сурьмы, сообщающие германию дырочную проводимость, то получится триод типа *n-p-n*.

Возможны и другие способы получения полупроводникового монокристалла с различной проводимостью. Например, если в расплавленный германий поместить небольшой монокристалл германия, служащий затравкой для роста кристалла, то при медленном вынимании такого кристалла (затравки) на нем начнет выкристаллизовываться расплавленный германий. Таким способом можно получить монокристалл германия довольно больших размеров.

Концентрация примесей в той или иной части кристалла будет зависеть не только от характера примеси, но и от скорости кристаллизации. Этими свойствами пользуются при формировании монокристаллов германия с электронно-дырочными переходами. Добавляя в расплавленный германий необходимые примеси и резко меняя скорость кристаллизации, получают кристаллы, имеющие в различных своих частях электронную или дырочную проводимость.

Представляет интерес еще один способ изготовления плоскостных триодов, называемых поверхностно-барьерными. Эмиттером и коллектором у такого триода служат металлические электроды, полученные электрическим путем.

Поверхностно-барьерные плоскостные триоды изготавливаются так.

Пластинку германия с электронной проводимостью площадью около 3 мм<sup>2</sup> и толщиной 0,075 мм подвергают электролитическому травлению таким образом, что в ее

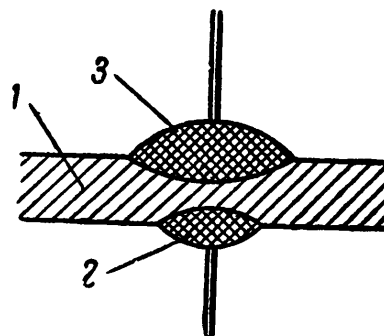


Рис. 18. Схематическое устройство триода с плоскостными контактами

центральной части сверху и снизу образуются углубления. Толщина пластинки в центральной части уменьшается до 0,005 мм.

На дно образовавшихся в германии углублений наносят при помощи электролиза тонкий слой металла. В зависимости от типа триода для этой цели применяют индий, цинк, кадмий, медь, олово. К созданным таким образом электродам подпаивают проволочные выводы. Вывод основания подпаивают к одному из торцов германиевой пластины.

Триоды, изготовленные этим способом, выгодно отличаются от обычных плоскостных триодов: они устойчиво работают в диапазоне частот до 100 Мгц, более экономичны, дают большее усиление; уровень собственных шумов поверхностно-барьерных триодов меньше, чем у триодов с точечными контактами; в них удачно сочетаются отдельные положительные свойства, присущие триодам с плоскостными контактами других конструкций и точечным триодам, что делает их особенно перспективными.

Внешне плоскостные триоды (рис. 19а) бывают в виде фигурных капсулей с гибкими выводами, представляющими собой комбинацию из стекла и металла, в виде небольших цилиндров из изоляционного материала с выводами, напоминающими миниатюрные штырьки лампового цоколя, и бывают триоды, опрессованные в пластмассу, с выводами из гибкой проволоки, подпаиваемыми непосредственно к схеме. Отечественной промышленностью в настоящее время триоды в стеклянном и пластмассовом оформлении не выпускаются. Как правило, плоскостные триоды изготавливаются в металлическом оформлении (рис. 19б).

Внутренняя конструкция плоскостных триодов довольно проста и, как правило, представляет собой пластину полупроводника с укрепленными на ней тем или иным способом металлическими выводами электродов.

Несмотря на простоту конструкции, технология изготовления триодов представляет ряд трудностей (получение химически чистых полупроводниковых материалов, выращивание кристаллов, изготовление больших партий приборов с одинаковыми параметрами и др.), преодоление которых позволит осуществить промышленный выпуск триодов в значительно больших масштабах.

Параметры некоторых отечественных плоскостных триодов приведены в табл. 6.

Основные параметры германиевых плоскостных триодов

Тип	Основное назначение	Кoeffициент усиления по току не менее		КГц	Пределная частота усиления по току не менее		Отрицательное напряжение коллектора в схеме с общим основанием при температуре корпуса		Емкость коллектора не более		Ток коллектора		Обратный ток			Ток эмиттера в режиме усиления	Выходная проводимость не более	Наибольшая допустимая мощность, рассеиваемая типе корпуса, при температуре 50°С	
		в	в		в	в	ма	ма	мкА	мкА	мкА	мкА	ма	ма	мкА				мкА
П12	Усиление и генерирование электрических колебаний ВЧ	0,95	5000	6*	—	20	5	—	5	6	20	5	2,0	30					
П13	То же	0,92	465	15	10	50	10	50	10	30	30	10	0,3	150					
П13А	"	0,97	465	15	10	50	10	50	10	30	30	10	2,0	150					
П13Б	"	0,92	465	15	10	50	10	50	10	10	10	10	2,0	150					
П14	"	0,95	1000	15	10	50	10	50	10	30	30	10	3,3	150					
П15	"	0,95	2000	15	10	50	10	50	10	30	30	10	3,3	150					
П16	Работа в переключающих схемах	20	1000	30	—	—	—10	—	—	—	—	10	—	150**					
П16А	То же	30	1000	30	—	—	—10	—	—	—	—	10	—	150**					
П16Б	"	45	1000	30	—	—	—10	—	—	—	—	10	—	150**					
П406	Усиление и генерирование электрических колебаний ВЧ	0,95	10000	6*	—	20	5	—	5	6	20	5	2,0	30					
П407	То же	0,95	20000	6*	—	20	5	—	5	6	20	5	2,0	30					

\* В схеме с общим эмиттером.

\*\* При температуре  $20 \pm 5$  °С.

К недостаткам существующих кристаллических триодов можно отнести значительный разброс параметров от образца к образцу, влияние окружающей температуры, ограниченное использование по частотному диапазону, довольно высокий уровень собственных шумов.

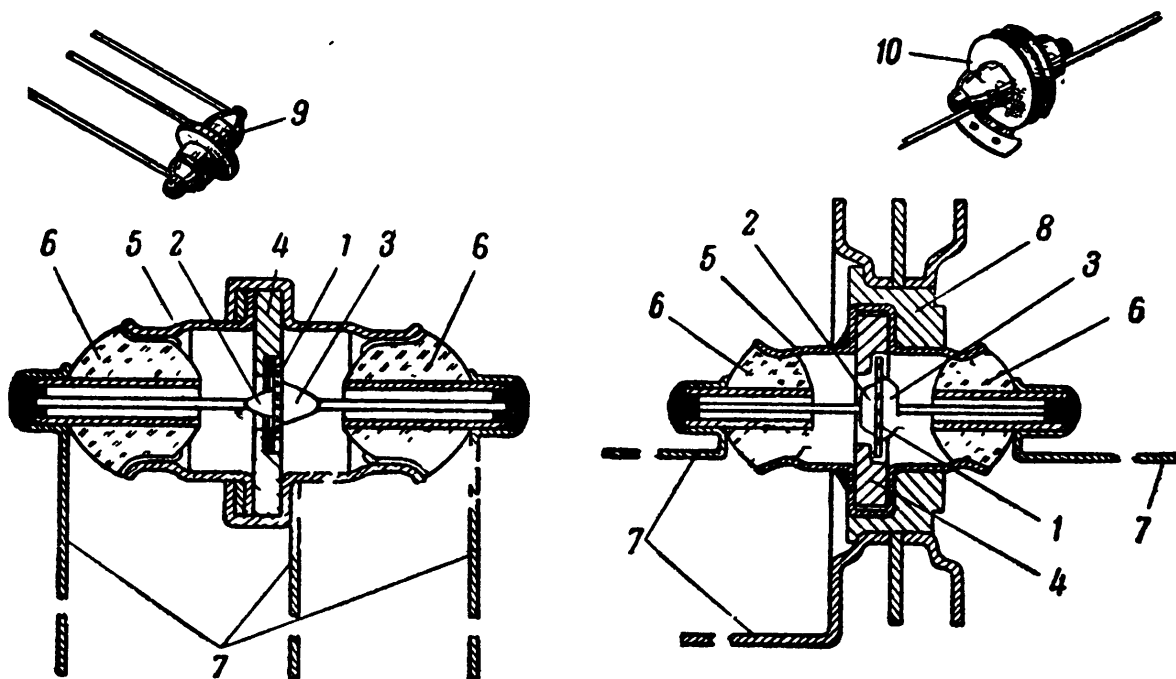


Рис. 19а. Триоды с плоскостными контактами:

1 — кристалл германия; 2 — эмиттер; 3 — коллектор; 4 — кристаллодержатель; 5 — корпус; 6 — стеклянный изолятор; 7 — выводы; 8 — радиатор для охлаждения; 9 — триоды типа П1 и П2, 10 — триод типа П3

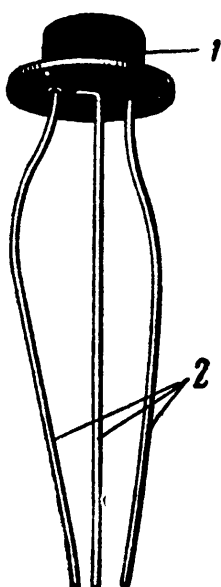


Рис. 19б Внешний вид плоскостного триода:

1 — металлический сварной корпус; 2 — выводы электродов

Однако все эти недостатки отнюдь не уменьшают значения кристаллических триодов для дальнейшего совершенствования радиоэлектронных приборов, так как преимуще-

ства триодов по сравнению с электронными лампами делают их весьма перспективными при создании миниатюрной радиоаппаратуры.

Основным достоинством кристаллических триодов является высокая экономичность. Они не требуют расхода питания по цепям накала, как электронные, даже сверхминиатюрные, лампы, и, следовательно, в аппаратуре на кристаллических приборах надобность в накальных батареях отпадает. Расход мощности на питание одного каскада на кристаллическом триоде в сотни раз меньше расхода мощности, необходимой для питания лампового каскада.

По своим размерам и весу кристаллические триоды в десятки раз меньше, чем электронные лампы, а коэффициент полезного действия их (до 50%) превышает КПД электронных ламп (около 30%).

По механической прочности и долговечности кристаллические триоды также превосходят электронные лампы. Если срок службы электронных ламп составляет несколько сот часов, то долговечность полупроводниковых приборов достигает десятков тысяч часов. Это качество полупроводниковых приборов значительно повышает надежность радиоэлектронной аппаратуры.

Говорить о полной замене электронных ламп кристаллическими приборами пока еще рано, поскольку последние имеют существенные недостатки и по некоторым параметрам резко отличаются от электронных ламп. Однако даже частичная замена электронных ламп полупроводниковыми приборами позволяет уменьшить вес и габариты радиоаппаратуры примерно на одну треть при одновременном повышении надежности работы аппаратуры на 30—40% за счет высокой стойкости кристаллических приборов к механическим воздействиям и значительно большей долговечности.

Принимая во внимание, что входное сопротивление большинства типов кристаллических триодов во много раз меньше, чем входное сопротивление электронных ламп, прямая замена ламп кристаллическими триодами невозможна. Применение кристаллических триодов требует разработки специальных схем.

Обычно применяются три схемы включения плоскостных триодов: с заземленным основанием (рис. 20, а), заземленным коллектором (рис. 20, б) и с заземленным эмиттером (рис. 20, в).

В процессе дальнейшего совершенствования конструкций полупроводниковых приборов были созданы различные образцы триодов — слоистые триоды, управляемые электрическим полем, триоды с фотоэлектрическим управлением и другие.

Отличительная способность управляемых полем триодов заключается в довольно большом входном сопротивлении, достигающем 1 *Мом*. Поэтому их характеристики похожи на характеристики электронных ламп.

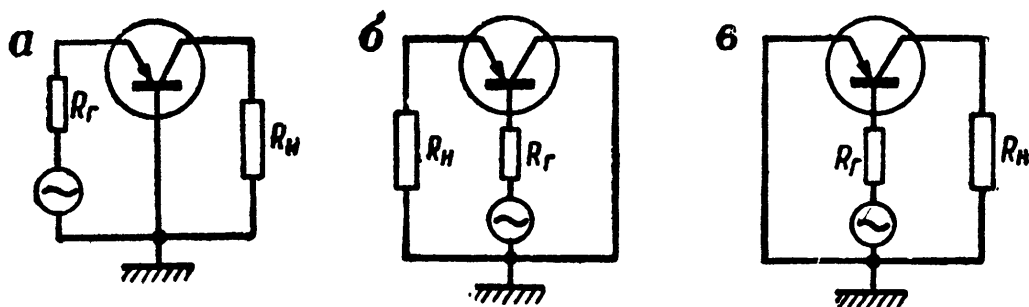


Рис. 20 Схемы включения плоскостных триодов

При создании кристаллических усилителей получены интересные результаты со сложными коллекторами.

В коллекторную часть полупроводникового триода был введен еще один электронно-дырочный переход, образующий дополнительный запиорный слой. Это дало возможность использовать в качестве носителей тока одновременно электроны и дырки, что повысило коэффициент усиления по току.

Для повышения частотного предела кристаллических усилителей разработан полупроводниковый прибор — тетрод (рис. 21). Четвертый электрод этого прибора присоединен к германиевому основанию, на него подается постоянное напряжение смещения в несколько вольт того же знака, что и постоянное напряжение, подводимое к эмиттеру.

Добавление четвертого электрода уменьшает емкость между коллектором и основанием, повышает усиление на высоких частотах и позволяет увеличить частотный предел такого прибора до 500 *Мгц*.

На рис. 22 показана другая конструкция полупроводникового тетрода. Корпус тетрода изготовлен из изоляционного материала. Его диаметр 40 *мм*, а высота около 20 *мм*. Внутри корпуса укреплен керамический патрон диаметром 6 *мм* и высотой около 10 *мм*, на котором смонтиро-

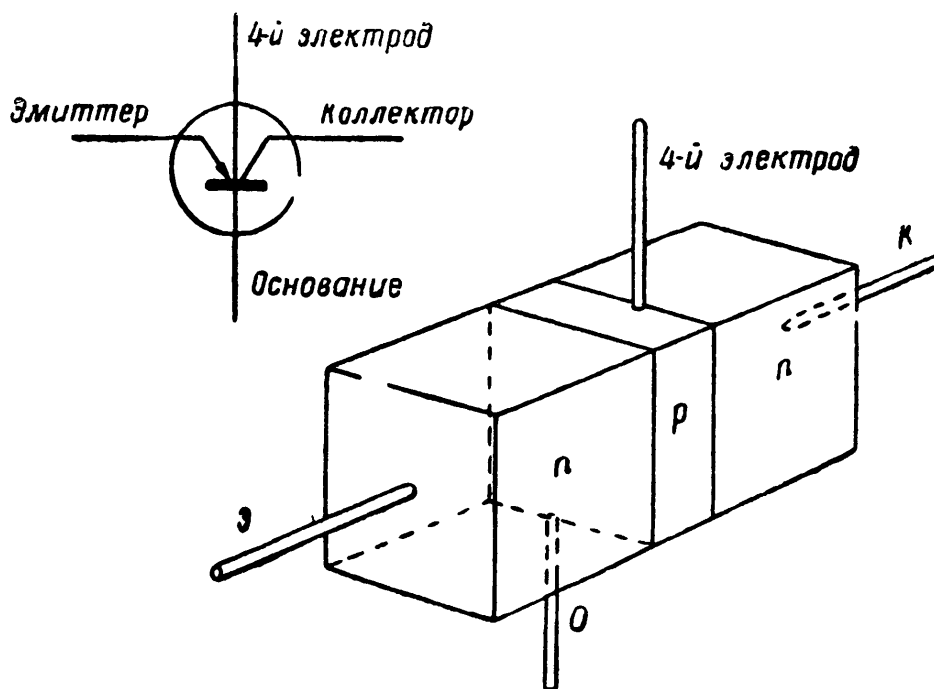


Рис. 21. Схематическое устройство плоскостного тетрода и его условное обозначение на схемах

ваны электроды тетрода. Основанием служит германиевая пластинка. Остальные три электрода изготовлены из бронзы и имеют форму полос шириной 1 мм и толщиной в месте контакта около 10 мк. Все три электрода расположены параллельно на расстоянии примерно 50 мк один от другого и изолированы между собой. Кристалл германия расположен так, что его рабочая поверхность соприкасается со всеми тремя электродами и образует с каждым из них контактную группу. Контактный вывод основания сделан в торце цилиндра.

Подобный прибор позволяет использовать его не только как тетрод, но и как мощный диод (в этом случае все три бронзовых электрода соединяются между собой) или триод.

Возможности уменьшения размеров радиоаппаратуры за счет применения полупроводнико-

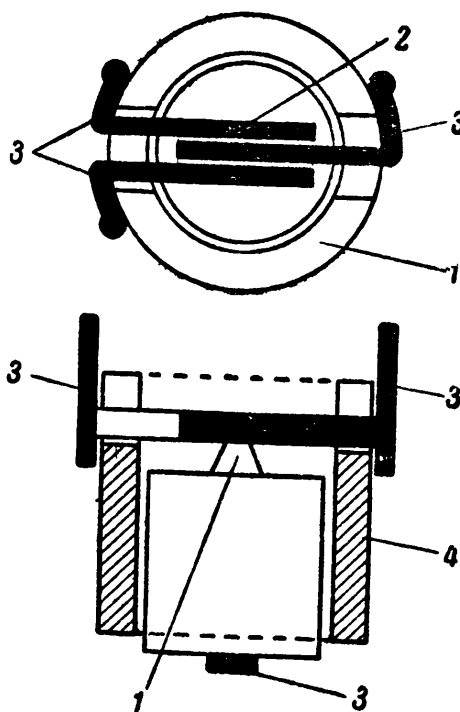


Рис. 22. Тетрод:

1 — кристалл германия; 2 — контакты из бронзовых полос; 3 — выводы электродов; 4 — керамический патрон



вых приборов не будут использованы полностью, если остальные узлы и детали в радиоустройствах будут обычных размеров.

Сейчас во многих странах ведутся большие работы по созданию миниатюрных и сверхминиатюрных деталей, размеры которых будут соизмеримы с размерами сверхминиатюрных ламп и полупроводниковых приборов.

Рассмотрим некоторые существующие конструкции основных радиодеталей и пути дальнейшего уменьшения их размеров.

## КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы постоянной емкости в зависимости от используемого диэлектрика подразделяются на воздушные, слюдяные, бумажные, керамические, стеклоэмалевые, электролитические и др. Размеры и конструкции их зависят в основном от требуемой емкости и рабочего напряжения.

Наша промышленность выпускает несколько сот различных типов конденсаторов постоянной емкости, но мы остановимся только на малогабаритных.

Слюдяные конденсаторы бывают открытые, опрессованные в пластмассу и герметизированные. В малогабаритном оформлении изготавливаются три типа конденсаторов СОМ (слюдяной опрессованный малогабаритный — рис. 23, б) и четыре типа СГМ (слюдяной герметизированный малогабаритный — рис. 23, а).

По электрическим данным слюдяные конденсаторы (табл. 7) считаются лучшими из существующих конденсаторов постоянной емкости и широко применяются в радиоаппаратуре в качестве контурных, переходных и блокировочных конденсаторов, а также в различных фильтрах.

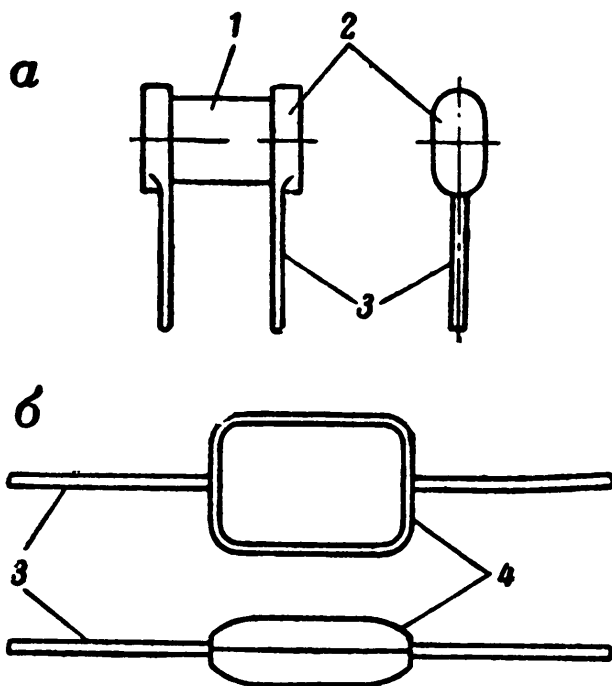


Рис. 23. Слюдяные конденсаторы:  
а — СГМ; б — СОМ; 1 — корпус; 2 — кол-  
пачки; 3 — выводы; 4 — пластмасса

Бумажные конденсаторы подразделяются на несколько типов, различающихся по своим размерам, форме и материалу корпуса.

Таблица 7

Основные данные малогабаритных слюдяных конденсаторов постоянной емкости

Тип конденсатора	СОМ	СГМ
Данные		
Количество типоразмеров	3	4
Классы точности	О — III	О — III
Группа стабильности *	Б — Г	Б — Г
Емкость, $n\phi$	470—10000	100 — 10000
Рабочее напряжение, $v$	250—5000	250 — 2500
Испытательное напряжение, $v$	500—10000	500 — 5000
Реактивная мощность, $ва$	5—20	5 — 10
Интервал рабочих температур, $^{\circ}C$	От —60 до +70	От —60 до +80
Допустимая относительная влажность, %	80	95—98
Потери, $tg \delta$	$10 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$
Сопротивление изоляции, $Mом$	10000	10000

Бумажный диэлектрик позволяет создать дешевые малогабаритные конденсаторы. Конструктивно они представляют собой две длинные полосы алюминиевой или оловянной фольги, разделенные бумажной изоляцией. Эти полосы свертывают в рулон круглой или овальной формы, пропитывают парафином, церезином или компаундом, после чего вставляют в соответствующий корпус.

Для уменьшения размеров бумажных конденсаторов металлический слой наносят непосредственно на бумажную полосу методом вакуумного распыления. Такие конденсаторы называют металло-бумажными. К ним относятся конденсаторы БМ, МБГМ (рис. 24) и МБМ.

По электрическим показателям (табл. 8) бумажные конденсаторы хуже слюдяных и керамических: их емкость может изменяться как во времени, так и при изменении внешних условий (температура, влажность, давление);

\* По температурной стабильности стандартные конденсаторы разделяются на 10 групп, обозначенных буквами А, Б, В, Г, Д, Ж, М, Р, С, Ц.

**Основные данные малогабаритных бумажных конденсаторов  
постоянной емкости**

Тип конденсатора	МБГМ	БМ	МБМ
Данные			
Количество типоразмеров	4	2	5
Классы точности	II—III	II—III	II—III
Емкость, мкф	0,025—0,5	0,01—0,05	0,05—1,0
Рабочее напряжение, в	240—900	300	240
Интервал рабочих температур, °С	От —60 до +60	От —60 до +70	От —60 до +70
Допустимая влажность, %	98	80	80
Потери, tg δ	$150 \cdot 10^{-4}$	0,01	0,015
Сопротивление изоляции, Мом	3000—5000 *	5000	5000

\* Мом для  $C = 0,1$  мкф, для больших емкостей — меньше.

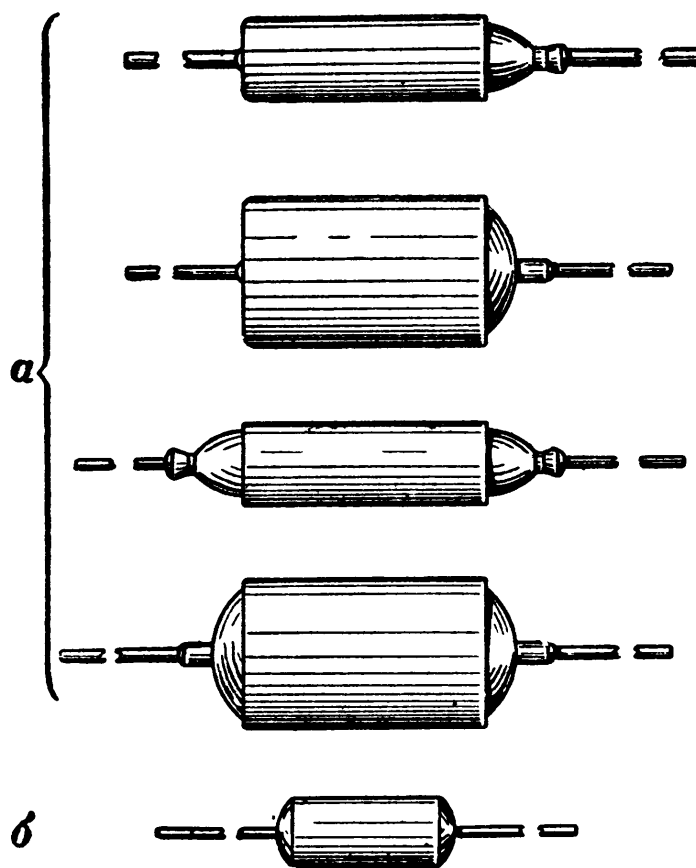


Рис. 24. Бумажные конденсаторы:  
а — МБГМ; б — БМ

они имеют большую собственную индуктивность и повышенные диэлектрические потери.

Применяются бумажные конденсаторы в основном на низких частотах, а также в качестве блокировочных и фильтровых.

Значительно лучшими электрическими показателями обладают керамические конденсаторы, причем малые размеры выгодно выделяют их среди конденсаторов постоянной емкости при конструировании миниатюрной радиоаппаратуры.

Конструктивно они выполняются в виде дисков (дисковые) или трубок (трубчатые) из сортов керамики с высокой диэлектрической проницаемостью типа тиконда, термоконда, тиглина и т. п. Металлические обкладки наносят на керамику методом вжигания, т. е. керамику в том месте, где необходимо получить металлический слой, покрывают пастой, состоящей из металлического порошка и связующего (органического) вещества, после чего конденсаторы помещают в печь, где связующее вещество выгорает, а металлический порошок прочно сцепляется с керамикой, образуя пленку, служащую обкладкой конденсатора.

У нас выпускается большое количество различных типов низковольтных и высоковольтных керамических конденсаторов (рис. 25). Наибольшее распространение получили конденсаторы дисковые керамические (КДК), трубчатые керамические (КТК), герметизированные керамические (КГК), эмалированные трубчатые (КЭТ), эмалированные дисковые (КЭД), опрессованные дисковые (КОД), керамические пластинчатые сегнетоэлектрические (КПС), дисковые сегнетоэлектрические и др.

Керамические конденсаторы имеют высокую стабильность параметров (табл. 9) и малую собственную индуктивность. Они пригодны для работы в относительно высоких температурах и могут быть изготовлены с различными, заранее заданными температурными коэффициентами емкости, что позволяет применять их для термокомпенсации.

Керамические конденсаторы широко применяются в радиоаппаратуре коротковолнового и ультракоротковолнового диапазонов в качестве блокировочных, проходных и др.

Высокими электрическими показателями, превосходящими в ряде случаев показатели керамических конденсаторов, обладают конденсаторы из стеклоэмали. Диэлектриком в них служит тонкая стеклянная пленка. Эти конденса-

Основные данные керамических конденсаторов постоянной емкости

Тип конденсатора	КДК	КТК	КГК	КЭД	КЭТ	КОД	КДС	КДУ	КТС
Данные									
Количество типовых мер	3	5	5	3	3	2	3	5	I
Классы точности*	О—III	О—III	О—II	I—II	I—II	I—II	—40 + 100% <sub>0</sub>	II	III
Группа стабильности	Ж—С	Ж—С	Ж—С	—**	—**	—**	—	—	—
Емкость, пф	1—100	2—750	5—750	30—360	150—620	30—200	От 1000 до 6800	1—51	1000
Рабочее напряжение, в	500	500	500	250	500	250	250	500	400
Испытательное напряжение, в	1500	1500	1500	500	1000	500	500	1500	800
Реактивная мощность, в <sub>a</sub>	25—125	25—125	25—125	20—75	25—75	50—75	—	—	—
Интервал рабочих температур, °С	От —60 до +80 <sub>98</sub>	От —60 до +80 <sub>98</sub>	От —60 до +80 <sub>98</sub>	От —60 до +80 <sub>80</sub>	От —60 до +80 <sub>80</sub>	От —60 до +80 <sub>98</sub>	От —60 до +80 <sub>98</sub>	От —60 до +85 <sub>98</sub>	От —60 до +90 <sub>98</sub>
Допустимая влажность, % <sub>0</sub>	20 · 10 <sup>-4</sup>	20 · 10 <sup>-4</sup>	15 · 10 <sup>-4</sup>	12 · 10 <sup>-4</sup>	12 · 10 <sup>-4</sup>	12 · 10 <sup>-4</sup>	0,04	0,0012	0,1
Потери, tg δ	10000	10000	1000	10000	10000	10000	—	10000	10000
Сопротивление изоляции, Мом									

\* Но не точнее 0,2 пф.

\*\* α<sub>0</sub> = —(1800 ÷ 2300) · 10<sup>-6</sup>.

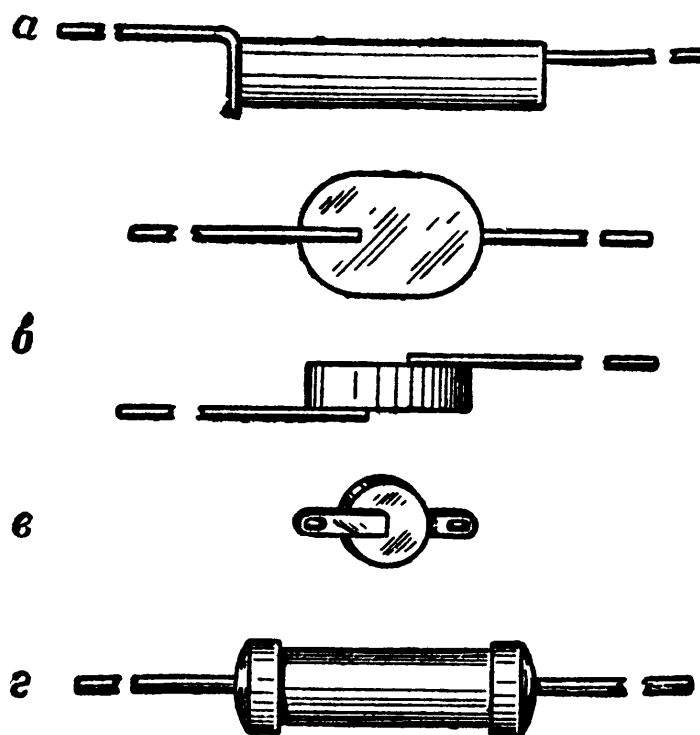


Рис. 25. Керамические конденсаторы:  
 а — трубчатый; б — пластинчатый; в — дисковый; г — герметизированный

торы имеют небольшие размеры и могут успешно применяться в колебательных контурах анодных и сеточных цепей.

В настоящее время выпускаются два типа стеклоэмалевых конденсаторов: КС-1 и КС-2 (рис. 26).

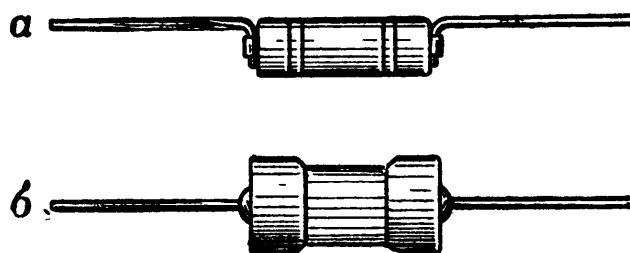


Рис. 26. Стеклоэмалевые конденсаторы:  
 а — КС-1; б — КС-2

Номинальные емкости конденсаторов КС находятся в пределах 10—430 *нф* при напряжении до 500 в постоянного тока. Наибольшая рабочая мощность 50—75 *вт*.

Электролитические конденсаторы отличаются от других типов конденсаторов малыми размерами и весом на единицу емкости. Однако они имеют недостатки (значитель-

ный ток утечки, недостаточная стабильность и др.), ограничивающие их применение. Электролитические конденсаторы применяются главным образом в фильтрах выпрямителей и цепях развязки на низких частотах.

Наша промышленность выпускает два типа электролитических малогабаритных (ЭМ) конденсаторов: морозостойкие — ЭМ-М и неморозостойкие — ЭМ-Н. Внешнее оформление и размеры обоих типов одинаковы. Основное различие между ними — в составе электролита, материале прокладок и толщине используемой фольги.

Морозостойкие конденсаторы изготавливаются из тонкой фольги (около 50 мк), имеют прокладки из тонкого шелка и наполняются метилгликолем. Они могут работать при температуре окружающей среды от  $-40$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ .

Для неморозостойких электролитических конденсаторов применяют более толстую фольгу (до 80 мк), а прокладки делают бумажными. В качестве электролита используют смесь этиленгликоля и этилового спирта. Интервал рабочих температур для этих конденсаторов меньше и находится в пределах от  $-10$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ .

Конструкция электролитических малогабаритных конденсаторов такова. К центральному (анодному) выводу из алюминиевой проволоки приклепывают небольшую пластинку, на которую наматывают секцию конденсатора из травленной алюминиевой фольги. Намотку заканчивают несколькими витками свинцово-оловянной фольги, служащей катодом. Количество витков рассчитывают так, чтобы обеспечить плотную посадку намотанной секции в алюминиевый цилиндрический корпус. Между анодной и катодной обкладками прокладывают бумажную или шелковую изоляцию. Корпус конденсатора изготавливают в виде стакана (рис. 27), верхнюю часть которого закрывают изоляционной шайбой, а края завальцовывают. В центральной



Рис. 27. Электролитический малогабаритный конденсатор

части корпуса делают кольцевую выдавку, обеспечивающую надежный контакт между корпусом и катодом.

Всего выпускается четыре типоразмера конденсаторов ЭМ. Длина их корпуса без выводов может быть 15, 18 или

20 мм, а диаметр 4,5 или 6 мм. Вес конденсаторов в зависимости от размера колеблется в пределах 2—3,5 г.

Электролитические конденсаторы выпускаются на различные рабочие напряжения в пределах 4—60 в, с номинальными емкостями в пределах 0,5—25 мкф. Характерной особенностью этих конденсаторов является относительно малый ток утечки (единицы микроампер), в то время как у обычных конденсаторов он измеряется сотнями микроампер и даже доходит до миллиампер.

Недостатком электролитических малогабаритных конденсаторов являются довольно большие потери ( $\operatorname{tg} \delta = 0,3 \div 0,03$ ), особенно при возрастании температуры.

К малогабаритным конденсаторам постоянной емкости относятся и так называемые пленочные или полистирольные конденсаторы (ПМ). В качестве диэлектрика в них используют полистирол (стирофлекс) в виде прозрачной тонкой (около 20 мк) пленки, на которую с обеих сторон накладывают свинцово-оловянную фольгу толщиной 7 мк. Выводы делают из проволоки, расплющенной на концах, обращенных внутрь конденсатора, причем выводы закладывают так, чтобы при намотке секции один вывод был смещен относительно другого примерно на полвитка.

Полистирольные конденсаторы изготовляют двух типов: открытые (негерметизированные) ПМ-1 и закрытые (полугерметизированные) ПМ-2.

Полистирольные конденсаторы отличаются высокой стабильностью и имеют небольшие размеры по сравнению с другими типами конденсаторов, имеющими аналогичные электрические характеристики.

Существует четыре типоразмера конденсаторов ПМ. Длина их может быть 8, 10 или 12 мм, а диаметр 3,5; 4 или 5 мм. По емкости они имеют пять номиналов в пределах 100—1000 пф и рассчитаны на рабочее напряжение 60 в.

Полистирольные конденсаторы изготовляют двух классов точности — 10 и 20%; они предназначены для работы при температуре от  $-60$  до  $+70^\circ\text{C}$  и относительной влажности 80% (для полугерметизированных 98%). Сопротивление изоляции этих конденсаторов довольно велико и достигает  $10^7$  Ом.

## СОПРОТИВЛЕНИЯ

В радиоэлектронной аппаратуре широко применяются сопротивления самых различных конструкций. Сопротив-



ления, как и конденсаторы, относятся к самым распространенным деталям, используемым в больших количествах.

По принципу действия сопротивления могут быть постоянными (определенного номинала) и переменными (величина которых может регулироваться); по конструктивным и технологическим принципам они бывают проволочные и непроволочные. Последние можно разделить на отдельные группы: объемные, тонкопленочные и поверхностные.

Рассматривать все многообразие существующих конструкций мы не будем, остановимся лишь на непроволочных малогабаритных сопротивлениях типа МЛТ, УЛМ (рис. 28 и табл. 10).

Конструкция большинства непроволочных сопротивлений очень проста. Основанием сопротивления обычно слу-

Таблица 10

Основные данные непроволочных малогабаритных сопротивлений

Тип сопротивления	МЛТ	УЛМ
Данные		
Количество типоразмеров	3	2
Классы точности	I—III	I—III
Сопротивление, <i>ом</i>	100—10000000	27—1000000
Номинальная мощность, <i>вт</i>	0,5—2	0,12
Рабочее напряжение, <i>в</i>	390—750	100
Интервал рабочих температур, °С	От -60 до +120	От -60 до +100
Допустимая относительная влажность, %	98	98

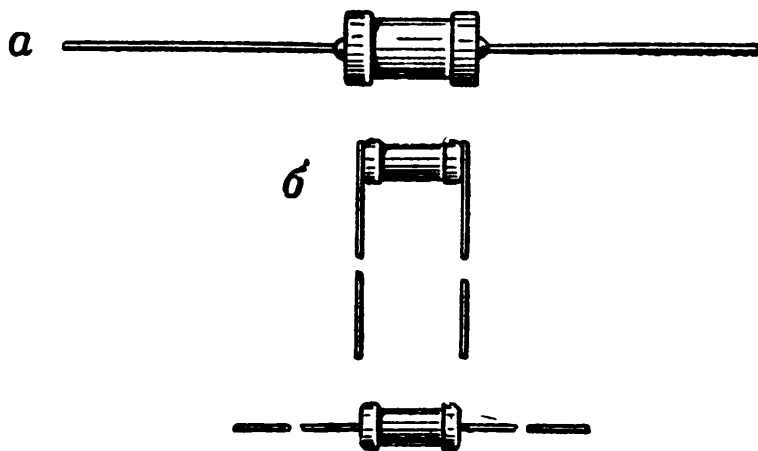


Рис. 28. Непроволочные сопротивления:  
а — МЛТ; б — УЛМ

жит керамическая трубка или стержень, на который наносят тонкий слой пленки (сотые и тысячные доли микрона), являющийся сопротивлением. Для увеличения номиналов сопротивления пленку наносят на стержень не сплошь по всей поверхности, а как бы обвивают его тонкой длинной лентой. Концы этой ленты соединяют с металлическими колпачками, надетыми на торцы керамического стержня или трубки, а к колпачкам припаивают выводы, которые обычно делают из луженой проволоки или в виде мягких медных полосок, обеспечивающих надежную припайку такого сопротивления к монтажной схеме.

Для защиты от механических повреждений и действия влаги непроволочные сопротивления покрывают сверху специальным лаком.

МЛТ — это металлизированные лакированные теплоустойчивые сопротивления. Они относятся к так называемым тонкопленочным сопротивлениям. Основанием сопротивления служит керамическая трубка, поверхность которой покрыта тонкой пленкой специального металлического сплава. Эта металлическая пленка, служащая сопротивлением, способна выдерживать без разрушения температуру до  $+250^{\circ}\text{C}$ , что позволяет в 1,5—2,5 раза уменьшить размеры сопротивлений МЛТ по сравнению с другими сопротивлениями аналогичной конструкции.

Остальные типы малогабаритных непроволочных сопротивлений имеют уже не металлизированную пленку, а углеродистую или углеродистую с какими-либо добавками, например бора.

УЛМ — углеродистые лакированные малогабаритные сопротивления, которые отличаются высокой стабильностью, превосходящей по основным данным стабильность сопротивлений типа ВС, хотя по размерам УЛМ во много раз меньше.

В качестве переменных сопротивлений в миниатюрной аппаратуре применяют различные конструкции как проволочных, так и непроволочных сопротивлений.

Например, одна из предложенных конструкций миниатюрного потенциометра представляет собой стеклянный цилиндр, на торце которого методом металлизации нанесен ряд радиальных контактов. Расположение контактов напоминает устройство коллектора электродвигателя, состоящего из отдельных секторов, если на него смотреть с торца. На торцовую часть стеклянного цилиндра поверх контактов накладывают ленточное сопротивление в виде

неполного кольца так, чтобы оно закрывало только половину длины радиальных контактов. По открытой части контактов двигается ползунок, обеспечивающий электрическое соединение с определенной частью ленточного сопротивления. Величина включенного в цепь сопротивления будет пропорциональна углу поворота ползунка. Диаметр такого потенциометра около 13 мм.

Возможны также другие конструкции переменных сопротивлений. Например, основание можно изготавливать из керамики или других термически устойчивых диэлектриков, а пленку сопротивления нанести на поверхность основания методом вжигания. Подвижной контакт можно перемещать как по специально сделанным выводам, так и непосредственно по самой пленке.

При конструировании миниатюрной аппаратуры широко применяют пленочные сопротивления, изготовленные методом печатных схем. На способах получения этих сопротивлений остановимся подробно при рассмотрении технологии и конструктивных особенностей печатных схем.

## ТРАНСФОРМАТОРЫ И КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Наиболее громоздкими деталями радиоб аппаратуры являются трансформаторы, автотрансформаторы и дроссели низкой частоты. В некоторых конструкциях трансформаторы весят примерно столько же, сколько все остальные детали, вместе взятые. Поэтому при конструировании миниатюрной аппаратуры уменьшению размеров трансформаторов и дросселей уделяют большое внимание.

Основные факторы, влияющие на размеры и вес трансформаторов, — это диаметр выбранного провода, качество изоляции проводов, насыщение сердечников при малых площадях их поперечного сечения.

При создании миниатюрных трансформаторов и дросселей решающее значение имеет выбор материалов. Правильный выбор материала для сердечника, типа обмоточного провода и соответствующей изоляции может значительно снизить габариты трансформатора.

За последние годы разработаны изоляционные материалы для проводов, позволяющие повышать пределы рабочих температур, что очень важно для миниатюрной и сверхминиатюрной аппаратуры; созданы новые сорта пропиточных материалов и материалов для сердечников.

В качестве изоляции для обмоточных проводов приме-

няют стекловолокно, гибкую керамику, тефлон и т. п. Чем тоньше слой изоляции и выше ее электрические свойства, тем меньший объем займут обмоточные провода для одного и того же трансформатора или дросселя.

Сердечники трансформаторов, автотрансформаторов и дросселей набирают в пакеты из тонких пластин той или иной конфигурации в зависимости от назначения трансформатора или дросселя. Наиболее употребимой конфигурацией пластин являются Г-образные, П-образные, Ш-образные и тороидальные (замкнутые) пластины.

Материалом для изготовления пластин обычно служит электромеханическая сталь, кремнистая сталь, пермаллой и др. Толщина пластин невелика и находится в пределах от нескольких сотых до 2—3 десятых долей миллиметра. Важное значение при изготовлении сердечников имеет технология получения тонких листов, из которых штампуются пластины.

Каркасы для намотки катушек трансформаторов и дросселей делают из изоляционного материала, способного выдерживать повышенную температуру без существенных деформаций и разрушения. К таким материалам относятся слюда, асбест, некоторые сорта пластмасс и другие материалы. Часто материал, идущий на каркасы, пропитывают силиконовым лаком. Изоляцией между слоями обмоток служит асбестовая бумага или стекловолокно, также пропитанное силиконовым лаком. Хорошим изоляционным материалом является листовой тефлон.

Катушки индуктивности, применяемые в миниатюрной радиоаппаратуре, конструктивно почти не отличаются от катушек, используемых в обычной аппаратуре. В отдельных случаях применяют небольшие высокочастотные катушки индуктивности с магнитным сердечником. Такие катушки имеют незначительную индуктивность рассеяния, что позволяет размещать их близко одна к другой. Ферритовые сердечники значительно повышают добротность катушек индуктивности.

Применение в радиоустройствах полупроводниковых диодов и триодов, требующих для питания очень небольших токов, позволяет создать трансформаторы и дроссели, весьма небольшие по размеру и весу. Например, для схем с полупроводниковыми триодами был создан трансформатор, имеющий размеры  $9,5 \times 9,5 \times 9,5$  мм и весящий всего 3 г.



---

---

## II. ПЕЧАТНЫЕ СХЕМЫ

Одним из способов, позволяющих значительно уменьшить размеры радиоустройств, является применение новой технологии изготовления монтажных схем. Эта новая технология дает возможность заменить объемный монтаж монтажом, расположенным в одной плоскости. Технология изготовления плоских монтажных схем перешла в радиотехнику из полиграфической промышленности, и такие двухмерные схемы стали называть печатными.

Под термином «печатные схемы» сейчас уже подразумевают не только схемы, изготовленные при помощи печатных машин, но и схемы, изготовленные другими методами.

В настоящее время известно более десятка различных способов изготовления монтажных схем и отдельных деталей, объединенных общим названием — печатные схемы. В этом случае узлы и детали аппаратуры соединяют между собой не отдельными проводниками, а весь монтаж или подавляющую часть монтажа воспроизводят сразу в виде довольно сложного рисунка. Одновременно с монтажными проводами изготавливают и некоторые детали схемы.

На основных способах получения такого монтажа и деталей мы остановимся ниже.

### МОНТАЖНЫЕ СХЕМЫ

На заре развития радиотехнической промышленности радиодетали изготавливали так, что в схему их собирали главным образом при помощи винтов, гаек и других крепежных приспособлений. Затем соединять детали между собой начали при помощи пайки. Пайка позволила, с одной стороны, упростить и ускорить сборку и монтаж аппаратуры, а с другой — повысить качество электрических соединений схемы.

Дальнейшее совершенствование технологии привело к конвейерному монтажу аппаратуры. При этом методе сборку и монтаж разбивают на ряд последовательных технологических операций, выполняемых отдельными монтажниками.

По окончании всего технологического цикла с конвейера сходит собранная аппаратура. Несмотря на значительное ускорение процесса сборки и монтажа на конвейере, все операции производятся все же вручную, что значительно повышает стоимость аппаратуры и препятствует дальнейшему ускорению процессов сборки и монтажа.

В дальнейшем были сделаны попытки сконструировать автоматы, воспроизводящие сложные движения человеческих рук и заменяющие собой монтажника, но конструкция их была чрезвычайно сложна, и никакого экономического эффекта эти автоматы не давали.

Более удовлетворительные результаты были получены при изменении самой технологии изготовления радиоэлектронной аппаратуры, что привело к созданию печатных схем.

Одно из основных отличий аппаратуры, изготовленной методом печатных схем, заключается в том, что монтаж выполняют на плоском основании — плате и он имеет только два измерения, так как толщиной печатного монтажа практически можно пренебречь.

При помощи печатных схем можно добиться значительного уменьшения габаритов радиоаппаратуры и повышения ее механической прочности за счет надежного сочленения монтажа с плоскостью основания всеми своими точками.

Печатные схемы позволяют стандартизировать производство, сократить время монтажа аппаратуры, снизить брак, облегчить контроль за качеством и, самое главное, автоматизировать производство радиоэлектронной аппаратуры.

### **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ**

Сам процесс изготовления печатной схемы относительно несложен и может осуществляться одним из многих известных в настоящее время способов, однако процессу печатания предшествует довольно сложная подготовительная работа.

Прежде чем воспроизвести «рисунок» монтажной схемы радиоприемника, телевизора или другого радиоэлектрон-

ного устройства на изоляционной плате, необходимо изобразить на плоскости все соединительные проводники между деталями, составляющими радиоустройство. С выполнения этой кропотливой задачи и начинается создание печатной схемы.

Печатным способом можно изготовить не только соединительные провода (будем их для краткости называть проводниками), но и отдельные элементы радиоустройств — сопротивления, индуктивности, емкости, трансформаторы, контакты различных переключателей и др.

К основным методам изготовления печатных схем относятся следующие: окрашивание (в том числе метод офсетной печати), фольгирование, химические, разбрызгивание и распыление.

В производстве применяются не все эти методы. Некоторые из них пригодны только в лабораторных условиях и для экспериментальных работ.

В Советском Союзе применяются главным образом методы офсетной печати и фольгирования. В США наибольшее распространение получили методы окрашивания (нанесение тем или иным способом токопроводящей краски), разбрызгивания и фольгирования (штамповки); в Англии — методы офсетной печати, фольгирования, печатание через трафарет с последующим вжиганием красок и метод штамповки (главным образом при изготовлении катушек).

Каждый из применяемых методов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому при выборе метода приходится считаться с особенностями и назначением аппаратуры, для которой изготавливается печатная схема.

На основных методах мы остановимся несколько подробнее, а методы, которые не получили промышленного применения, рассмотрим вкратце.

В первую очередь следует остановиться на способах изготовления проводников, так как они занимают наибольший объем при монтаже аппаратуры.

### **МЕТОД ОКРАШИВАНИЯ**

Одним из распространенных и в достаточной степени разработанных способов изготовления печатных схем является метод нанесения проводников специальными токопроводящими красками.

Основанием для нанесения печатной схемы обычно служат пластины из изоляционных материалов (керамики, стекла, пластмассы и т. п.), хотя в отдельных случаях

схему можно наносить непосредственно на поверхность крупных элементов, например на стеклянный баллон электронной лампы.

Рисунок схемы наносят токопроводящей краской кистью от руки (этот метод малопригоден для промышленного применения), при помощи пульверизатора и трафарета или любым другим способом, в частности при помощи печатной машины (офсетный способ).

Для печатных схем трафареты, как правило, изготавливают фотографическим способом. Основанием трафарета служит сетка с мелкими ячейками, сделанная из шелка или тонкой проволоки. Сетку натягивают на приспособление так, чтобы получилась совершенно ровная поверхность. Затем на сетку наносят тонкий слой фоточувствительной эмульсии, причем эмульсия обладает такими свойствами, что та часть ее, которая засвечена, в воде не растворяется, а та часть, на которую свет не попал, свободно растворяется в воде.

Для получения трафарета на покрытую фотоэмульсией сетку накладывают позитивное изображение монтажной схемы, после чего производится засвечивание. В местах, где на позитиве были черные линии, соответствующие монтажным проводам, эмульсия не подвергается действию света, а все остальные — прозрачные — места засвечены, и эта часть пленки нерастворима. После промывки такой сетки в местах, где на монтажной схеме должны быть провода, эмульсии не будет, и токопроводящая краска может свободно проникать сквозь ячейки сетки.

Для повышения механической прочности печатной схемы часто применяют термическую обработку. В этом случае печатание ведут на керамическом или стеклянном основании специальной краской, содержащей серебро. После нанесения рисунка схемы керамическую плату помещают в печь и нагревают до такой температуры, при которой связующие вещества краски испаряются, а размягченное серебро прочно сцепляется или, как говорят, вжигается в керамику.

Недостаток трафарета в том, что ячейки сетки забиваются краской и их прочистка требует много времени, что снижает производительность трафаретного метода.

Другим способом нанесения рисунка на плату является метод печатания схемы в буквальном смысле; печатание ведут на машинах, используемых в полиграфической промышленности, с некоторыми несущественными переделками.



Для этого используют плоскочечатные машины (рис. 29) и машины офсетного типа.

При использовании плоскочечатной машины рисунок схемы печатают с клише, изготовленного в соответствии с монтажной схемой, созданной конструктором на бумаге. Токопроводящую краску наносят на диск 1, по которому сверху вниз прокатываются валики 2. Покрытые слоем то-

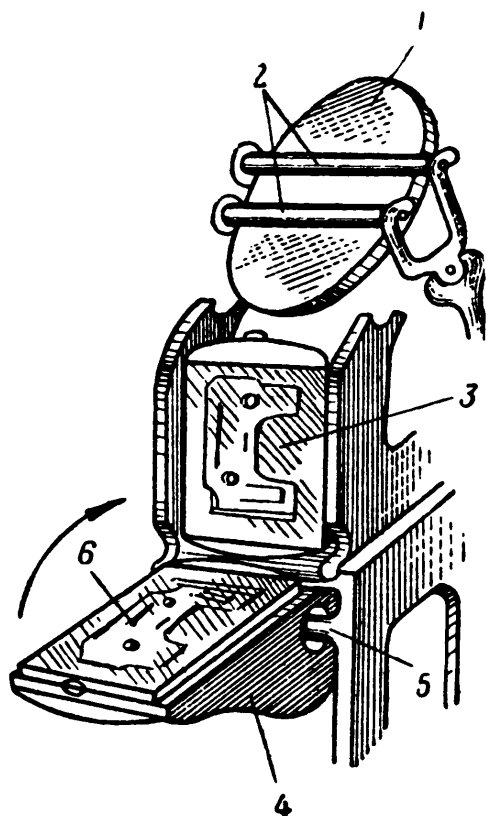


Рис. 29. Плоскочечатная машина

копроводящей краски валики переносят ее на клише 3. Затем валики 2 поднимаются вверх, а подъемный стол 4, поворачиваясь вокруг оси 5, плотно прижимает изоляционную плату 6 к клише 3, оставляя отпечаток схемы на плате.

Для получения более толстого слоя краски с целью повышения проводимости печатных проводников операцию можно повторить. Чтобы сделать отпечаток хорошего качества, необходимо иметь платы с совершенно ровной поверхностью, иначе в местах, которые неплотно прилегают к клише, будут пробелы и такая схема работать не будет.

Второй способ машинной печати, так называемый офсетный метод, свободен от этого недостатка. Принципиальное отличие этого метода заключается в том,

что рисунок схемы печатается на плате уже не с клише, а со специального (офсетного) валика, прокатывающегося по клише.

Платы для печатных схем изготавливают чаще всего из гетинакса, стеатита, керамики или пластмассы. Форма и размеры плат зависят от сложности монтажа и количества узлов и деталей, применяемых в аппаратуре. Толщина плат обычно не превышает нескольких миллиметров, поэтому заготавливать их можно из листового материала при помощи штампа или прессовать из соответствующего пресс-порошка.

Перед поступлением на печатную машину гетинаксовые платы обрабатывают пескоструйным аппаратом для полу-

чения шероховатой поверхности, обеспечивающей лучшее сцепление токопроводящей краски с платой. После обработки кварцевой пылью и последующей обдувки сжатым воздухом платы поступают на печатную машину.

Так как рисунок схемы, отпечатанный на офсетной машине, подвергают в дальнейшем химической обработке в гальванических ваннах, то, помимо основных рабочих проводников схемы, приходится печатать на плате и дополнительные, так называемые технологические проводники, соединяющие в одну электрическую цепь отдельные, не связанные между собой электрические цепи всей схемы. После обработки в гальванических ваннах, заключающейся в наращивании металлического слоя на рисунок схемы, технологические проводники уничтожаются и отдельные цепи схемы восстанавливаются. Технологические проводники разрывают механическим путем — вырубкой или сверлением отверстий.

Процесс печатания на офсетной машине (рис. 30) сводится к следующему. На машине укрепляют клише барабанного типа с изображением монтажной схемы; токопроводящая краска с растирочных валиков поступает на накатный валик, покрывающийся довольно ровным слоем этой краски. Накатный валик, проходя по клише, наносит на него слой токопроводящей краски. Следом за накатным

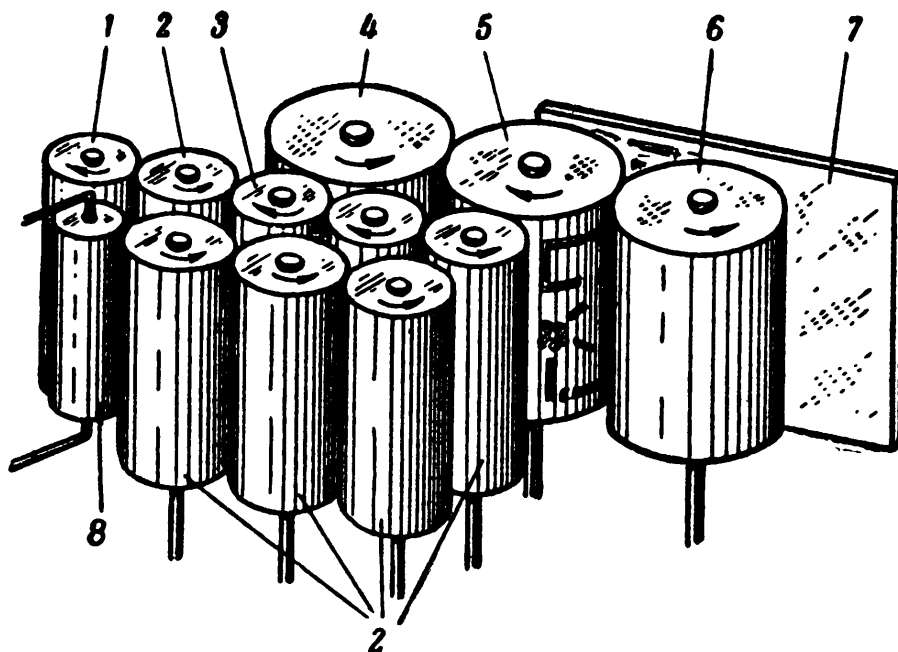


Рис. 30. Схематическое устройство офсетной машины:  
1 — приемный валик; 2 — растирочные валики; 3 — передвижной валик; 4 — накатный валик; 5 — клише; 6 — печатный валик; 7 — плата; 8 — красящий валик

валиком по клише проходит эластичный печатный валик, на котором отпечатывается рисунок схемы, изображенный на клише. Затем печатный валик проходит по гетинаксовой плате и переносит на нее рисунок схемы, сделанный на клише.

Часто появляется необходимость печатать схему с обеих сторон платы. В этом случае плату пропускают сразу между двумя печатными валиками (рис. 31), каждый из которых наносит рисунок схемы, соответствующий своему клише.

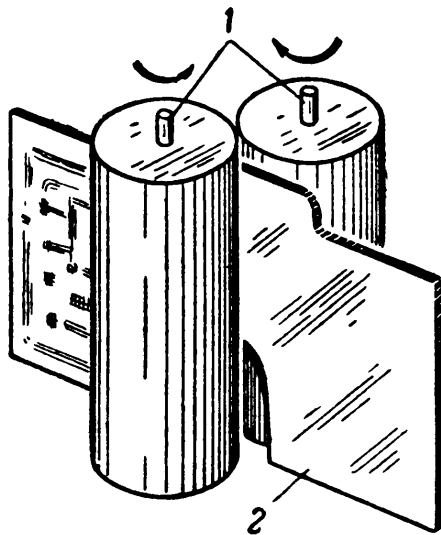


Рис. 31. Способ двухсторонней печати монтажных схем: 1 — печатные валики; 2 — плата

Полученная после печати на офсетном станке схема принципиально вполне пригодна для эксплуатации, но обычно для повышения электрической и механической прочности плату обрабатывают в гальванических ваннах.

Для предохранения меди от окисления и улучшения качества последующих паек на слой меди гальваническим путем наносят второй слой сплава свинца с оловом толщиной около 10 мк.

Если монтаж расположен с обеих сторон платы, переход печатных проводников с одной стороны платы на другую осуществляют при помощи металлических заклепок или пустотелых пистонов, надежно соединяющих два проводника, расположенных по обеим сторонам платы (рис. 32).

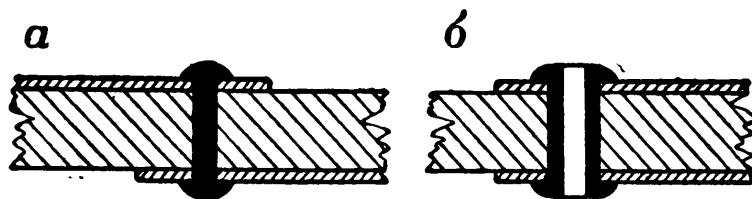


Рис. 32. Заклепки и пистоны для соединения печатных проводников, расположенных на противоположных сторонах платы:

а — соединение при помощи заклепки; б — соединение при помощи пистона

Можно получить электрическое соединение проводников, расположенных на различных сторонах платы, путем сверловки в плате отверстий в месте скрещивания проводов с последующей металлизацией их стенок.

Как правило, при конструировании сложных по своему рисунку печатных схем избежать пересечения проводников не удастся. В этом случае для обеспечения нормальной работы схемы можно применять заклепки, пистоны или металлизированные отверстия. Проводник перед точкой пересечения при помощи заклепки переводят на противоположную сторону платы, затем, минуя место пересечения, второй заклепкой вновь возвращают на прежнюю поверхность.

Можно избежать замыкания скрещивающихся проводников другими способами. Например, один проводник печатают, как обычно, на поверхности платы, а второй, его пересекающий, наносят поверх слоя изоляционного лака, которым покрывают в месте пересечения первый проводник.

Иногда при несложной конфигурации схемы для избежания взаимных пересечений печатных проводников монтаж располагают на двух сторонах платы: на одной стороне размещают все горизонтальные проводники, а на противоположной — все вертикальные (рис. 33). Проводники, расположенные с разных сторон платы, соединяют при помощи заклепок, пистонов и т. п.

Готовая плата с печатной схемой и отверстиями для крепления навесных деталей поступает на сборку, где устанавливают ламповые панели или сами лампы (если в схеме используются бесцокольные миниатюрные и сверхминиатюрные лампы), полупроводниковые приборы, конденсаторы, сопротивления и другие элементы схемы.

После сборки плата с закрепленными навесными деталями поступает на пайку. Особенность этой операции заключается в том, что все детали паяют одновременно. Плату погружают на несколько секунд в расплавленный припой той стороной, где закреплены выводы, после чего все навесные детали оказываются прочно соединенными с печатной схемой. Чтобы расплавленный металл не попадал в те места, где он не нужен, плата перед погружением закрывается защитным шаблоном.

Если учесть, что в телевизионном приемнике приходится делать до 1500 паек и каждая из них при ручном методе занимает даже у высококвалифицированного рабочего 15—20 сек, то ясно, какие огромные преимущества дает печатный метод изготовления монтажных схем.

Методы изготовления печатных схем способами окрашивания, включая и офсетный метод, позволяют применять в качестве плат, служащих основанием для печатной схемы,

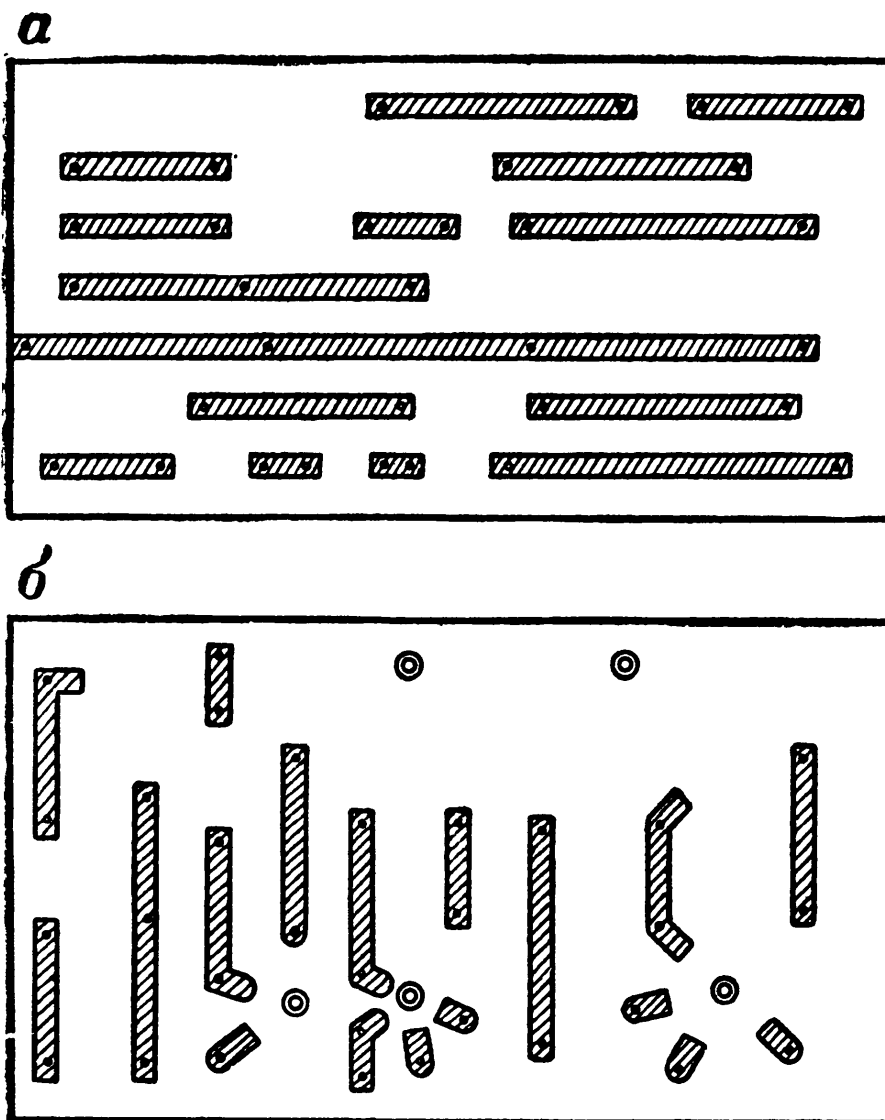


Рис. 33. Плата с печатной схемой, расположенной на обеих ее сторонах:

*a* — сторона с горизонтальными проводниками; *b* — сторона с вертикальными проводниками

самые разнообразные изоляционные материалы, а следовательно, и изготовлять эти платы можно любой формы, что очень важно при конструировании различной специальной аппаратуры.

### ТОКОПРОВОДЯЩИЕ КРАСКИ

Состав токопроводящей краски выбирают в зависимости от материала платы и способа нанесения печатной схемы.

Большинство красок, применяемых для изготовления печатных проводников, состоит из следующих основных частей: проводящего материала, связующего вещества, растворителя и восстановителя.

В качестве проводящего материала чаще всего применяют серебро в порошке или в каком-либо соединении, например азотнокислое серебро, различные органические соединения серебра, окись серебра. Серебро обладает хорошей проводимостью, легко образуя весьма стойкие серебряные пленки, и поэтому находит широкое применение в производстве печатных схем.

Несмотря на то что серебро дорогостоящий металл, стоимость серебряной краски не превышает обычно стоимости меди, идущей на изготовление круглых проводников, применяемых при обычном монтаже.

Хорошим проводящим материалом являются порошки из благородных металлов и их соли, а также медь и некоторые другие металлы.

Связующее вещество в токопроводящих красках необходимо для нанесения краски на плату и для надежного сцепления краски с платой. Хорошим связующим веществом при составлении краски для проводников служат масла и смолы, например льняное, хлопковое и касторовое масла, фенолы, силиконы. Для красок, предназначенных к вжиганию в поверхность платы, связующим веществом служит борнокислый и кремнистый свинец, борнокремнекислый натрий и этиловый силикат.

Для растворения связующего вещества и регулирования вязкости краски применяют спирт, ацетон, скипидар, бутиловый растворитель и ряд ацетатов: этиловый, бутиловый, амиловый, карбитоловый, целлюлоз-ацетат.

Восстановитель в токопроводящих красках нужен для восстановления проводящего материала (например, окислов металлов) в чистый металл. Восстановителем может быть сульфат гидразина, гидрат гидразина или формальдегид.

Процент содержания проводящего материала в краске может меняться в широких пределах в зависимости от методов нанесения краски на плату. Например, если краска наносится методом разбрызгивания, процент серебра в краске (по весу) составляет около 35%, а при нанесении краски через трафарет — 65—70%.

Получение качественных красок требует не только подбора и точного соблюдения рецептуры, но и тщательного соблюдения технологии их приготовления. В процессе печати также необходимо следить за составом краски; состав ее меняется вследствие испарения легко улетучивающихся веществ.

## МЕТОД ФОЛЬГИРОВАНИЯ

Метод фольгирования, применяющийся при изготовлении печатных схем, иногда называют методом штамповки. В этом случае рисунок схемы делают из тонкой металлической фольги, укрепленной на плате тем или иным способом. В лабораторных условиях при разработке методов фольгирования применялась тонкая фольга, изготовленная из золота, серебра, меди и других металлов, хорошо проводящих электрический ток, однако в промышленности наибольшее применение получила медная фольга.

Существует несколько вариантов изготовления печатных схем методом фольгирования. Один из них сводится к тому, что на листы изоляционного материала наклеивают под прессом листы медной фольги толщиной около 0,1 мм. На полученный фольгированный гетинакс рисунок схемы наносится уже не токопроводящей, а кислотоупорной краской, после чего гетинаксовую плату погружают в кислоту, где происходит травление фольги. В местах, которые были защищены краской, фольга сохраняется, а в остальных местах медь вытравляется. В результате на гетинаксовой плате остается рисунок схемы из медной фольги.

Рисунок схемы можно нанести на фольгированный гетинакс и фотоспособом. Для этого поверх фольги накладывается слой светочувствительной эмульсии. На подготовленную таким образом плату накладывается негатив с изображением монтажной схемы. Линии монтажных проводов на негативе прозрачны и пропускают свет; плату с наложенным на нее негативом подвергают действию яркого света, и в местах, которые должны быть покрыты металлом, эмульсия засвечивается. После соответствующей обработки (проявления, фиксирования и промывки в воде) на фольге в засвеченных местах остается слой фотоэмульсии, воспроизводящий рисунок схемы. Остальная эмульсия удаляется при промывке. Состав эмульсии таков, что она в кислоте не растворяется, поэтому при погружении фольгированной платы с рисунком из фотоэмульсии в кислоту фольга вытравливается в тех местах, которые не защищены эмульсией.

Удалять излишнюю фольгу в промежутках можно также способом плавления. Для этого на фольгированный материал накладывают штамп с негативным изображением схемы, т. е. таким изображением, у которого выпуклыми будут не проводники, а места, соответствующие промежут-

кам между ними. Штмп разогревают до температуры плавления фольги, и в момент соприкосновения его с фольгированным материалом происходит расплавление фольги в местах, где ее необходимо удалить. Там же, где штмп имеет углубления, соответствующие рисунку схемы, фольга сохраняется. В результате подобной штмповки на плате остается рисунок схемы из фольги.

Преимущества такого метода заключаются в том, что изготовление рисунка схемы и удаление излишней фольги производятся за одну операцию длительностью меньше секунды.

Другая разновидность метода фольгирования заключается в том, что фольгу наклеивают не на всю плоскость изоляционной платы, а лишь в тех местах, где должны быть расположены проводники. Достигается это соответствующими штмпами, которые одновременно вырубает конфигурацию схемы и приклеивают ее к изоляционной плате. Штмповку ведут горячим штмпом, который разогревает термопластический цемент, заранее нанесенный на внутреннюю сторону фольги, обращенную к плате.

Если взять достаточно тонкую фольгу толщиной примерно 0,05 мм, то рисунок схемы можно и не рубать. В этом случае рисунок получают горячей штмповкой. Рисунок схемы гравируют на металлическом штмпе, и в тех местах, где штмп давит на фольгу, она прочно сцепляется с платой, а там, где рисунка нет, фольга свободно счищается.

Штмповка может быть проведена и отдельно от приклеивания на плату. В этом случае схему рубают из более толстой листовой фольги и полученную рубку наклеивают на плату. В зависимости от назначения схемы фольга любой толщины может быть изготовлена из самых различных металлов и их сплавов.

Электрические качества проводников из фольги лучше, чем у обычных круглых проводов с одинаковой удельной проводимостью. При одинаковых эксплуатационных условиях проводники из фольги могут выдерживать большую плотность тока, чем круглые, т. е. провод из фольги меньшего поперечного сечения и веса может выдерживать такой же ток, как и круглый провод большего сечения. Это свойство проводников из фольги позволяет расходовать металла на 60—70% меньше, чем при объемном монтаже круглыми проводами.



По сравнению с другими методами изготовления печатных проводников метод фольгирования является одним из лучших, так как ни одним из известных методов не удастся получить такие однородные проводники, как из фольги. Проводники из фольги обладают большой гибкостью и достаточной прочностью. Это качество особенно важно при создании так называемых «сгибаемых» схем, когда плате придают цилиндрическую или другую (трехмерную) форму.

Проводники из фольги соединяются с другими проводниками и выводами навесных деталей обычными способами — пайкой или сваркой.

Сборка аппаратуры на изоляционной плате с монтажными проводниками из фольги ничем не отличается от сборки плат, изготовленных другими методами: готовая плата поступает на сборку, пайку и т. п.

### ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

При этих методах на изоляционной плате получают металлические пленки за счет восстановления металлических солей в растворе.

Осаждать на плате можно различные металлы: серебро, золото, никель, медь, железо и даже некоторые сплавы, например меди и серебра. Чаще всего для печатных схем применяют серебро и медь.

Метод химического осаждения используют главным образом в лабораториях ввиду сложности технологических процессов и экономической нецелесообразности.

Существуют два варианта получения печатных схем по данному методу. В первом случае металлическую пленку наносят на плату через трафарет только в местах, где должны быть проводники, а во втором пленкой покрывают всю плату и после получения тем или иным способом нужного рисунка излишнюю часть пленки удаляют.

Трафаретный вариант получения рисунка схемы заключается в том, что на подготовленную, как и в первом случае, поверхность платы накладывают трафарет, имеющий вырезы в тех местах, где необходимо получить металлическую пленку. Поверх трафарета заливают раствор из азотнокислого серебра, аммония и восстановителя. Из этого раствора осаждается металлическое серебро, образующее на изоляционной плате пленку в соответствии с рисунком, вырезанным в трафарете. Толщина этой пленки невелика

(около 1 мк), поэтому практически использовать полученную схему трудно. Слои пленки обычно наращивают гальваническим путем.

Одна из технических трудностей получения качественных схем заключается в том, что трафарет должен весьма плотно прижиматься к плате всеми своими точками, иначе раствор проникнет в те места, где металлической пленки не должно быть, и рисунок схемы будет нарушен. Это условие особенно трудно выполняется при сложной конфигурации печатной схемы.

Наиболее хорошие результаты получают с трафаретами разового применения. Подобный трафарет может быть изготовлен из любой защитной пленки, краски и т. п.

При втором варианте подготовленную плату с достаточно шероховатой поверхностью погружают в подогретый раствор, содержащий медный купорос, аммиак, глицерин и щелочь с добавкой какого-либо восстановителя и формалина. В качестве восстановителя применяют водный раствор сахара с добавлением азотной кислоты. Находясь в растворе в течение 20 мин, плата покрывается тонким слоем меди. Сцепление медной пленки с платой механическое, за счет шероховатости поверхности платы.

Дальнейший процесс получения рисунка схемы ничем не отличается от способов, применяемых при получении рисунка схемы методом фольгирования.

## МЕТОД РАЗБРЫЗГИВАНИЯ

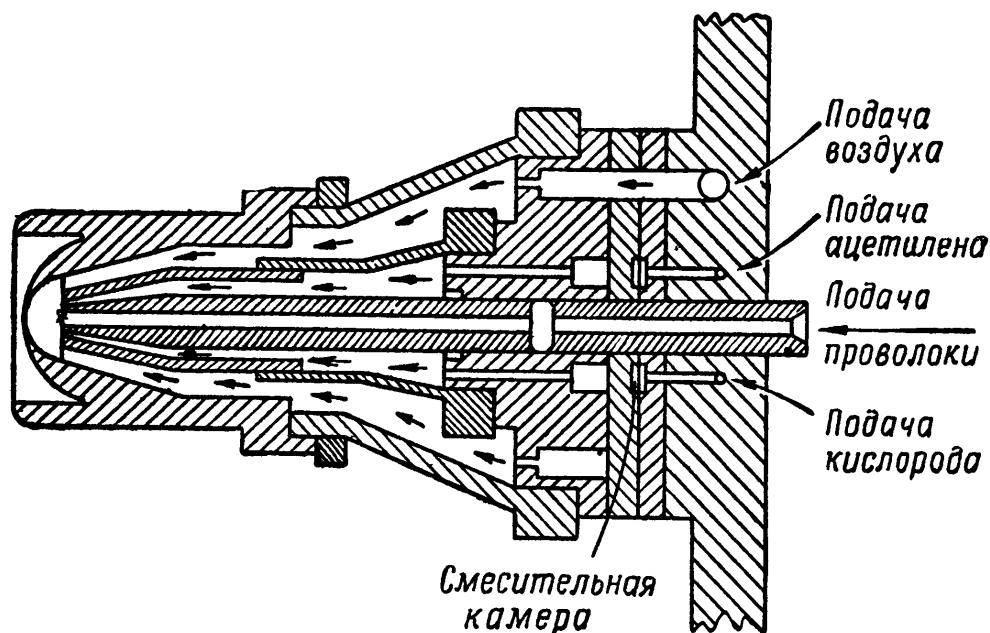
Метод получения печатных схем разбрызгиванием имеет много общего с методом окрашивания, разница лишь в том, что рисунок схемы наносят не кистью или печатным валиком, а своеобразной форсункой, напоминающей пистолет.

Этот способ покрытий широко применяют в различных отраслях промышленности. Сущность его заключается в том, что расплавленный металл или краска, подхваченные струей сжатого воздуха, вылетают в виде мелких частиц из отверстия форсунки, ударяются о поверхность платы и прочно с ней сцепляются. Для получения на плате нужного рисунка применяют трафареты.

Металл в форсунку подают расплавленным или в виде порошка. При этом используют устройства со специальной головкой (рис. 34). Металл подается твердым в виде проволоки и плавится в самой головке газовым пламенем или электричеством.



Перед нанесением рисунка плату обрабатывают пескоструйным аппаратом. Иногда обработку ведут также при помощи трафарета. В этом случае шероховатую поверхность создают не по всей плате, а лишь в тех местах, где необходимо получить слой металла. Иначе говоря, рисунок схемы выбивают на плате первоначально пескоструйным аппаратом, а затем уже в полученные канавки методом разбрызгивания через трафарет наносят металлический слой.



**Рис. 34.** Головка для распыления металла, поступающего в виде проволоки. Расплавленный в газовом пламени металл распыляется сжатым воздухом

Этот способ сочетают иногда с пайкой. Для этого после подготовки канавок и пробивки отверстий для навесных деталей на плате устанавливают детали. Их крепят по одну сторону платы на ее поверхности или в специальных углублениях, а выводы деталей располагают в канавках. На плату накладывают трафарет, затем разбрызгивают расплавленный металл. В результате металл, заполняя канавки, одновременно соединяет между собой и детали схемы.

Другой способ получения рисунка схемы состоит в сочетании разбрызгивания с последующей фрезеровкой. При этом изоляционную плату штампуют из пресс-порошка так, что рисунок схемы в виде канавок и углублений получают под штампом в процессе изготовления платы. После штамповки плату обрабатывают пескоструйным аппаратом, а затем на всю плату наносят разбрызгиванием слой металла. Металл в этом случае покрывает не только углубления, но

и выступающие части платы. Рисунок схемы полностью восстанавливается после фрезеровки. Фреза срезает верхнюю часть платы, оставляя металл только в углублениях.

Удобство этого способа заключается в том, что процессы изготовления печатной схемы можно довольно легко механизировать.

## МЕТОД РАСПЫЛЕНИЯ

Метод распыления имеет много общего с рассмотренными раньше методами. Отличие заключается лишь в способе нанесения металла. При обычном распылении металл в виде порошка напыляют через трафарет на плату, предварительно покрытую клейким составом. Иногда клеящим веществом покрывают не всю плату, а только те места, где должен быть металл, т. е. рисунок схемы наносят на плату при помощи трафарета клейким составом, а затем напыляют металлический порошок.

После высыхания клея металл остается только в тех местах, где был нанесен клей, а с остальных участков платы он свободно стряхивается.

Помимо обычного распыления, в технике печатных схем применяют распыление металла в вакууме. Это способ так называемого катодного распыления, сущность которого заключается в следующем.

Изоляционную плату помещают в вакуум (около  $10^{-3}$  мм рт. ст.) между двумя электродами, к которым приложено напряжение в несколько тысяч вольт. Первым электродом (катодом) служит металлическая пластина, сетка или стержень из того металла, который необходимо напылить на плату. Вторым электродом является анод, имеющий плоскую форму. Наиболее удобно располагать катод над анодом, так как в этом случае плату можно разместить на горизонтально расположенном аноде.

Расстояние между катодом и анодом подбирают обычно в пределах 1,5—15 см в зависимости от приложенного к электродам напряжения и геометрических размеров платы. Для получения равномерного слоя металла на плате необходимо располагать катод и плату параллельно.

При больших размерах платы приходится иметь не один, а несколько катодов. Распыляемый катод обычно делают из серебра, золота, платины, меди и др.

Под действием напряжения между катодом и анодом с катода начинают вылетать мельчайшие частицы металла и

устремляться на анод. В результате анод и плата покрываются тонким слоем металла. Такой слой обычно приходится утолщать гальваническим путем.

Кроме вакуумного распыления, печатные схемы можно получить способом вакуумного испарения. В этом случае необходима более высокая степень вакуума (до  $10^{-5}$  мм рт. ст.), но не требуется высокое напряжение.

Плату с трафаретом, как и в первом случае помещают в вакуумную камеру, где находится металл, нагретый до температуры испарения. Пары металла, осаждаясь на плате, создают рисунок схемы из тонкой металлической пленки. Металл нагревают индукционным способом током высокой частоты или при помощи подогревной спирали из вольфрамовой или другой тугоплавкой проволоки, по которой пропускают электрический ток.

Полученная способом вакуумного испарения пленка требует последующей гальванизации, так как ее толщина не обеспечивает необходимой проводимости.

Иногда вместо вольфрамовой проволоки для подогрева металла применяют электрическую дугу. Electroдами служат стержни из того металла, который требуется испарить. Испарение происходит в то время, когда под действием приложенного к стержням напряжения между ними возникает электрическая дуга.

Температура испарения металлов, пригодных для печатных схем, различна. Например, температура испарения цинка (при давлении  $10^{-2}$  мм рт. ст.) составляет всего лишь  $350^{\circ}\text{C}$ , олово испаряется при  $875^{\circ}\text{C}$ , серебро — при  $1046^{\circ}\text{C}$ , медь — при  $1269^{\circ}\text{C}$ , а температура испарения вольфрама, применяемого для разогрева металла, равна  $3232^{\circ}\text{C}$ . Как способ катодного распыления, так и способ испарения ввиду их сложности не получили промышленного применения для производства печатных схем.

В заключение следует сказать несколько слов о методе перенесения рисунка (методе декалькомании). Примером использования этого метода могут служить детские переводные картинки. Рисунок печатается на специальной бумаге и покрывается слоем клея; подобная картинка может быть приклеена на любой лист бумаги или другой предмет.

По этому же принципу делаются и печатные схемы, причем изготовление рисунка схемы ведется не на изоляционной плате, как это было в рассмотренных выше примерах, а на временном основании, например на растворимой

пленке или специальной бумаге. Изготовленную таким способом схему можно подобно переводной картинке наложить на постоянное основание — изоляционную плату или какую-нибудь деталь схемы, например на баллон электронной лампы.

Удобство такого способа заключается в том, что схема печатается на тонком листе, как печатаются обычно рисунки в полиграфической промышленности. Затем готовая схема переносится на изоляционную плату, причем плата может иметь не только плоскую, но и изогнутую, сферическую поверхность. Слой бумаги или пленки, на которой была первоначально отпечатана схема, свободно удаляется путем химического растворения, выжигания или другим подобным способом.

Рассматривая различные способы получения печатных схем, мы говорили об изготовлении монтажных проводников, соединяющих детали радиоустройства. Однако существующие способы изготовления печатных схем отнюдь не ограничиваются изготовлением соединительных проводников, аналогичным путем можно наносить на плату катушки индуктивности, сопротивления, конденсаторы, контакты переключателей, антенны, экраны и другие детали.

## ПЕЧАТНЫЕ КАТУШКИ И ТРАНСФОРМАТОРЫ

Катушки индуктивности изготавливаются теми же методами, что и проводники, т. е. методами окрашивания, печати, травления и др. Особенность их изготовления заключается в форме расположения проводников, образующих витки, и в некоторых дополнительных мерах, принимаемых для повышения индуктивности печатных катушек.

Печатные катушки бывают плоские и цилиндрические (рис. 35).

Плоские катушки представляют собой спиральную линию с выводами в центре и по периферии катушки. Часто изготавливают катушки прямоугольной и трапециевидной формы.

Катушки, полученные печатным способом, применяются в цепях низкой и высокой частоты.

Индуктивность печатных катушек зависит от количества печатных витков и размеров катушки. Катушки больших диаметров в печатных схемах не применяются потому, что плоские катушки создают значительные поля рассеяния.

Добротность печатных катушек обычно ниже добротности проволочных катушек, однако получаемые в настоящее время результаты позволяют применять печатные катушки не только в массовой, но и в специальной, например телевизионной и импульсной, аппаратуре.

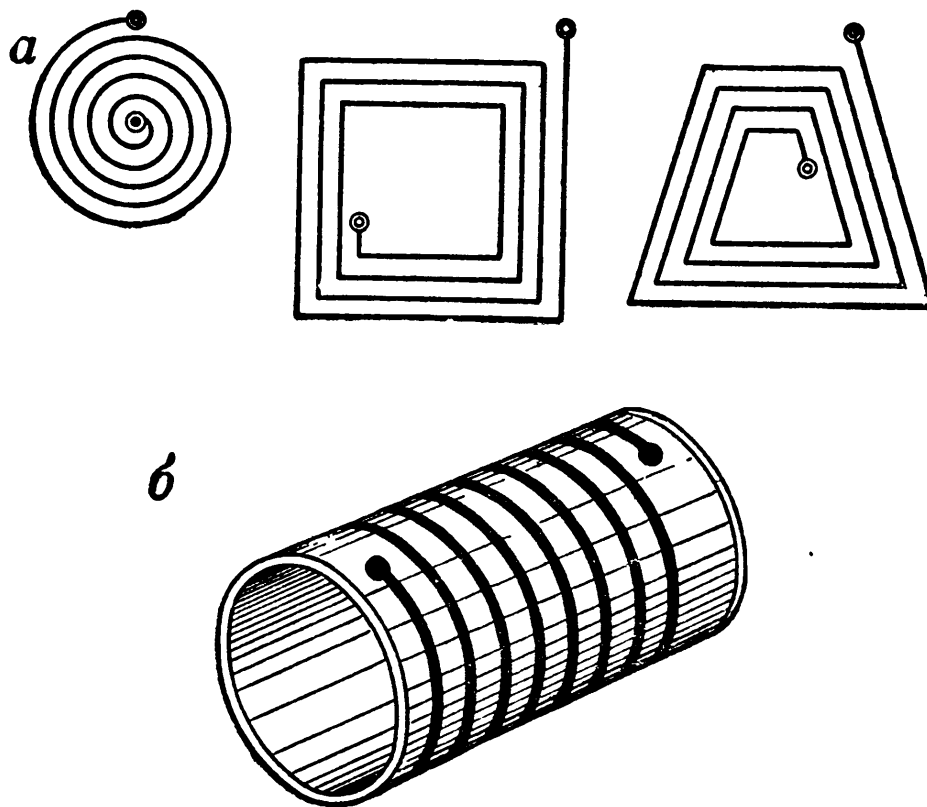


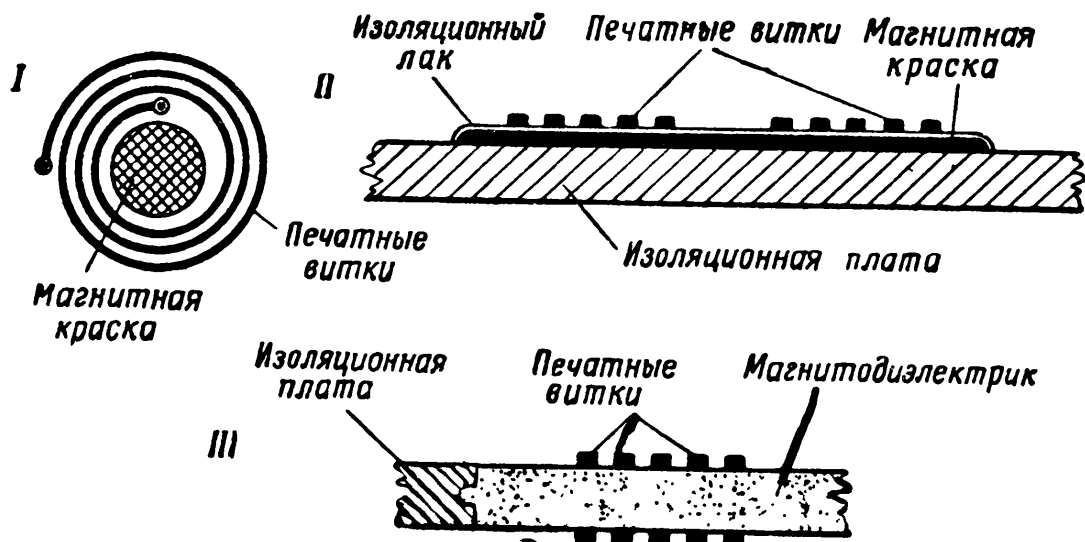
Рис. 35. Печатные катушки индуктивности:  
*a* — плоские; *б* — цилиндрическая, печатанная на керамическом цилиндре

Одним из распространенных способов повышения индуктивности печатных катушек является способ многослойной печати. В этом случае на катушку, напечатанную на плате, наносится слой изоляционного лака и на этом слое печатается вторая катушка. Этот процесс можно повторить несколько раз, увеличивая количество витков до получения необходимой индуктивности.

Другой способ повышения индуктивности заключается в применении магнитных материалов; в этом случае печатная катушка снабжается сердечником из магнитодиэлектрика, впрессованного в плату или напечатанного магнитной краской.

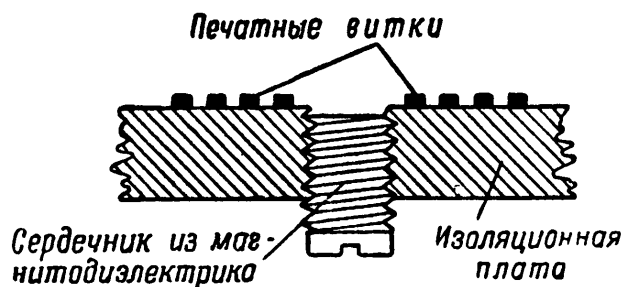
Для экранирования катушки можно наносить второй слой магнитного материала сверх витков катушки, причем между вторым магнитным слоем и витками катушки дол-

жен находиться изоляционный слой. На рис. 36 показаны некоторые виды печатных катушек с магнитными сердечниками, напечатанными магнитной краской или запрессованными в тело платы.



**Рис. 36.** Печатные катушки с магнитными сердечниками:  
 I — магнитный сердечник напечатан внутри витков катушки; II — магнитный сердечник расположен под всей плоскостью катушки;  
 III — сердечник из магнитодиэлектрика впессован в изоляционную плату

Если магнитный сердечник печатной катушки сделать подвижным (рис. 37), то такие катушки можно настраивать, поднимая и опуская сердечник.



**Рис. 37.** Печатная катушка с подвижным сердечником для настройки

Методами печатных схем изготавливаются также катушки переменной индуктивности. Достигается это при помощи подвижной металлической пластины или перемещением одной катушки относительно другой.

В первом случае катушка печатается, как обычно, на изоляционной плате, а металлическая пластина, служащая



для изменения индуктивности, располагается так, чтобы расстояние между пластиной и катушкой можно было изменять или, поворачивая пластину вокруг оси, перекрывать часть витков печатной катушки. При изменении расстояния между пластиной и катушкой индуктивность катушки будет меняться.

Переменная индуктивность с двумя катушками достигается аналогичным образом, только вместо металлической пластины используется вторая печатная катушка, расположенная не на плате, а на отдельной изоляционной пластине. Эта пластина укрепляется на плате так, чтобы ее положение относительно неподвижной катушки, напечатанной на плате, можно было изменять. Обе катушки соединяются последовательно, и при перемещении подвижной катушки общая индуктивность обеих катушек будет изменяться.

Изготовление печатными способами трансформаторов и антенн для массовых приемников во многом напоминает процесс изготовления плоских катушек.

Обмотка трансформатора может быть изготовлена из большого количества плоских печатных катушек, соединенных между собой (рис. 38). Печатаются такие катушки на тонких пластмассовых листах или на специальной лакоткани.

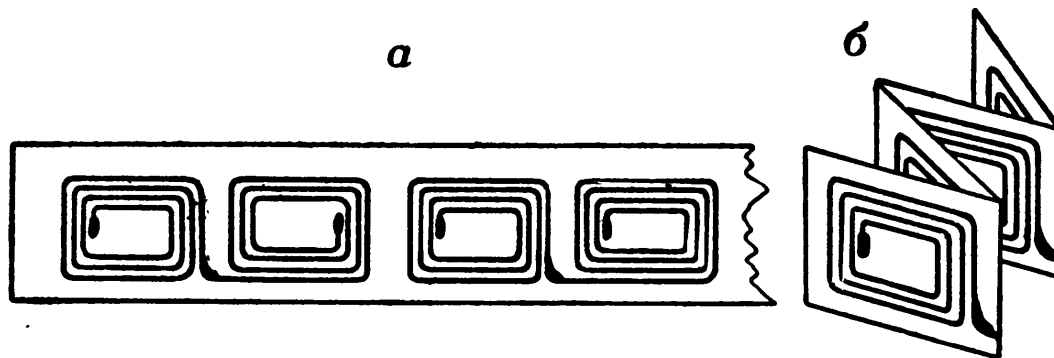


Рис. 38. Обмотка трансформатора, изготовленного печатным способом:

*a* — обмотка, напечатанная на гибком изоляционном листе; *б* — сгибание листа для получения многослойной обмотки

Одним из наиболее распространенных методов получения катушек для обмотки трансформатора является метод травления медной фольги.

В приемниках массового применения вместо обычной наружной антенны может успешно применяться антенна,

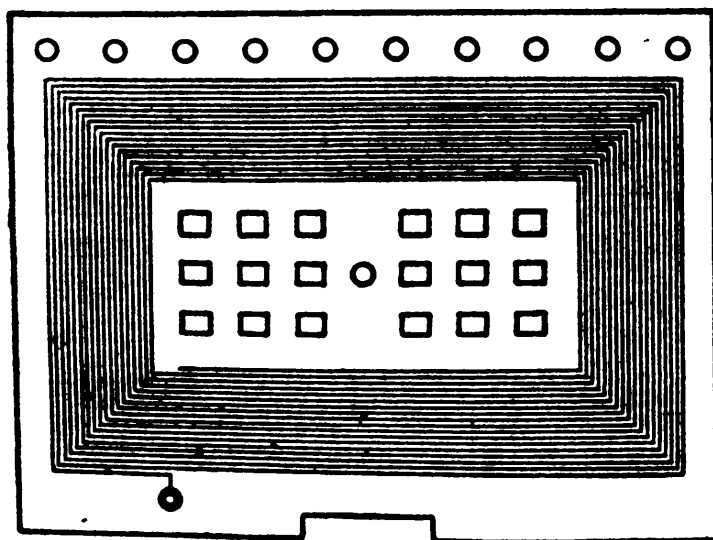


Рис. 39. Печатная рамочная антенна

помещенная внутри самого приемника (рис. 39). Она представляет собой большую спиральную катушку, напечатанную на задней или боковой стенке корпуса приемника.

### ПЕЧАТНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы постоянной емкости, применяемые в печатных схемах, представляют собой две металлические обкладки (диски), разделенные слоем диэлектрика. Диски наносятся тем же методом, что и проводники монтажной схемы.

Для получения конденсаторов хорошего качества материал диэлектрика должен обладать высокой диэлектрической проницаемостью. Если материал платы, на которой печатается схема, удовлетворяет этим требованиям, обкладки конденсатора печатаются непосредственно на самой плате с двух ее противоположных сторон.

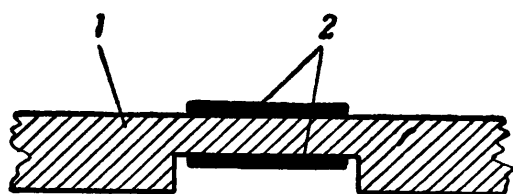
Емкость конденсатора зависит в основном от площади обкладок и толщины разделяющего их диэлектрика: чем площадь обкладок больше, а расстояние между ними меньше, тем больше емкость конденсатора.

Печатные методы изготовления конденсаторов позволяют довольно просто изменять емкость готовых конденсаторов удалением части обкладки.

Если толщина платы больше, чем должно быть расстояние между обкладками конденсатора для получения нужной емкости, то в плате выштамповывается углубление по

форме обкладки. Одна из обкладок печатается на поверхности платы, а другая — в приготовленной при штамповке выемке (рис. 40).

Так как в ряде случаев, особенно при конструировании массовой аппаратуры, применять платы из материала с высокой диэлектрической проницаемостью экономически невыгодно, приходится использовать другие способы. Наиболее рациональный из них — изготовление печатных конденсаторов на небольших керамических пластинах с последующей подпайкой их к нужным точкам схемы.



**Рис. 40.** Конденсатор, изготовленный печатным методом: 1 — изоляционная плата с углублением; 2 — печатные обкладки конденсатора

Материалом для керамических пластин служат смеси титана и других диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью.

При использовании в аппаратуре с печатными схемами навесных конденсаторов наиболее целесообразны конденсаторы на керамических дисках, так как они имеют меньшие

размеры и обладают высокими электрическими качествами. Такие конденсаторы емкостью от единиц до десятка тысяч пикофард имеют диаметр 3—12 мм.

Другой способ заключается в том, что при изготовлении плат для печатных схем в тех местах, где должны располагаться конденсаторы, впрессовываются вставки из материала с высокой диэлектрической проницаемостью. На этих вставках и печатаются обкладки конденсаторов.

Методами печатных схем можно изготовить не только конденсаторы постоянной емкости, но и полупеременные, или подстроечные, конденсаторы.

Статор 2 полупеременного конденсатора (рис. 41) печатается на изоляционной плате 1, а ротор 5 — на керамическом диске 3, который может поворачиваться вокруг оси 4 параллельно плоскости платы 1 на любой угол.

Емкость печатного конденсатора можно повысить не только увеличением площади обкладки, расположенной на одной плоскости, но и расположив обкладки одну над другой слоями, разделенными диэлектриком. Нижняя обкладка такого многослойного конденсатора (рис. 42) печатается непосредственно на изоляционной плате 1. Поверх обкладки наносится слой изоляционного лака 4, на котором печатается

тается следующая обкладка, пока не получится конденсатор заданной емкости. Обкладки соединяются между собой через одну в две группы 2 и 3.

Такая конструкция напоминает конденсатор переменной емкости с воздушным зазором, разница лишь в том, что пластины печатного конденсатора неподвижны, а изоляцией служит специальный лак.

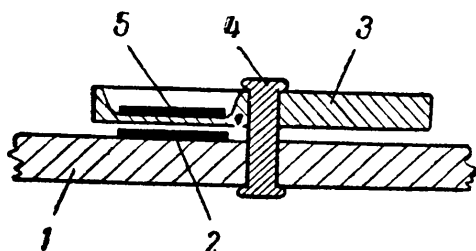


Рис. 41. Полупеременный конденсатор

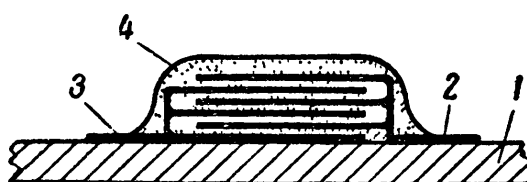


Рис. 42. Многослойный конденсатор

В технике печатных схем применяются также конденсаторы со стекловидно-эмалевым диэлектриком. Такой конденсатор представляет собой пластину, которая сама может служить основанием для изготовления печатной схемы и состоит из чередующихся металлических и изоляционных слоев, нанесенных методом разбрызгивания. После затвердения отдельных слоев конденсатор подвергается термической обработке. Готовый конденсатор имеет вид монолитной пластины из стекловидного материала.

Размеры пластины зависят от требуемой емкости и могут быть достаточными для размещения на таком конденсаторе печатной схемы. Приблизительное отношение объема конденсатора к полученной емкости составляет  $0,003 \text{ мкф/см}^3$  при рабочем напряжении 500 в постоянного тока. Конденсаторы этого типа отличаются стабильностью и могут быть изготовлены с довольно большой точностью, достигающей  $\pm 1\%$  номинальной емкости.

Нами рассмотрены только некоторые основные способы изготовления конденсаторов методами печатных схем. Естественно, что в производстве возможны различные варианты, дающие хорошие результаты в каждом конкретном случае.

Методами печатных схем можно изготавливать различные коммутационные устройства: выключатели, переключатели, кодовые диски со сложной контактной системой и т. п. На рис. 43 показана простейшая конструкция переключателя.

Методы печатных схем позволяют довольно просто получить переключатели и кодовые диски весьма сложной

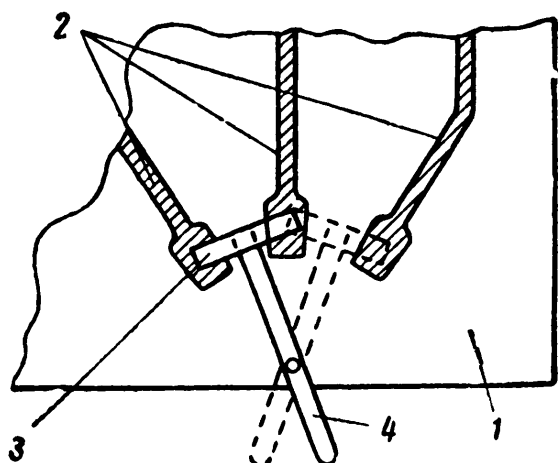


Рис. 43. Переключатель с контактами, изготовленными печатным способом:

1 — изоляционная плата; 2 — печатные контакты; 3 — замыкающая пластина, 4 — ручка переключателя

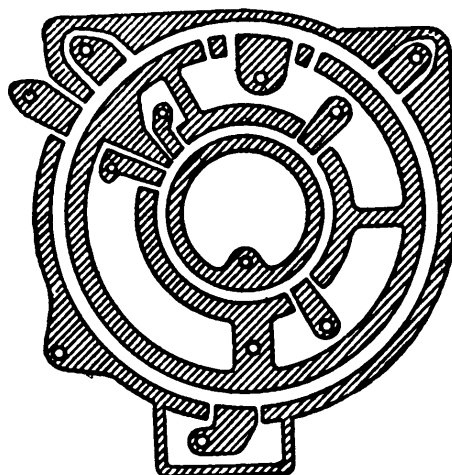


Рис. 44. Контакты сложного переключателя, изготовленные печатным способом

конфигурации с большим числом контактов (рис. 44), причем стоимость их изготовления во много раз меньше тех затрат, которые потребовались бы при изготовлении этих переключателей обычными методами.

### ПЕЧАТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Изготовление пленочных сопротивлений печатным способом отличается от описанных выше процессов главным образом составом краски. Краска для печатания сопротивлений состоит из проводящего красителя и связующего вещества. В некоторые краски добавляется наполнитель и растворитель.

В качестве красителя применяются сажа и графитный порошок для изготовления углеродистых сопротивлений и металлы или их соли, если сопротивление делается в виде тонких металлических пленок. Связующим веществом обычно служат смолы или специальный лак. Наполнителем может быть минералит, а растворителями — спирт, бензин, толуол и др.

Величина получаемого печатным способом сопротивления зависит от состава краски, толщины печатного слоя и его площади. Поэтому получить нужную величину сопротивления можно изменением состава краски или подбором толщины и площади печатного слоя. Изменять состав

краски при изготовлении сопротивлений, расположенных на одной плате, технологически нецелесообразно, поэтому чаще используется другой способ: величины сопротивлений подгоняются за счет их геометрических размеров.

Обычно для каждой конкретной печатной схемы состав краски подбирается так, чтобы, с одной стороны, можно было получить сопротивления всех номиналов, применяемых в схеме, а с другой — обеспечить надежное сцепление печатных сопротивлений с поверхностью платы.

Углеродистые сопротивления наносятся на плату методом офсетной печати или при помощи трафарета кисточкой, макетным валиком, пульверизатором и т. п.

Чтобы получить более ровный слой, краску наносят в несколько приемов: первоначально печатается первый слой, затем после просушки наносится второй и т. д. В результате общая толщина пленочного сопротивления увеличивается, а сам слой получается более равномерным. Кроме того, выбирая то или иное количество слоев, можно печатать сопротивления различных номиналов.

Сопротивления, представляющие собой тонкие металлические пленки, могут изготавливаться химическим и вакуумным методами. Для получения этих пленок чаще применяются благородные металлы, так как они не окисляются. Если тонкие металлические пленки изготавливать из других металлов, например никрома, то их необходимо покрыть лаком для защиты от окисления.

При конструировании печатных плат подбирается не только состав краски, но и конфигурация сопротивлений, обеспечивающая достаточную механическую прочность и необходимую теплоотдачу.

Если пленка, изготовленная печатным способом, имеет равномерную толщину, то ее сопротивление будет зависеть только от площади пленки. При увеличении длины прямоугольной пленки ее сопротивление увеличивается, а при увеличении ширины — уменьшается.

Зная сопротивление квадратной единицы поверхности пленки, напечатанной краской определенного состава, можно рассчитать геометрические размеры сопротивлений данной схемы. Сопротивление квадратного участка пленки зависит не от длины стороны квадрата, а лишь от удельного сопротивления и толщины слоя пленки. Расчет ведется в омах на квадратную единицу поверхности. Каждое из печатных сопротивлений предназначается для рассеяния определенной мощности, поэтому величина стороны квадрата

выбирается так, чтобы в процессе эксплуатации печатное сопротивление не перегревалось выше допустимого предела для выбранного состава краски и материала, из которого изготовлено основание печатной схемы.

На квадратный сантиметр поверхности углеродистого сопротивления, напечатанного на гетинаксовой плате, мощность рассеяния можно допустить до 0,15 *вт*, что соответствует нагреву примерно на 50° С. На керамическом основании мощность рассеяния повышается до 0,6 *вт/см<sup>2</sup>*, а температура — до 100° С.

В зависимости от состава краски сопротивление квадратной единицы поверхности колеблется от сотен до миллиона ом (рис. 45).

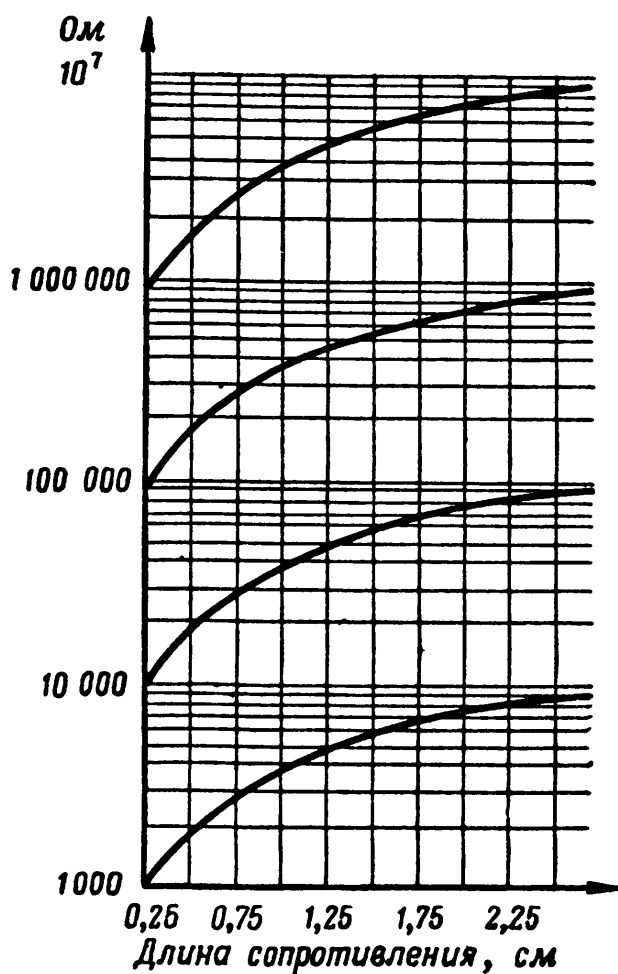


Рис. 45. График зависимости величины печатного сопротивления от его длины (каждая кривая соответствует краске определенного состава; ширина и толщина печатного сопротивления постоянны и составляют 2,5 и 0,05 мм соответственно)

Поверхность любого печатного сопротивления прямоугольной формы можно представить как сумму площадей определенного числа квадратов и таким образом высчитать общее сопротивление всего прямоугольника.

Если, по расчетным данным, длина печатного сопротивления получается больше, чем позволяет место, отведенное для него на плате, сопротивление можно расположить в виде зигзагообразной или ломаной линии.

Печатными методами изготавливаются не только постоянные (рис. 46), но и переменные сопротивления.

Переменное сопротивление состоит из печатной дугообразной полосы углеродистой или металлической пленки, по которой перемещается изготовленный отдельно ползунки. При повороте ползунка на тот или иной угол меняется величина включаемого сопротивления.

При изготовлении печатных схем методом окрашивания на плате в первую очередь печатаются монтажные провода и детали, наносимые металлической токопроводящей краской, а затем сопротивления.

Иногда вместо того, чтобы печатать каждое сопротивление отдельно, слой углеродистой краски наносится на всю поверхность платы, а затем лишняя часть пленки удаляется. Для этого после просушки краски на плату накладывается шаблон, имеющий прорезы в тех местах, где пленку следует удалить, и плата обрабатывается пескоструйным аппаратом. Струя песка снимает краску с не защищенной шаблоном поверхности платы.

Для удобства расчета площадей сопротивлений, которые надлежит оставить на плате, пользуются заранее составленными графиками, позволяющими определить раз-

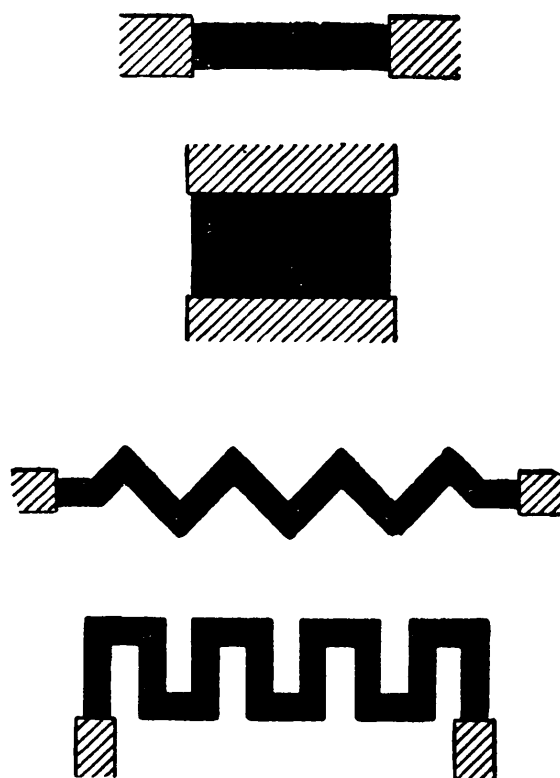


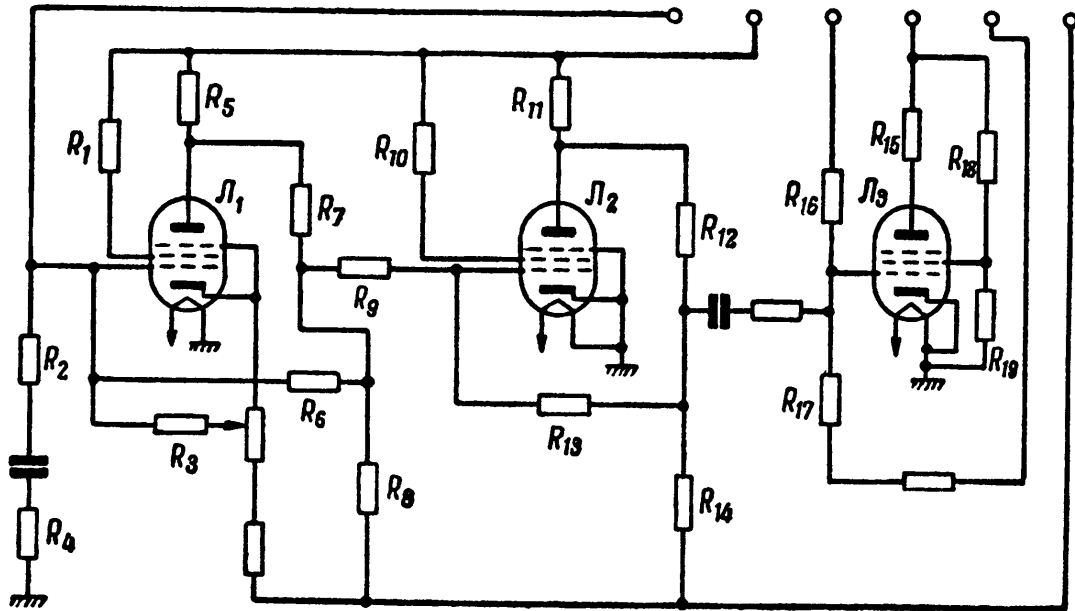
Рис. 46. Постоянные печатные сопротивления, применяемые в печатных схемах



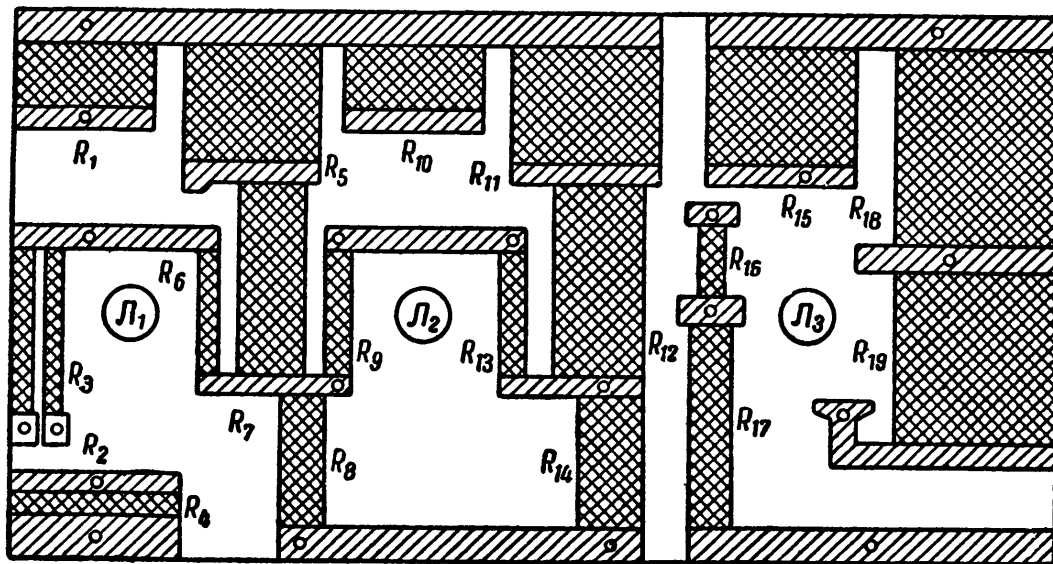
меры и форму сопротивления для различных номинальных значений.

На рис. 47 показаны принципиальная схема и печатная плата усилителя обратной связи следящей системы с сопротивлениями, выполненными описанным выше способом.

Печатные сопротивления из тонких пленок платины и золота имеют большую стабильность, чем углеродистые.



**а**



▨ - Печатные проводники  
▩ - Печатные сопротивления

**б**

Рис. 47. Усилитель обратной связи следящей системы радиолокационной станции:

а — принципиальная схема; б — расположение на плате печатных сопротивлений

Допустимая мощность рассеяния для металлических пленок также значительно больше. Это дает возможность повысить рабочие температуры до 200°C.

Переменные печатные сопротивления из пленки благородных металлов не окисляются, это позволяет значительно уменьшить по сравнению с обычными потенциометрами давление скользящего контакта и тем самым увеличить срок службы такого сопротивления.

Однако получение тонких металлических пленок значительно сложнее, поэтому чаще применяются углеродистые пленки.

Изготовленные тем или иным способом печатные сопротивления путем несложных операций подгоняют под заданный номинал. Подгонка заключается в нанесении дополнительного слоя краски или в удалении части краски механическим способом.

Сопротивление, величина которого доводится до заданного номинала, включают в мостовую схему и сравнивают с эталонным сопротивлением. В диагональ моста включают реле, управляющее работой фрезы. Как только глубина вырезов (рис. 48), делаемых фрезой, достигает требуемого размера, т. е. величины эталонного и обрабатываемого сопротивлений становятся равны, ток через реле прекращается и фреза автоматически выключается.

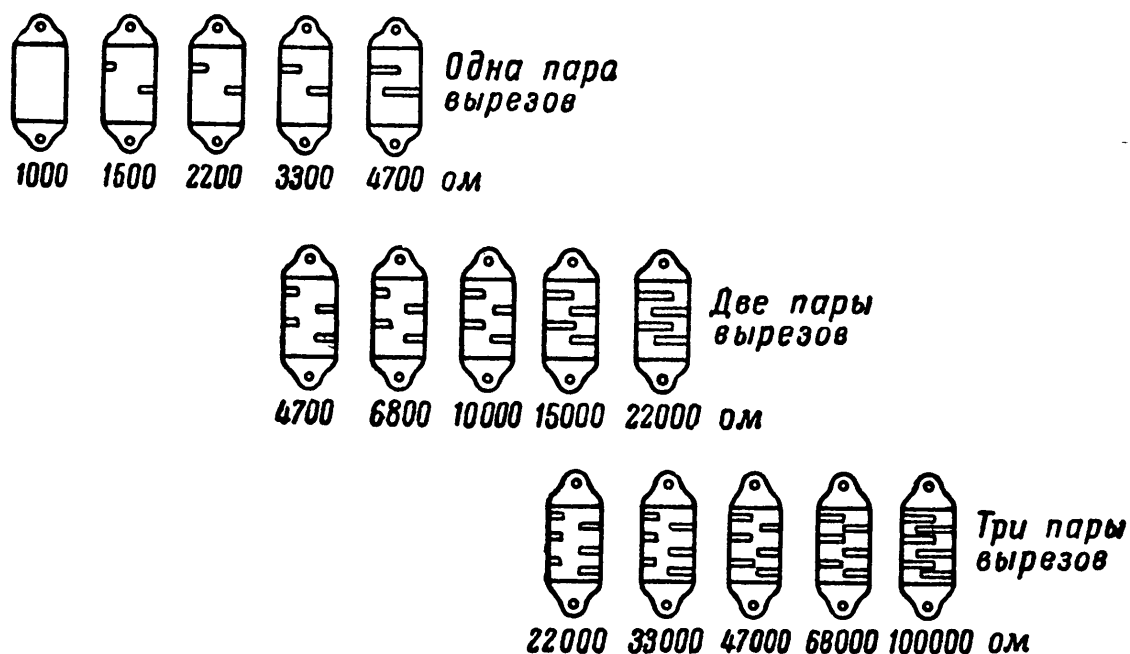


Рис. 48. Изменение величин печатных углеродистых сопротивлений увеличением глубины и количества вырезов

Весь процесс подгонки сопротивления под заданный номинал занимает около 1 мин. На одном станке может быть несколько головок с фрезами, что позволяет подгонять одновременно все сопротивления, расположенные на плате.

Из всех рассмотренных нами процессов изготовления радиодеталей методами печатных схем изготовление сопротивлений является, пожалуй, самым сложным процессом, так как малейшая неравномерность слоя краски или отклонение в составе ее приводят к значительному изменению номиналов сопротивлений, а следовательно, и ухудшению работы аппаратуры или даже к полной непригодности такой аппаратуры. Однако несмотря на эти трудности, сопротивления, изготавливаемые печатным способом, успешно применяются в промышленности в широких масштабах.

Общая технология печатных схем пока еще разработана недостаточно полно, и трудно сказать, какой из существующих методов является наиболее рациональным и качественным. Но совершенно очевидно, что методы печатных схем таят в себе огромные возможности в производственном и эксплуатационном отношении и, безусловно, являются крупным шагом вперед на пути развития радиотехники и электроники.

Уже сейчас достаточно хорошо освоены методы изготовления печатным способом монтажных проводов, катушек индуктивности, конденсаторов, сопротивлений, трансформаторов, сложных переключателей, многополюсных разъемов, волноводов, аттенюаторов, направленных ответвителей и некоторых других узлов и деталей.

К выбору метода печати, а также к применению печатных или обычных деталей следует подходить не только с технической, но и экономической стороны, определяя эффективность каждого нововведения. Возможно сочетание в одной аппаратуре различных методов изготовления печатных деталей или даже сочетание печатного и объемного монтажа, что позволит полнее использовать преимущества печатных схем.

Печатный монтаж значительно повышает надежность аппаратуры и позволяет максимально использовать пространство, отведенное для монтажа, так как печатные платы можно сгибать и располагать одна над другой, что очень важно при конструировании миниатюрной аппаратуры.



---

### III. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Одно из самых основных технологических преимуществ метода печатных схем заключается в возможности механизации и автоматизации производства радиоэлектронной аппаратуры.

Автоматизация производства позволяет резко повысить производительность труда, снизить себестоимость и брак, дает значительную экономию материалов, облегчает контроль за качеством аппаратуры, обеспечивает однотипность сборки и дает возможность быстро перестраивать автоматическую линию для выпуска разнотипной аппаратуры.

Попытки создать универсальный автомат, который от начала до конца выполнял бы весь процесс производства аппаратуры, не дали положительных результатов из-за нерентабельности такой машины. Оказалось более целесообразным сделать поточную автоматическую или полвавтоматическую линию, состоящую из целого ряда отдельных автоматов и машин, выполняющих операции последовательно.

Удобство подобной системы заключается в том, что отдельные машины конструктивно проще универсального автомата и каждую из них можно модернизировать, не нарушая работы линии в целом, а в случае выхода из строя одной машины быстро заменить ее другой. Кроме того, при изменении технологического процесса отдельные машины проще заменять более совершенными или более универсальными в отношении выполняемых операций, причем срок службы таких машин больше, чем сложного универсального автомата.

Современные автоматические линии, как правило, строятся по этому принципу с применением механизмов и машин, выполняющих поочередно отдельные этапы изготовления аппаратуры.

При конструировании миниатюрной аппаратуры часто прибегают к блочной системе, что в свою очередь позволяет упростить систему машин для автоматической сборки, так как каждый блок аппаратуры можно изготавливать отдельно.

## ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

Автоматизация производства радиоаппаратуры развивается двумя путями. Один путь — использование существующих стандартных и печатных радиодеталей с применением печатного монтажа. Другой путь — изготовление аппаратуры без применения стандартных деталей, т. е. создание принципиально новой технологии, при которой изготавливаются отдельные элементы, выполняющие определенные функции в аппаратуре, и затем эти элементы собираются в узлы и блоки.

Проектирование миниатюрной радиоаппаратуры связано с решением ряда специфических вопросов. Миниатюрные и сверхминиатюрные детали должны безотказно работать в условиях повышенной температуры, конструкция их должна быть несложной и вполне доступной для серийного изготовления. Количество деталей, примененных в той или иной аппаратуре, должно быть доведено до минимума. Если отдельные детали не удастся уменьшить до требуемого размера, необходимо пересматривать первоначальную схему и такие детали исключать.

После отработки схемы и подбора деталей производится компоновка их в одно целое, т. е. создаются макеты будущей аппаратуры. Компоновка в большой степени зависит от формы деталей, поэтому при проектировании их форму приходится изменять на более компактную в целях уменьшения размеров аппаратуры.

После решения схемных вопросов и завершения проектирования выбирается материал для платы и основных узлов в зависимости от рабочих условий аппаратуры и электрических характеристик выбираемых материалов.

Монтажные схемы изготавливаются методами, рассмотренными в разделе II. Наиболее широко применяются метод фольгирования и метод нанесения токопроводящей краски с последующим усилением рисунка химическим осаждением металла.

Кроме печатных деталей, при создании миниатюрной аппаратуры широко применяются и стандартные малога-

баритные детали, выпускаемые промышленностью. Обычно стандартные детали укрепляются на печатной плате после ее изготовления. Их часто называют навесными деталями, так как они крепятся снаружи платы — навешиваются.

Прежде чем навесные детали укреплять на печатной схеме, их необходимо разместить в соответствующих точках печатной платы. Эта операция — одна из наиболее сложных в общем процессе автоматического изготовления аппаратуры. Каждая деталь должна быть подана к печатной плате и установлена на ней в определенном порядке.

Способ подачи и размещения деталей на плате зависит от их формы и размеров и от конструкции выводов. При автоматической сборке возможны различные варианты укладки деталей. Их можно располагать параллельно плоскости платы так, чтобы выводы были перпендикулярны к плате. Если аппаратура имеет не одну, а две или более печатных плат, детали можно расположить между двумя платами перпендикулярно к плоскостям этих плат.

Детали со схемой соединяются при помощи пайки или электрической сварки. Электрическая сварка без окисления дает очень надежное соединение, но в случае необходимости заменить деталь последнюю приходится вырезать.

После сборки и регулировки аппаратуру вставляют в кожух, конфигурация которого выбирается в зависимости от размеров и формы примененных узлов и деталей и способа их охлаждения. Детали, которые в процессе работы выделяют большое количество тепла, размещают вблизи металлических элементов, способных отводить тепло, например, вблизи металлического кожуха или даже снаружи его.

Миниатюрная радиоаппаратура в большинстве случаев имеет естественное воздушное охлаждение, хотя применяется и искусственное — принудительное воздушное или даже водяное охлаждение.

В процессе автоматической сборки радиоаппаратуры на всех основных этапах производства ведется контроль за качеством узлов и деталей, но после окончательной сборки и установки в кожух аппаратуру еще раз проверяют и только тогда упаковывают и направляют на склад.

Второй путь автоматизации производства отличается от

первого тем, что взамен стандартных деталей используются специально сконструированные узлы и под сборки (подборка — совокупность нескольких элементов, предназначенных для выполнения определенного процесса).

Проектирование включает в себя не только электрические расчеты и создание принципиальной схемы, но и проектирование отдельных элементов подборок и функциональных узлов.

Образец под сборки показан на рис. 49. В этой под сборке проводники получены путем горячей запрессовки серебряного порошка в изоляционную плату, а сопротивления — запрессовкой гранулированного углерода.

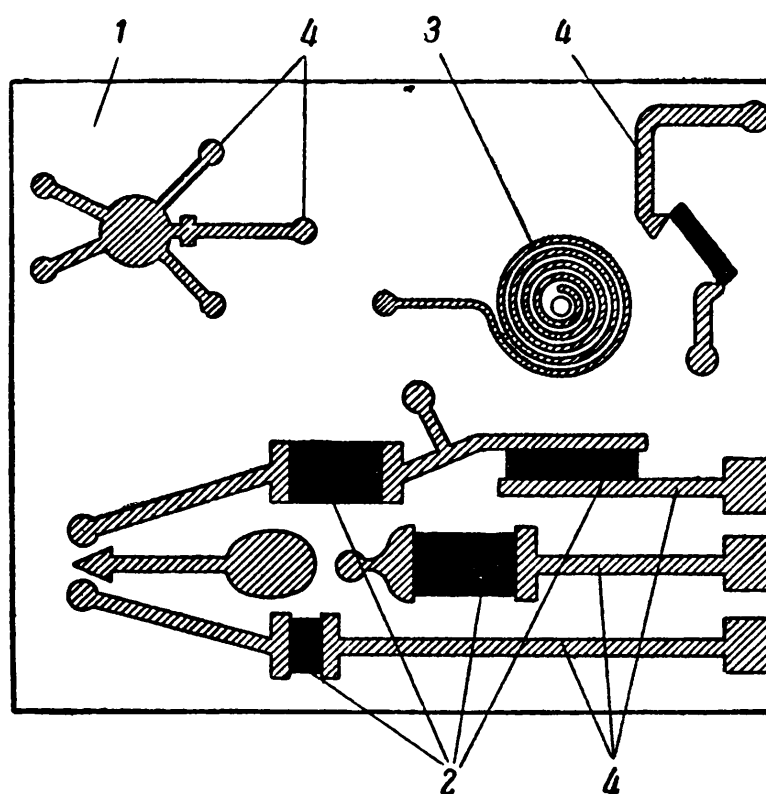


Рис. 49. Подборка:

1 — изоляционная плата небольших размеров, 2 — печатные сопротивления, 3 — печатная катушка индуктивности; 4 — печатные проводники

Выбор материалов при этом методе изготовления аппаратуры приобретает особо важное значение, так как, отказавшись от стандартных деталей, можно широко использовать новые материалы и применять такие процессы, которые наиболее удобны при автоматическом производстве аппаратуры.

Материалом для плат и деталей служат различные

сорта керамики, тефлон, углерод, смолы, асбест и др. Помимо использования новых материалов, можно по-новому подойти к компоновке узлов и подсборок, что в свою очередь позволит еще больше уменьшить габариты аппаратуры.

Автоматизация производства требует создания единого технологического процесса. Если при использовании готовых стандартных деталей необходимо было разрабатывать только технологию их сборки и соединения между собой, то при втором способе изготовление функциональных узлов и подсборок и сборка схемы идут одним непрерывным процессом на автоматической линии. При этом отдельные узлы и подсборки проектируются так, что время их изготовления на автоматической линии должно быть примерно одинаковым. Это необходимо для равномерной работы автоматической линии и сокращения количества параллельных операций.

Технологический процесс строится так, чтобы последующие операции (например, нагрев, прессовка, сварка и т. п.) не оказывали вредного влияния на ранее изготовленные детали. Номинальные величины деталей контролируются также автоматически в процессе их изготовления.

Регулировка, настройка и упаковка готовой аппаратуры также производятся автоматически, без участия человека.

## **АВТОМАТИЧЕСКИЕ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ**

Существующие автоматические и полуавтоматические линии для изготовления радиоэлектронной аппаратуры строятся как по первому, так и по второму принципу, однако чаще встречаются линии, работающие с использованием стандартных навесных деталей, монтирующихся на печатной плате.

Наряду с автоматическими создаются и полуавтоматические линии, где частично применяется ручной труд в основном для установки навесных деталей.

Автоматизации производства радиоаппаратуры уделяется большое внимание у нас и за границей, главным образом в США и в Англии.

В Англии, например, первая автоматическая линия была создана в 1943 г. На этой линии собирался бата-



рейный миниатюрный приемник супергетеродинного типа на четырех лампах. Все детали приемника, за исключением ламп, динамика и футляра, изготавливались при помощи машин. Производительность этой линии составляла 180 приемников в час.

В США полуавтоматическая линия появилась в 1945 г. На этой линии собирались радиовзрыватели для артиллерийских снарядов. Изоляционной платой радиовзрывателей служила керамика. Схема на керамику наносилась токопроводящей краской через трафарет, после чего плата термически обрабатывалась, т. е. токопроводящая краска вжигалась в керамику, чем достигалось прочное соединение печатных проводников с керамической платой. В дальнейшем эта полуавтоматическая линия была приспособлена для изготовления приборов для плохо слышащих.

У нас работы по производственному освоению печатных схем и автоматизации производства радиоэлектронной аппаратуры начались вскоре после окончания Отечественной войны. Первая полуавтоматическая линия была создана для производства портативных приемников типа «Дорожный».

В приемнике «Дорожный» применялась печатная плата с навесными деталями. Линия по производству печатных плат была составлена из отдельных машин и механизмов, последовательно выполняющих ряд технологических операций.

Основание для печатной схемы изготовлялось из листового гетинакса толщиной около 2 мм. Листовой гетинакс, разрезанный на заготовки определенного размера и подогретый до температуры 80°, подается на штамп, вырезающий контур платы и часть отверстий. Затем заготовки поступают в загрузочный бункер, а оттуда одна за другой подаются в пескоструйную камеру.

Последняя представляет собой металлический кожух с отверстиями для входа и выхода платы. Внутри камеры помещены сопла, из которых под большим давлением вылетает струя мелкой кварцевой пыли. Плата, продвигаясь в камере, обрабатывается этой струей. Для более равномерной обработки плат сопла слегка покачиваются в вертикальной плоскости. После пескоструйной обработки плата обдувается сжатым воздухом для окончательного

удаления кварцевой пыли и снятых с платы частиц гетинакса.

Из пескоструйной камеры плата поступает на офсетный печатный станок для нанесения рисунка схемы. В отличие от обычных офсетных станков станок, примененный на полуавтоматической линии, имеет не горизонтальные, а вертикальные печатные валики, причем они расположены так, что плата проходит между двумя печатными валиками и схема печатается одновременно с обеих сторон платы.

Для получения хорошего рисунка печатный валик должен плотно прижиматься к плате. Для этого давление валика на плату должно составлять около  $25 \text{ кг/см}^2$ , а общее давление валика на плату приемника «Дорожный» равно примерно 800 кг.

Печатный станок закрыт со всех сторон и имеет только два отверстия: одно для подачи плат к станку, другое для выдачи отпечатанной платы. С печатного станка плата по конвейеру поступает на химическую и гальванопластическую обработку для наращивания металлического слоя печатной схемы. Эта обработка производится в нескольких ваннах. Платы перемещаются в ваннах непрерывно при помощи конвейерной ленты в виде цепи Галля со специальными зажимами, удерживающими плату в вертикальном положении.

Ванны представляют собой стальные сосуды сварной конструкции, облицованные внутри винипластом. В последней ванне печатная схема покрывается сплавом свинца с оловом, затем платы промываются, высушиваются горячим воздухом и поступают в приемный бункер.

На готовой плате (рис. 50) офсетным способом печатаются только монтажные провода, а сопротивления наносятся при помощи трафарета и накатных валиков. Остальные детали схемы (конденсаторы, лампы, ламповые панели, силовой трансформатор и др.) применяются обычного типа и монтируются на плате вручную. Навесные детали с печатной схемой соединяются пайкой методом погружения.

Линией по изготовлению печатных плат управляет дежурный техник со специально оборудованного пульта. Линия запускается нажатием кнопки, а дальнейшие операции по пуску и остановке отдельных участков производятся автоматически, при помощи электронных реле и фотоэлементов.

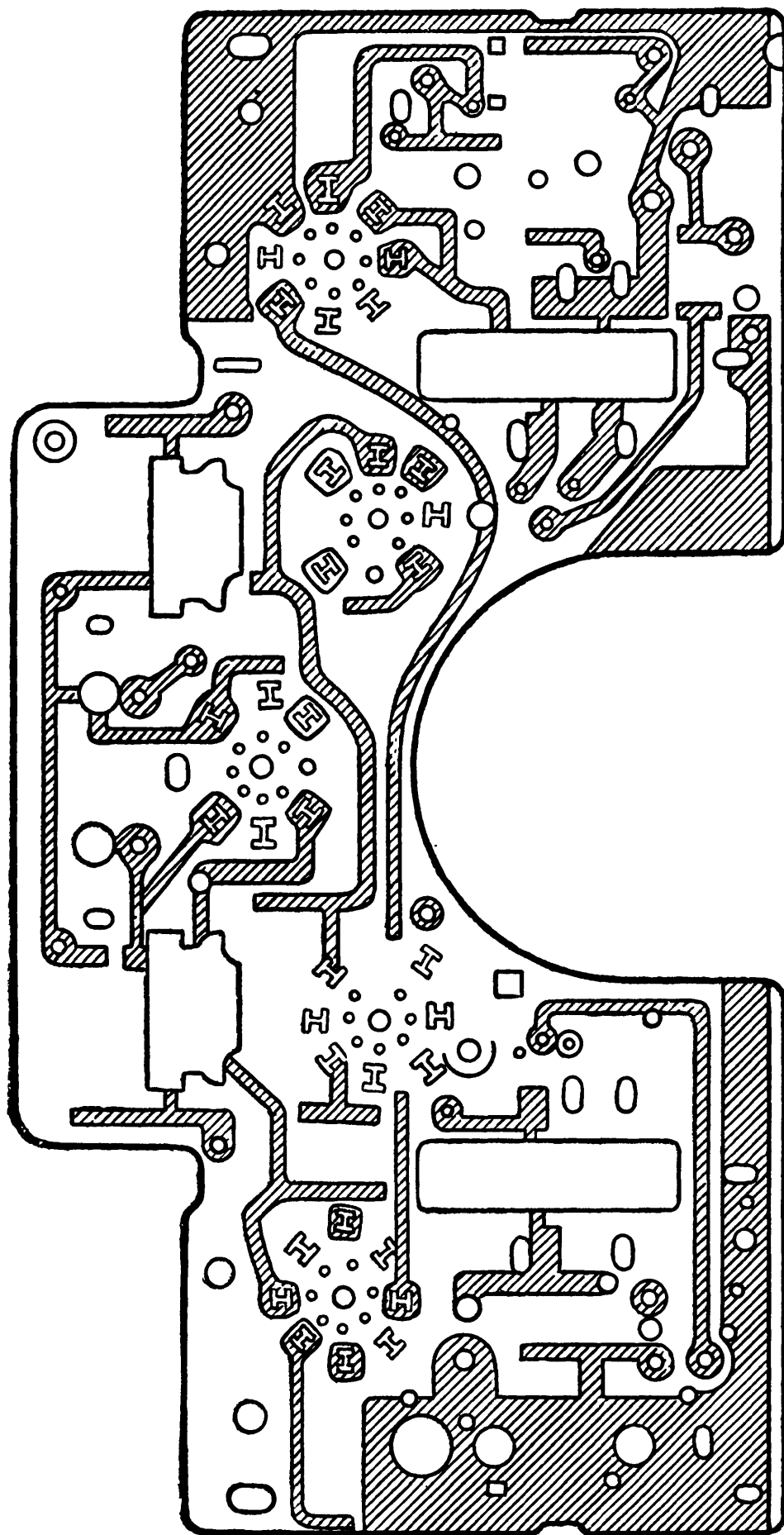


Рис. 50. Печатная плата приемника «Дорожный»

Работа линии контролируется при помощи световой сигнализации, позволяющей следить не только за своевременным включением того или другого участка линии, но и за состоянием этих участков в течение всего технологического цикла.

Производительность такой линии около 4500 плат в сутки при трехсменной работе.

В США был разработан проект автоматической линии для изготовления блока детектора АРУ радиолокационной

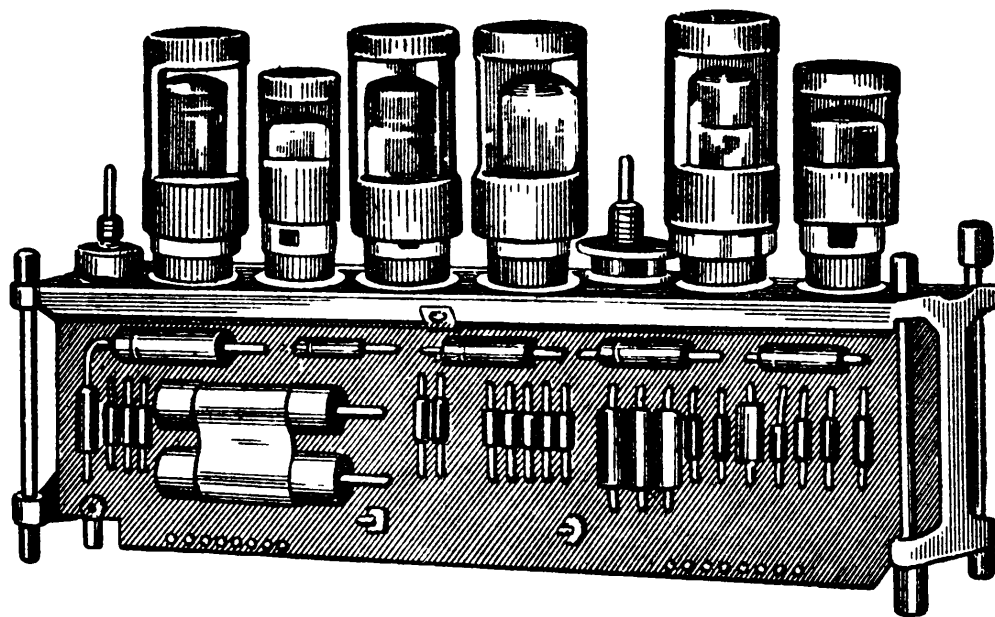


Рис. 51. Блок детектора АРУ радиолокационной станции, выбранный в качестве опытного образца для автоматической линии

станции. Блок (рис. 51) состоит из электронных ламп, сопротивлений и конденсаторов, смонтированных на двух печатных платах, закрепленных при помощи заклепок в металлическом каркасе. Печатные схемы блока выполняются методом травления медной фольги.

Автоматическая линия состоит из ряда механизмов и приспособлений, выполняющих определенные технологические операции.

В начале линии заготавливаются платы из фибростекла, пропитанного этоксилином. Листы пластмассы площадью около  $1 \text{ м}^2$  поступают на штамп, вырубавший платы размером  $185 \times 230 \text{ мм}$ , но окончательно их не разделяющий. Затем между отдельными платами вырубается канавка и только после обклейки пластмассы медной

фольгой платы, выштампованные из одного листа, разделяются между собой.

Со штамповального пресса заготовки поступают на обклеечную машину (рис. 52), где на пластмассу наклеивается медная фольга толщиной 0,025 мм. Фольга, смазанная клеящим веществом, плотно прижимается к пластмассовой плате нажимными валиками и надежно соединяется с пластмассой.

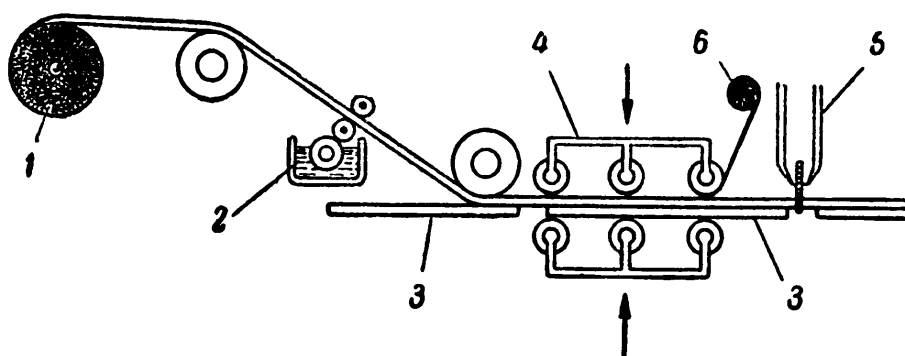


Рис. 52. Схема работы обклеечной машины:

1 — рулон медной фольги с защитной пленкой; 2 — клеящее вещество; 3 — изоляционные платы; 4 — прижимной механизм; 5 — нож для разрезания ленты из фольги; 6 — устройство для снятия защитной пленки

Обклеенные фольгой платы отделяются одна от другой механическим ножом и попадают на пресс для пробивки всех отверстий для навесных деталей и монтажа. Затем методом распыления на фольгированную поверхность через трафарет кислотоупорным составом наносится рисунок схемы. Металлический трафарет плотно прижимается к поверхности платы при помощи магнитного патрона. Кислотоупорным составом служит смесь воска и флюса.

Плата с нанесенным на нее рисунком схемы, двигаясь в тележке по конвейеру, попадает на химическую обработку, а снятый трафарет промывается, сушится и перемещается на следующую плату.

Для травления плата погружается в ванну с раствором азотной и уксусной кислоты.

После травления платы тщательно промываются водой и поступают в ванну с нейтрализующим раствором, затем вторично промываются и сушатся горячим воздухом.

Высушенная плата поступает на заклепочную машину для установки на нее металлических контактов.

С заклепочной машины плата попадает на укладочную машину (рис. 53), являющуюся по существу основной составной частью автоматической линии. Назначение этих

машин — укладывать на плату 5 сопротивления и конденсаторы. Таких машин на линии три.

Проверенные конденсаторы и сопротивления загружаются в соответствующие воронки 2. В одни воронки загружаются сопротивления, в другие — конденсаторы. Из воронок 2 по желобам 3 сопротивление или конденсатор в

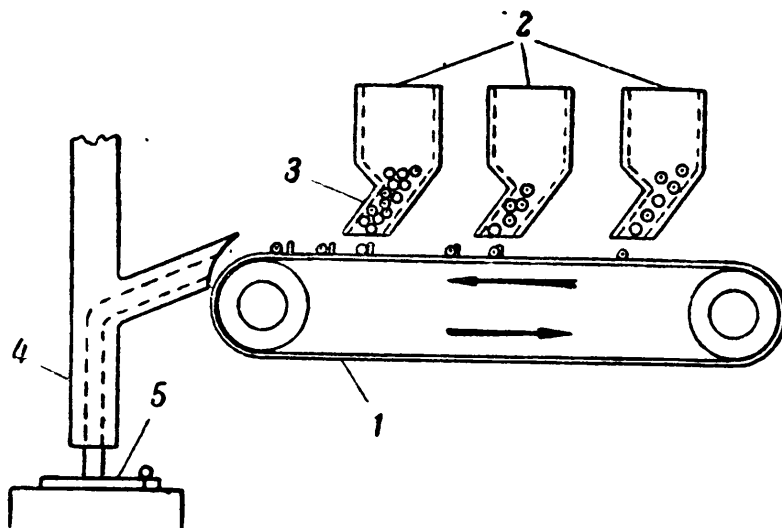


Рис. 53. Схематическое устройство укладочной машины

нужный момент выпадает на ленту 1 конвейера и подается к укладочной головке 4 машины.

Укладочные головки (рис. 54) выполняют последовательно ряд операций: распрямляют проволочные выводы деталей, обрезают их до нужного размера и изгибают под прямым углом к оси конденсатора или сопротивления, после чего укладывают детали на определенное место, вставляя одновременно выводы в отверстия платы, затем вторично загибают выводы снизу платы. В таком же порядке укладываются сопротивления и конденсаторы схемы, имеющие небольшие размеры. Время установки одной детали составляет около 0,5 сек.

После укладки мелких деталей на плату автоматически приклепываются монтажные скобы для крепления более крупных конденсаторов.

Техника укладки деталей точно такая же, как и в первом случае. Укладочная головка выпрямляет, обрезает и загибает выводы и, кроме того, загибает монтажные скобы.

Следующая операция, выполняемая автоматической линией, — установка ламповых панелей. Для этой цели на линии предусмотрены две машины (рис. 55), закрепляющие на плате семи- и девятиштырьковые ламповые панели.

Ламповые панели 2 из загрузочного бункера подаются по системе 5 на поворотный стол 4 и при помощи головки 3 вставляются и закрепляются в соответствующем отверстии платы 1.

Затем плата перемещается к следующей машине, устанавливающей потенциометры. Принцип действия этой машины аналогичен принципу действия машины, устанавливающей ламповые панели.

Установкой потенциометров заканчивается цикл сборки деталей на плате, и плата направляется на пайку. Те части схемы, которые не нуждаются в пайке, предохраняются шаблоном.

Электрические соединения, полученные после пайки, проверяются на испытательной установке.

После проверки и отбраковки годные платы, двигаясь далее по линии, проходят ряд последовательных механических операций. При помощи одного пресса на плату устанавливаются вспомогательные держатели со шпильками, которые входят в отверстия платы под действием пресса, а другой пресс удаляет перемычки между канавками на плате.

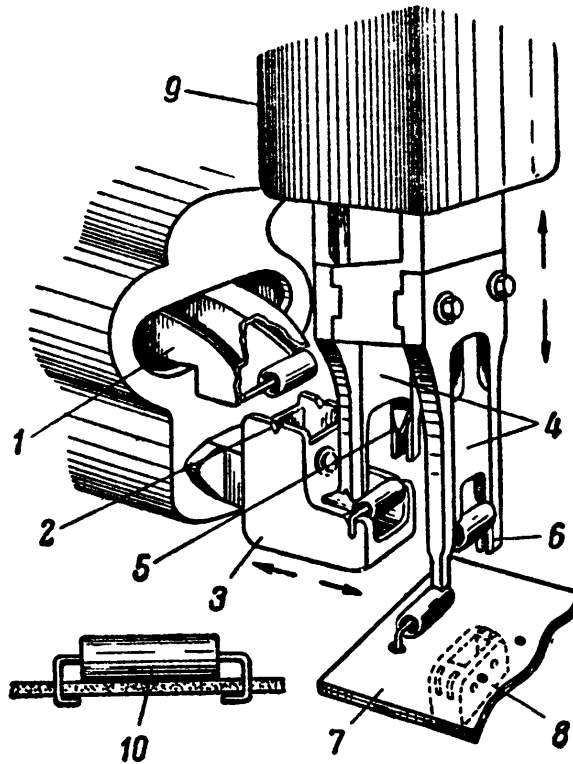
Затем платы поступают на следующую машину, где на них с обеих сторон надеваются шаблоны и методом распыления наносится защитное покрытие на открытые участки деталей и схемы, после чего платы приклепываются к металлическому каркасу.

Следующая машина снимает с плат вспомогательные держатели. Собранный блок поступает в печь для просушки защитного покрытия. Просушенные блоки направляются к монтажной машине, которая устанавливает боковые трубчатые стойки для увеличения жесткости и ввертывает крепящие винты в каркас.

Лампы в готовый блок вставляются также автоматически. Они подаются на поворотный стол машины и патроном вставляются в гнезда панелей.

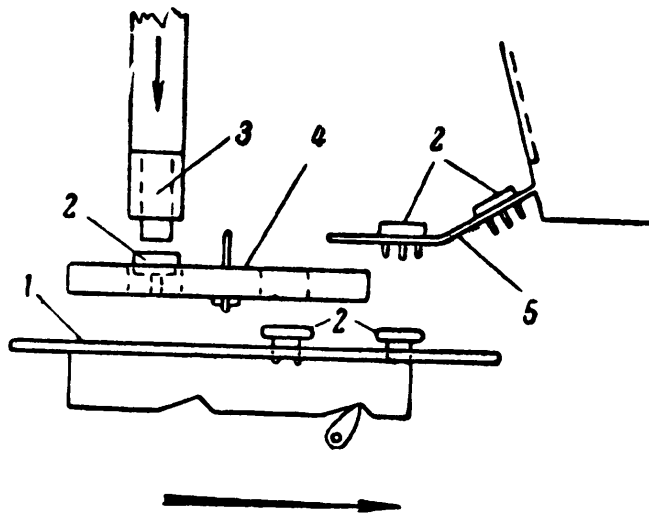
Аналогичные машины надевают на лампы металлические экраны, после чего готовый блок с лампами поступает на установку, где проверяются все электрические характеристики блока в рабочем состоянии.

Проверенные блоки направляются в упаковочную машину, завершающую изготовление блока на автоматической линии. Здесь блоки укладываются в картонную коробку, на которую наклеивается этикетка.



**Рис 54.** Укладочная головка:

1 — желоб с направляющими для подачи деталей; 2 — оправка для загибания выводов; 3 — качающаяся часть головки; 4 — механизм для подрезки выводов деталей; 5 — механизм для загибания выводов; 6 — механизм для укладки деталей; 7 — плата; 8 — механизм для закрепления деталей (расположен под платой); 9 — корпус укладочной головки; 10 — деталь, закрепленная на плате



**Рис. 55.** Схематическое устройство машины для установки ламповых панелей



Другой тип автоматической линии — это линия, разработанная Национальным бюро стандартов США для производства аппаратуры пакетной конструкции.

Общая площадь, занимаемая механизмами этой линии, составляет около 900 м<sup>2</sup>. Примерно половина площади занята непосредственно механизмами для изготовления и сборки пакетов, а другая половина — оборудованием, выполняющим вспомогательные функции (изготовление керамических плат, ламповых панелей, ленточных сопротивлений и т. п.).

Особенность аппаратуры пакетной конструкции заключается в том, что основные элементы схемы изготавливаются на стандартных керамических платах. Платы имеют квадратную форму (рис. 56), длина стороны платы 22,2 мм, а толщина 1,6 мм. Края платы имеют фигурные вырезы для последующего монтажа отдельных плат в пакеты, из которых собираются блоки аппаратуры. Пакет из 4—6 керамических плат выполняет функции одного или нескольких каскадов электронной схемы.

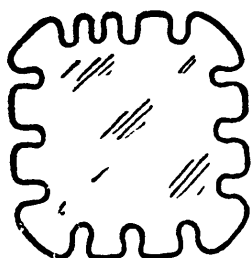


Рис. 56. Стандартная керамическая плата

Пакеты изготавливаются и собираются автоматически на поточной линии, а монтаж блоков из готовых пакетов производится отдельно также при помощи механизмов. Качество изготавливаемой продукции проверяется специальными машинами, программа действий которых задается заранее и оформляется в виде перфорированных карточек для каждой из однотипных плат.

Производство аппаратуры пакетной конструкции начинается с изготовления стандартных керамических плат (галет). Галеты штампуются из стеатита. Производительность штамповочной машины — 2800 галет в час. Отштампованные галеты направляются в печь на обжиг, откуда поступают на механический контроль.

Стандартная галета имеет округленные углы и по три прорези на каждой из ее сторон. Прорези предназначаются для укладки монтажных проводов, соединяющих отдельные галеты между собой. Одновременно монтажные провода служат механическим каркасом пакета. На одной из сторон галеты, помимо монтажных прорезей, делается направляющий вырез для правильной ориентации галет при сборке в пакеты.

На стандартных галетах (рис. 57) размещаются различные детали: сопротивления, конденсаторы, ламповые панели, потенциометры и т. п.

Монтажные провода на поверхности галет печатаются токопроводящей серебряной краской с последующим вжиганием. Печатным способом изготавливаются и некоторые детали пакетных блоков, а также металлические обкладки конденсаторов, контактные выводы сопротивлений и др. Одновременно серебрятся и боковые вырезы галет. После вжигания металлизированная поверхность покрывается тонким слоем припоя.

Помимо деталей, напечатанных непосредственно на поверхности галет, применяются также детали, изготовленные на вспомогательных участках линии, которые затем впрессовываются в галеты. К таким деталям относятся, например, ленточные сопротивления, керамические конденсаторы и др.

Ленточные сопротивления изготавливаются из смеси сажи и графита со смолой и растворителем. Очень мелко размолотая смесь равномерным слоем наносится на термоустойчивую асбестовую ленту. Поверх слоя графитовой смеси для защиты нанесенного слоя от механических повреждений накладывается полиэтиленовая лента. Полученная таким образом слоистая лента разрезается на более узкие полосы длиной около 25 м и свертывается в рулоны. Из такого рулона можно получить до 10 000 сопротивлений с номиналами от единиц до десятков миллионов ом.

Изготовление керамических конденсаторов сводится к составлению керамической массы, формовке и обжигу. Материалом для составления массы служат титанаты бария, магния, кальция или стронция, связующее вещество и вода. Состав массы меняют в зависимости от того, какие номиналы конденсаторов необходимо получить. Сформованные конденсаторы поступают на обжиг. Готовый

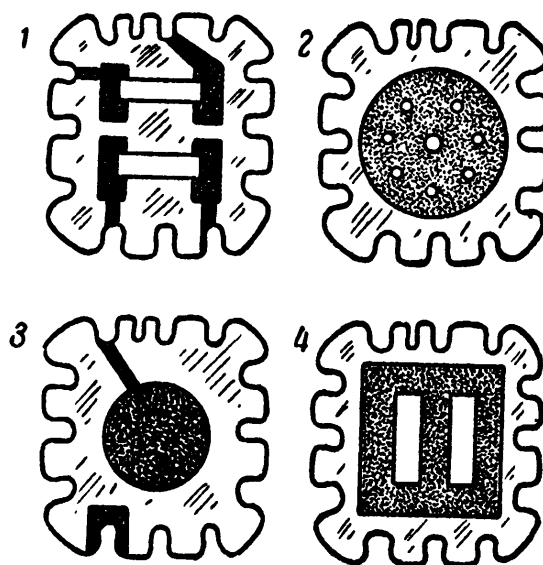


Рис. 57. Стандартные галеты с напечатанными деталями:

1 — сопротивления; 2 — ламповая панель; 3 — конденсатор; 4 — сердечник трансформатора

конденсатор представляет собой квадрат, сторона которого 12,7 мм и толщина 0,5 мм.

Кроме ленточных сопротивлений и керамических конденсаторов, на галетах монтируются также стеатитовые ламповые панели и другие миниатюрные детали.

Готовые галеты загружаются в вибрационные воронки, откуда поступают на дальнейшую сборку. На пути движения галет расположены четыре окна одно за другим. У каждого из окон помещен направляющий штифт. Если галета движется правильно, то направляющий штифт входит в направляющий вырез, имеющийся только с одной стороны галеты, и галета проходит через окно; если же галета ориентирована неверно, то направляющий вырез со штифтом не совпадает и галета проходит мимо первого окна, одновременно повернувшись на 90°. Если и во втором окне вырез не совпадает с направляющим штифтом, то галета передвигается к третьему окну, повернувшись еще на 90°. Так, поворачиваясь каждый раз на 90°, галета доходит до четвертого окна. Галеты, не прошедшие ни в одно из четырех окон, возвращаются в исходное положение, и весь процесс повторяется сначала.

В результате работы такой системы из вибрационных воронок галеты поступают на конвейерную ленту в строго определенном положении, т. е. ориентированные направляющим вырезом в одну сторону и повернутые одинаковыми сторонами вверх. Количество поступающих на конвейер галет регулируется фотоэлементами.

После того как все необходимые для данного пакета типы галет изготовлены, они поступают на очередную машину, монтирующую пакеты из отдельных галет. Эта машина имеет шесть вибрационных укладочных головок, из которых галеты с различными деталями в определенной последовательности поступают в укладочное устройство для сборки галет в пакеты. В вырезах, расположенных по краям галет, укладываются толстые монтажные провода и припаиваются к галетам. В результате получается прочный пакет из 4—5 галет, скрепленных между собой двенадцатью монтажными проводами. В тех местах, где по электрической схеме не должно быть соединений между соседними галетами, монтажные провода вырезаются.

Готовые пакеты подвергаются электрической проверке и поступают на дальнейшую сборку в блоки.

Пропускная способность автоматической линии более 20 000 пакетов в сутки.

Качество отдельных деталей и правильность электрических соединений проверяется автоматически, путем сравнения с эталонными деталями и контрольными схемами.

Программа контроля задается заранее и оформляется в виде перфорированных карточек, сопровождающих галеты на протяжении всего технологического цикла.

Готовые пакеты, состоящие из набора галет (рис. 58), представляют собой отдельные каскады электронной схемы. Блок может содержать до десяти пакетов. Например, шестилампный радиоприемник состоит из шести пакетов.

Пакеты монтируются в блоки на изоляционной плате или между двух плат, как показано на рис. 59.

Отдельные пакеты соединяются в общую электрическую схему блока следующим образом. На изоляционной плате, предназначенной для монтажа пакетов, делается соединительная монтажная схема методом фольгирования, и выводы от отдельных пакетов при помощи этой схемы соединяются в единое целое.

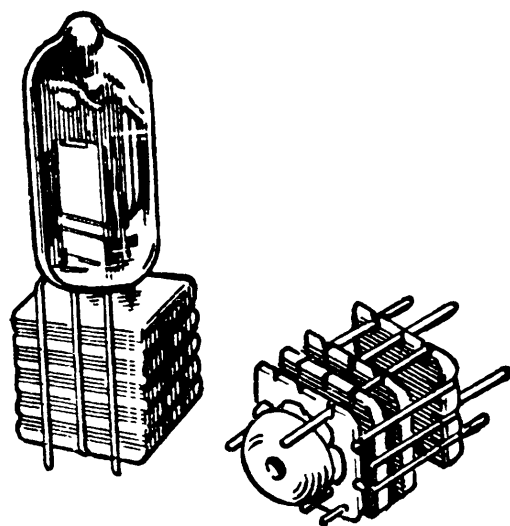


Рис. 58. Пакет

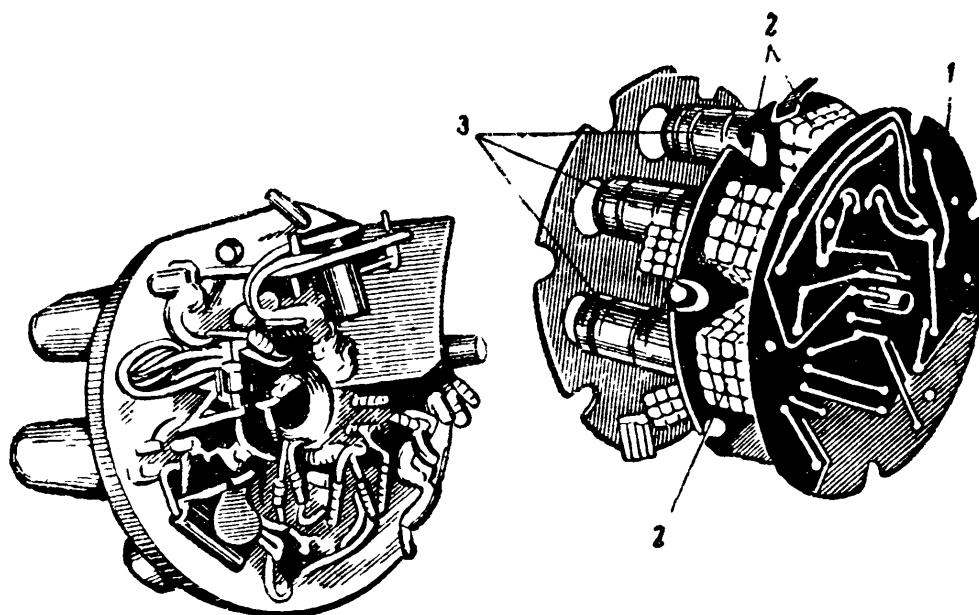


Рис. 59. Блок пакетной конструкции:

1 — изоляционные платы. 2 — пакеты из керамических галет;  
3 — лампы

Мы рассмотрели только некоторые из существующих способов автоматического производства радиоэлектронной аппаратуры, и ясно, что этими способами далеко не исчерпываются богатые возможности автоматизации производства.

Вопросам создания автоматических линий уделяется большое внимание и, несмотря на то что пока еще нельзя с уверенностью сказать, какой из существующих путей автоматизации окажется наиболее надежным и рентабельным, совершенно очевидно, что удовлетворить быстро растущие потребности в радиоэлектронной аппаратуре можно только за счет автоматизации радиотехнической промышленности.



---

## IV. МИНИАТЮРНАЯ РАДИОАППАРАТУРА

Успехи радиотехнической промышленности в области конструирования миниатюрных радиодеталей, применения полупроводниковых приборов и создания новой технологии производства позволили значительно сократить размеры и вес радиоэлектронной аппаратуры. Сейчас уже разработано немало конструкций миниатюрных размеров, при этом в ряде случаев миниатюрные приборы имеют лучшие технические характеристики, чем аппаратура обычных размеров.

Существует много оригинальных конструкций миниатюрной аппаратуры, например карманные передатчики и приемники, приемники, помещающиеся в футляре ручных часов, в оправе очков и т. п.

Задача радиотехнической промышленности заключается в освоении массового производства миниатюрной аппаратуры, отличающейся не только малыми размерами и хорошим качеством, но и дешевизной. Решение этой задачи требует от инженеров и конструкторов не только умело использовать существующие достижения в области создания полупроводниковых приборов, миниатюрных радиодеталей и печатных схем, но и творчески развивать их, сочетая преимущества новых деталей с передовой технологией, максимально используя механизацию и автоматизацию производства радиоаппаратуры.

Рассмотрим некоторые образцы радиоаппаратуры, созданной как отечественными, так и зарубежными конструкторами-профессионалами, а также радиолюбителями.

### КАРМАННЫЙ ПРИЕМНИК НА ПАЛЬЧИКОВЫХ ЛАМПАХ

Карманный приемник на пальчиковых лампах — это любительская конструкция для туристических походов. Размер приемника  $16 \times 9 \times 3$  см. Источником питания

служит один элемент батареи от карманного фонаря (накал) и половина анодной батареи от слухового аппарата (анод). Батарея накала обеспечивает непрерывную работу приемника в течение 2,5—3 ч, после чего ее необходимо заменить; анодная батарея может работать до 120 ч. Мощность, потребляемая приемником, около 0,2 вт.

Приемник (рис. 60) собран на трех лампах 1П2Б пальчиковой серии по схеме 1-V-2 с рефлексным использованием первой лампы и с применением обратной связи. Он

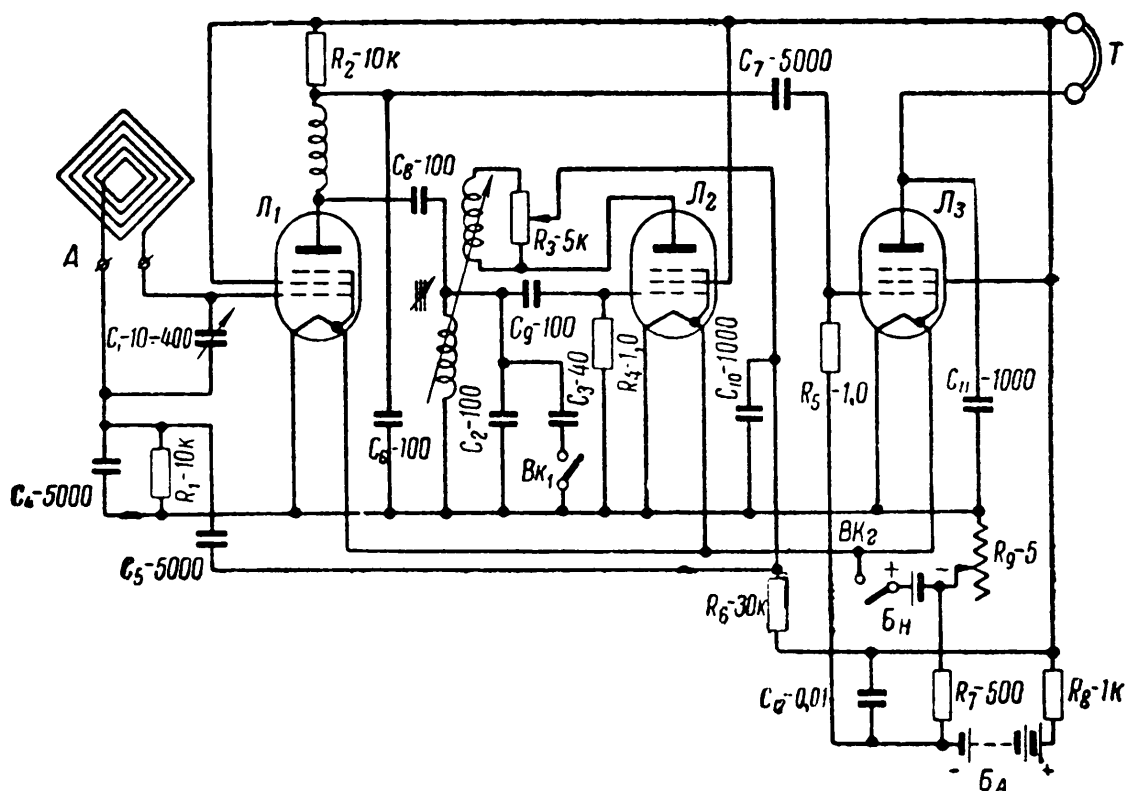


Рис. 60. Принципиальная схема карманного радиоприемника на пальчиковых лампах

позволяет принимать две вещательные программы на волнах 1500 и 1734 м.

Меняя исходные данные контура, можно изготовить приемник и на другие волны. Если вместо двух программ ограничиться одной, то конструкция приемника еще более упростится.

Приемник имеет чувствительность не хуже 600 мкв при напряжении 3 в на головных телефонах с сопротивлением 4000 ом.

Антенным устройством служит рамочная антенна. Она наматывается на плоском каркасе из листового изоляционного материала, служащего одновременно задней стенкой

приемника. Для повышения дальности приема можно применять рамочную антенну большего размера, которую турист надевает через плечо.

### КАРМАННЫЙ ПРИЕМНИК НА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТРИОДАХ

Приемник на кристаллических триодах, как и приемник на пальчиковых лампах, рассчитан на прием двух вещательных программ. Размеры такого приемника меньше, чем лампового, хотя он обеспечивает громкоговорящий прием на расстоянии до 150 км от мощной передающей станции.

Приемник питается от сухой анодной батареи напряжением 20 в. Для этой цели служит часть анодной батареи от слухового аппарата. Потребляемый ток не превышает 4 ма. Работоспособность приемника сохраняется даже при понижении напряжения питающей батареи более чем на 50%. Потребление по току в этом случае также снижается до 1,5—2 ма. Батареи накала приемник не имеет, так как в схеме используются только полупроводниковые приборы.

Приемник собран по супергетеродинной схеме на семи плоскостных кристаллических триодах П1Е (4 шт.), П1В (2 шт.) и П2 (1 шт.) \*.

Приемник, питающая батарея, динамик и антенна размещены в футляре из плексигласа размером 120 × 80 × 28 мм (рис. 61).

Принципиальная схема приемника показана на рис. 62. Такой приемник имеет выходную мощность около 30 мвт, что обеспечивает нормальную слышимость в помещении площадью до 36 м<sup>2</sup>. На воздухе озвучиваемая площадь уменьшается до 10—15 м<sup>2</sup>.

Приемником можно пользоваться не только на стоянках, но и на ходу, так как он не требует подключения каких-либо внешних устройств и управляется одной ручкой в виде плоского диска, выступающего одним краем в прорези боковой стенки футляра приемника. При помощи этого диска осуществляется как плавная перестройка приемника с одной станции на другую, так и включение питания.

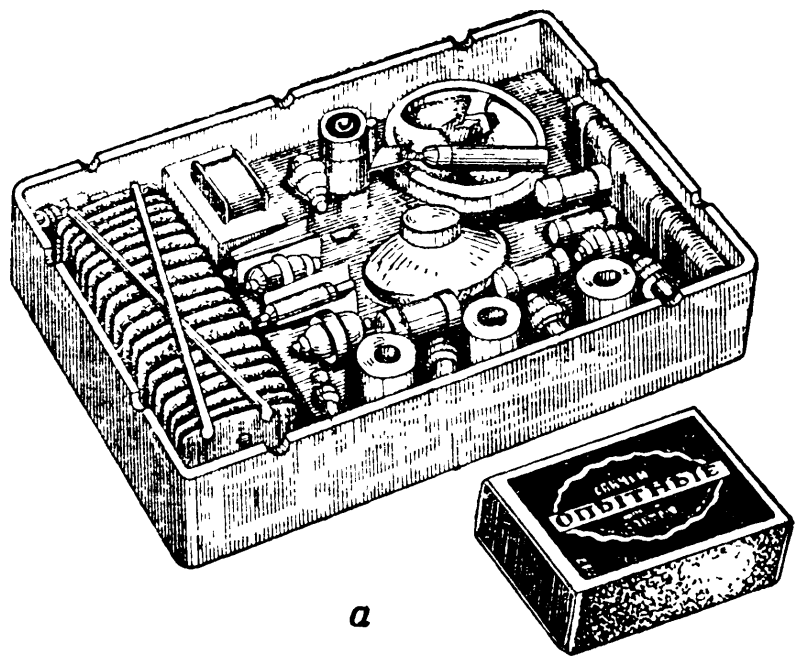
Чувствительность приемника не хуже 60 мкв.

Антенным устройством служит магнитная антенна, смонтированная внутри приемника.

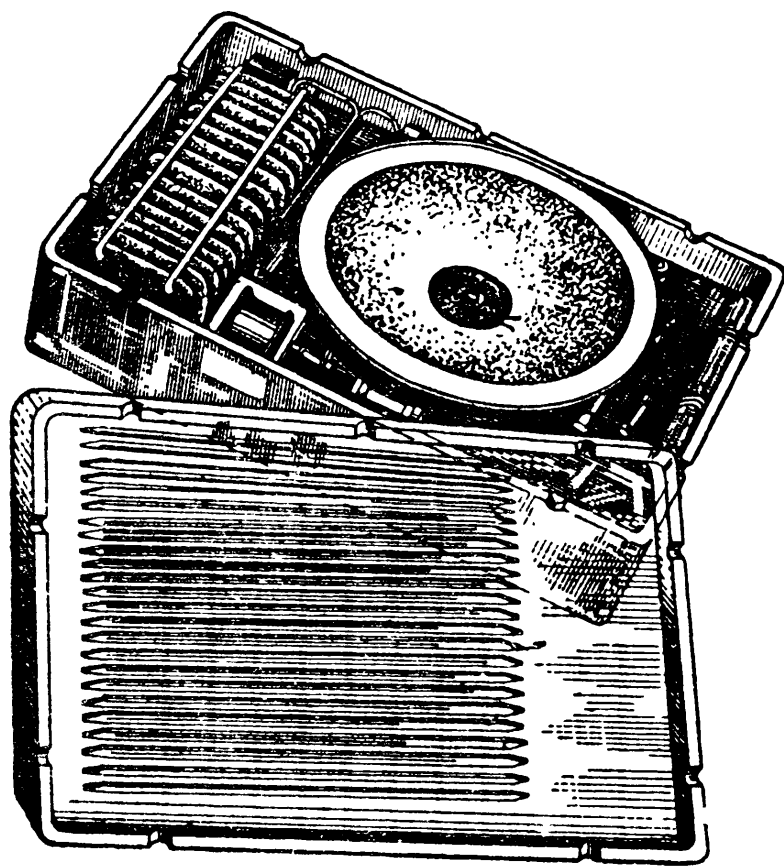
---

\* Триоды типа П1 с производства сняты и заменяются триодами типов П13, П14, П15 и П16.





*a*



*б*

Рис. 61. Размещение деталей радиоприемника в футляре:

*a* — вид со стороны задней крышки; *б* — вид со стороны передней крышки

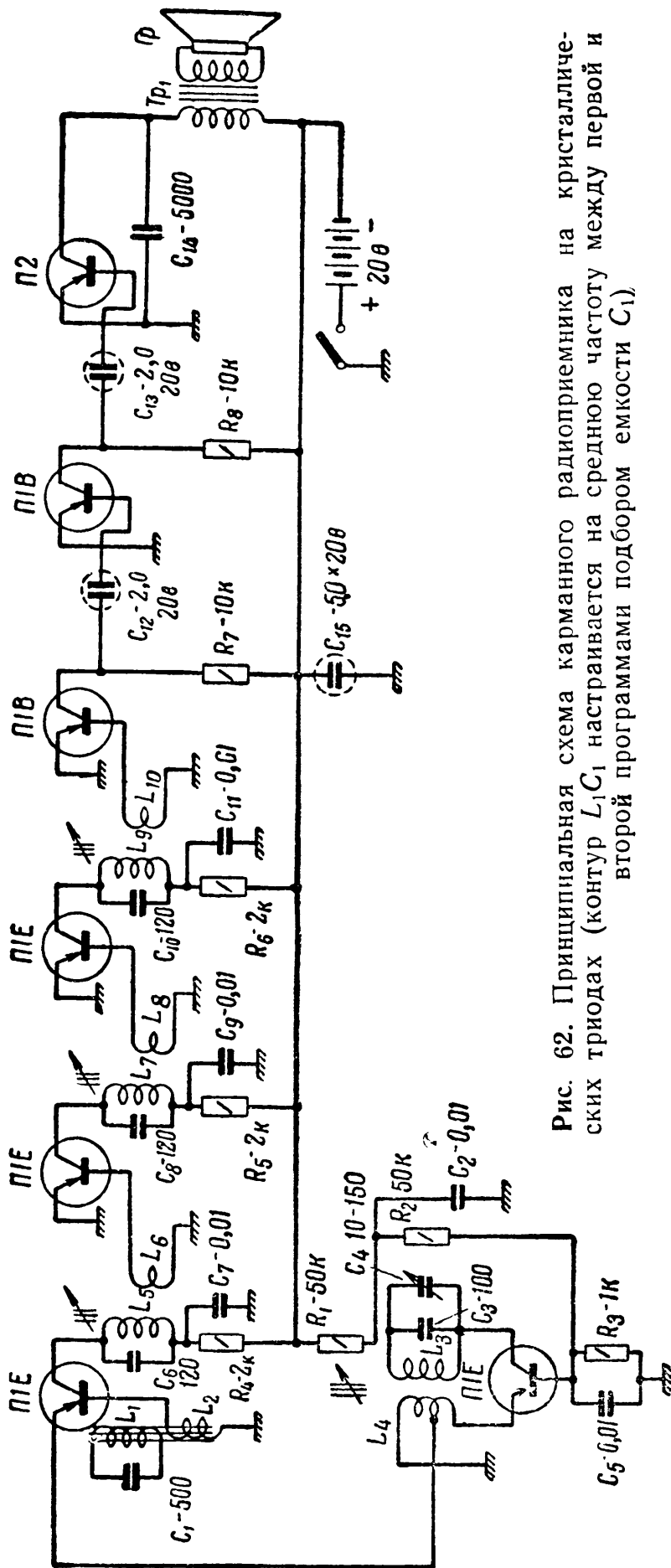


Рис. 62. Принципиальная схема карманного радиоприемника на кристаллических триодах (контур  $L_1C_1$  настраивается на среднюю частоту между первой и второй программами подбором емкости  $C_1$ )

## КАРМАННЫЙ ПРИЕМНИК НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

По своим размерам этот приемник (рис. 63) несколько больше описанного выше приемника на кристаллических триодах и весит 900 г, однако его выходная мощность достигает 150—200 мвт, а количество принимаемых программ увеличено до трех.

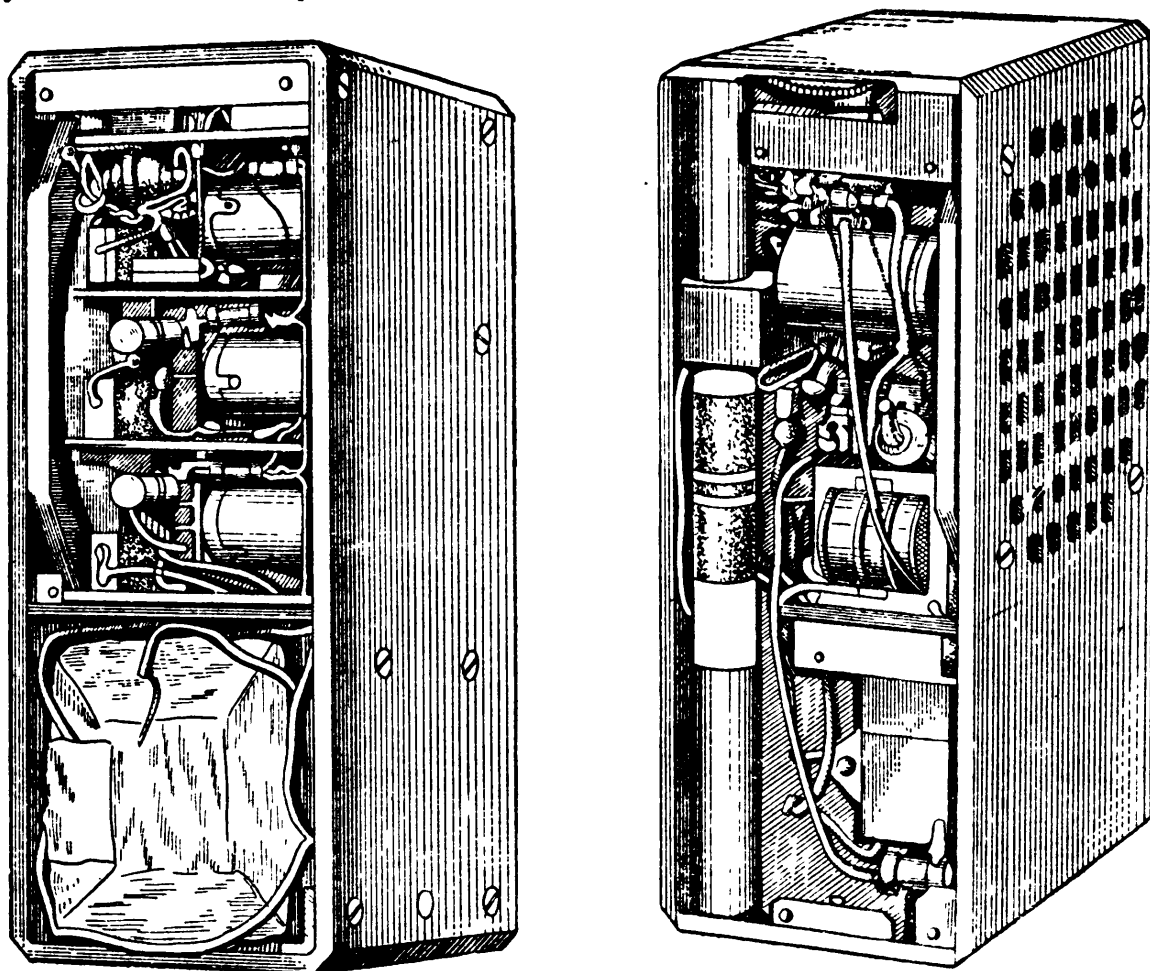


Рис. 63. Карманный радиоприемник

Габариты приемника  $15 \times 9 \times 6$  см. Все его детали монтируются на двух гетинаксовых платах размером  $9 \times 15$  см, толщиной около 4 мм. Обе платы скрепляются между собой на расстоянии около 5 см.

Батарея питания, динамик и антенна помещаются внутри приемника между платами. Батарея питания, собранная из девяти галет от батареи БАС-Г-60, обеспечивает непрерывную работу приемника в течение не менее 150 ч.

Приемник (рис. 64) собран по схеме прямого усиления на шести кристаллических триодах и одном диоде. Каскады усиления высокой частоты собраны по схеме с заземленным

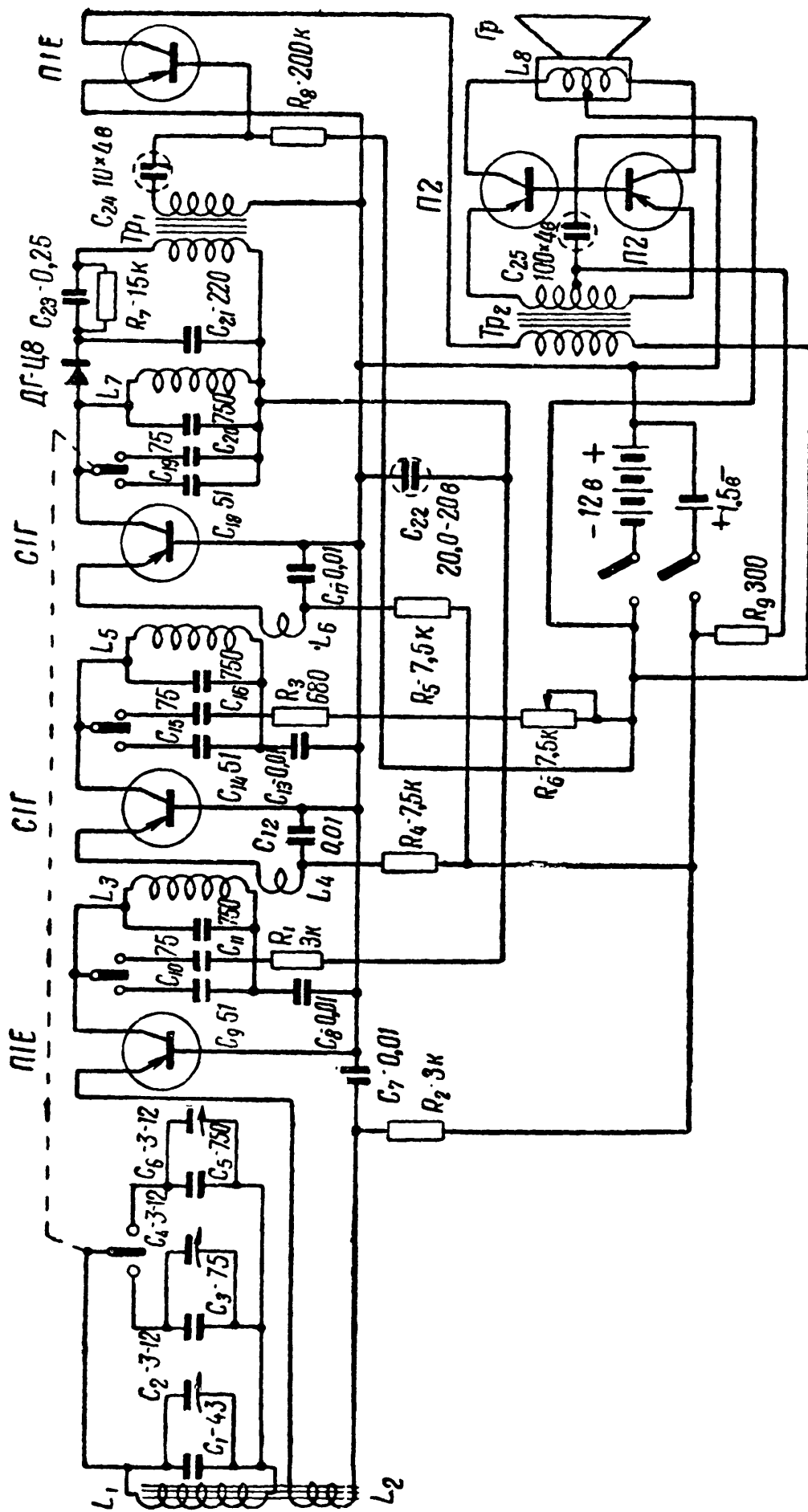


Рис. 64. Принципиальная схема радиоприемника на полупроводниковых приборах

основанием: первый каскад на плоскостном высокочастотном триоде П1Е, а два последующих на точечных триодах С1Г. Детектором служит кристаллический диод ДГ-Ц8. Первый каскад усиления низкой частоты собран на плоскостном триоде П1Б. Оконечный каскад выполнен по двухтактной схеме на плоскостных триодах П2, работающих в режиме класса «А» \*.

В приемнике предусмотрен регулятор громкости. Ручки регулятора громкости и переключения программ выполнены в виде гетинаксовых дисков с зубчатыми краями, расположенных на боковой стенке приемника в прорезях, откуда выступают над плоскостью стенки небольшие сегменты этих дисков. Выключатель питания приемника совмещен с регулятором громкости.

В приемнике применена ферритовая магнитная антенна, представляющая собой стержень длиной 145 мм и диаметром 10 мм, расположенный у задней стенки приемника.

### ПЕРЕНОСНЫЙ ПРИЕМНИК НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Переносный приемник на кристаллических триодах представляет собой вариант экономичного портативного приемника, созданного на базе приемника «Дорожный». Он предназначен для громкоговорящего приема мощных станций в диапазоне средних и длинных волн. Смонтирован приемник в футляре переносного приемника «Дорожный», его вес 2,4 кг.

Источником питания служит сухая батарея от слухового аппарата. Напряжение, необходимое для питания приемника, равно 30 в, поэтому при установке свежей батареи, дающей 45 в, ее подключают не полностью, а к специально сделанному отводу. После 25—30 ч работы батарею можно подключить полностью. Продолжительность работы приемника от одной батареи не менее 50 ч. Так как приемник может удовлетворительно работать и при половинном напряжении батареи, т. е. при 22,5 в, то продолжительность непрерывной работы от одной батареи можно увеличить до 100 ч, включая обе половины батареи не последовательно, а параллельно.

Приемник (рис. 65) собран по супергетеродинной схеме

---

\* Триоды П1, П2, С1 и диоды ДГ-Ц8 с производства сняты. Взамен этих типов выпускаются другие с улучшенными характеристиками.



на шести кристаллических триодах и одном диоде. Преобразователь частоты выполнен на плоскостном триоде П1Е. Три каскада усиления промежуточной частоты также собраны на триодах П1Е, включенных по схеме с заземленным эмиттером. В качестве детектора применен диод ДГ-Ц6. Первый каскад усиления низкой частоты собран на плоскостном триоде П1Г, а оконечный каскад — на плоскостном триоде П2. В приемнике использованы основные узлы и детали от приемника «Дорожный».

Выходная мощность приемника около 200 мвт, коэффициент нелинейных искажений не более 10%. Чувствительность приемника в зависимости от диапазона меняется от 2 до 7 мв/м при использовании внутренней ферритовой магнитной антенны. Размеры стержня антенны: длина 200 мм, диаметр 10 мм.

Для приема дальних станций к приемнику нужно подключать внешнюю антенну.

#### КАРМАННЫЙ ПРИЕМНИК «СЮРПРИЗ»

Приемник «Сюрприз» (рис. 66) — это первый миниатюрный приемник на полупроводниковых приборах, массовое производство которого освоено промышленностью. Наряду с

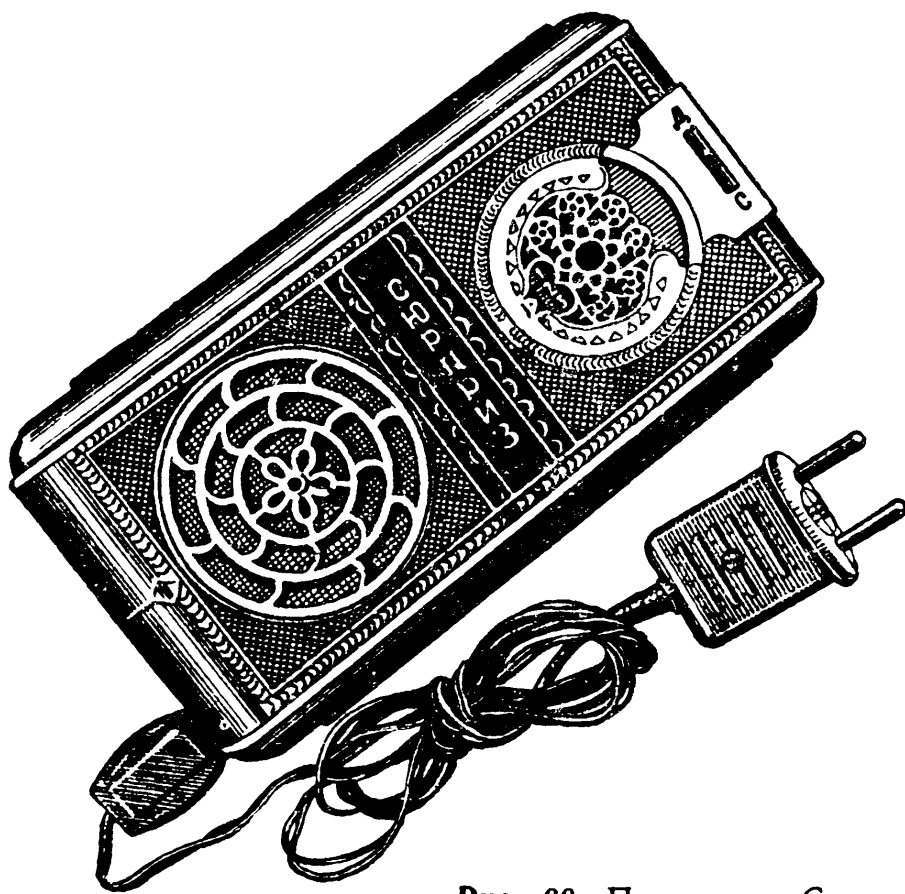


Рис. 66. Приемник «Сюрприз»

полупроводниковыми приборами в приемнике используются миниатюрные детали (сопротивления УЛМ, конденсаторы МБМ, БМ и ЭМ и др.) и специально разработанные малогабаритные узлы. Монтируется приемник в пластмассовом корпусе размерами  $15 \times 8 \times 3,2$  см и весит около 500 г.

Приемник питается как от собственных источников, так и от любого внешнего источника постоянного тока напряжением 4—6 в.

В качестве собственного источника используются четыре кадмиево-никелевых аккумулятора КНП-0,42. Эти аккумуляторы отличаются небольшими размерами (диаметр 14 мм, длина 50 мм), имеют емкость около 0,4 а·ч и обеспечивают 15 ч непрерывной работы приемника.

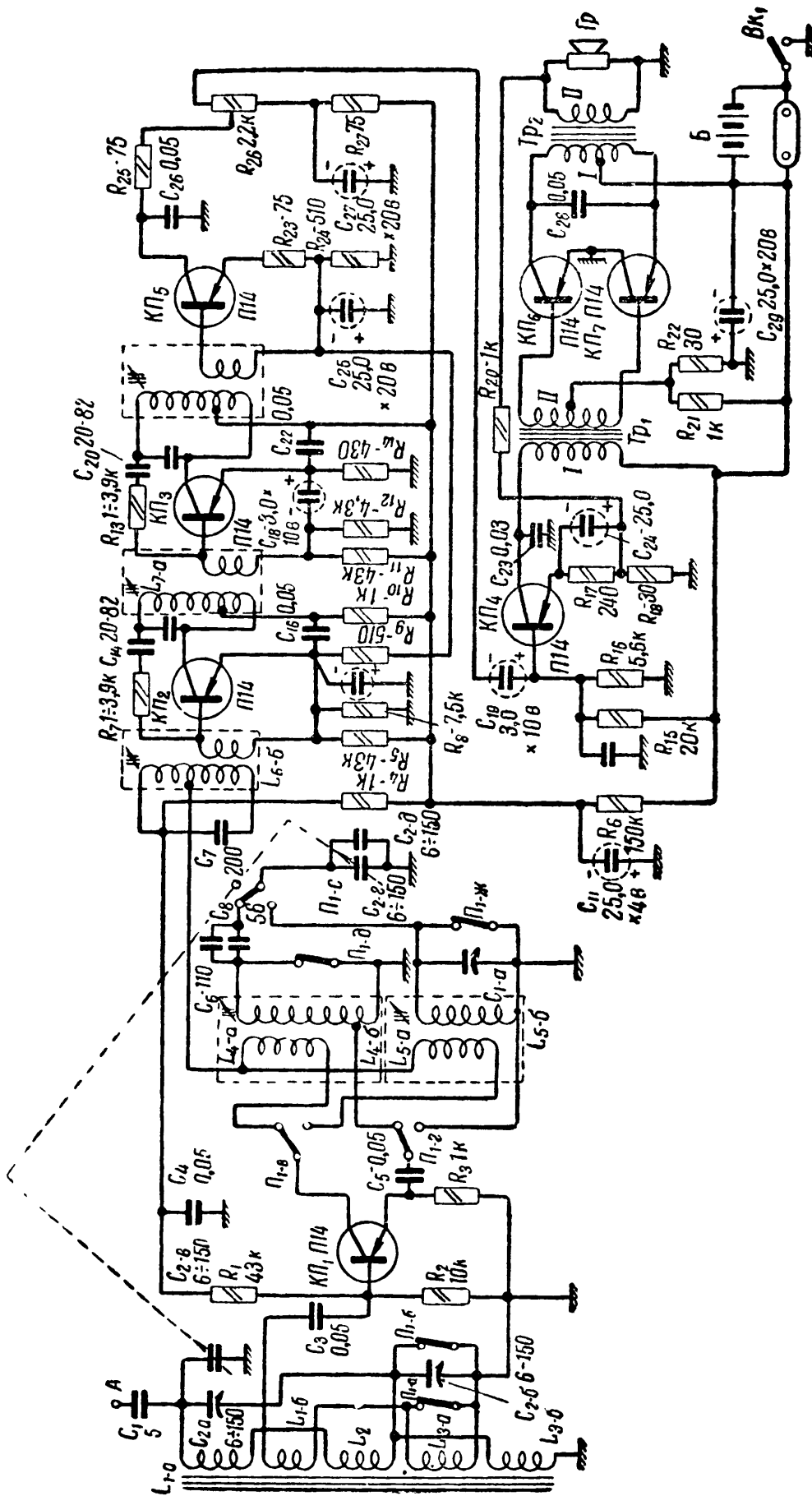
Аккумуляторы заряжаются от сети переменного тока 127/220 в при помощи миниатюрного выпрямителя, смонтированного в вилке входящего в комплект приемника шнура, соединяющего внешнюю сеть с аккумулятором.

Приемник имеет два диапазона: длинноволновый (150—415 кгц) и средневолновый (520—1600 кгц). Антенной приемника служит ферритовый стержень диаметром 7,8 мм и длиной 123 мм. Кроме того, в приемнике предусмотрена возможность подключения внешней антенны, для чего имеется специальное гнездо. Чувствительность приемника при использовании внутренней антенны не хуже 7 мв/м в средневолновом диапазоне и 10 мв/м в длинноволновом. Выходная мощность около 0,1 вт.

Приемник (рис. 67) собран на семи триодах типа П14 по супергетеродинной схеме. Все триоды включены по схеме с заземленным эмиттером.

Приемник имеет шесть каскадов. Первый каскад — преобразователь ( $КП_1$ ) — требует особого подбора триода, обеспечивающего генерирование колебаний с частотой до 2,1 Мгц. В качестве преобразователя можно также применить триод П15. Второй и третий каскады ( $КП_2$  и  $КП_3$ ) — усилители промежуточной частоты; промежуточная частота принята 465 кгц. После усилителей промежуточной частоты идет детектор ( $КП_4$ ), а затем следуют два каскада усиления низкой частоты; первый каскад собран на одном триоде ( $КП_5$ ), а второй — по двухтактной схеме ( $КП_6$  и  $КП_7$ ). Оконечный каскад работает в режиме класса «В». Триоды этого каскада также нуждаются в подборе: они должны иметь одинаковые параметры, что обеспечивает меньшие нелинейные искажения и большую выходную мощность.





В окончательном каскаде вместо триодов П14 можно использовать триоды П13.

В приемнике имеется автоматическая регулировка усиления.

В приемнике «Сюрприз» наиболее полно используются достижения промышленности в области создания миниатюрных деталей и передовой технологии. Здесь не только применен печатный монтаж и миниатюрные детали массового производства, но и сконструированы малогабаритные узлы специально для этого приемника. К таким узлам относится динамик (диаметр его 57 мм, а высота 30 мм), блок переменных конденсаторов (размерами 125 × 25 × 19 мм), выключатель (монтируется на шайбе диаметром 16 мм) и т. п.

### ОПЫТНЫЙ ПРИЕМНИК НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Приемник, схема которого показана на рис. 68, — опытный, разработан в США. Он собран по супергетеродинной схеме на девяти плоскостных триодах и двух диодах. На триодах выполнены гетеродин ( $КП_2$ ), смеситель ( $КП_1$ ), три каскада усиления промежуточной частоты ( $КП_3—КП_5$ ), второй детектор ( $КП_6$ ), предоконечный усилитель ( $КП_7$ ) и окончательный каскад ( $КП_8, КП_9$ ). Последний выполнен по двухтактной схеме и работает в режиме класса «В».

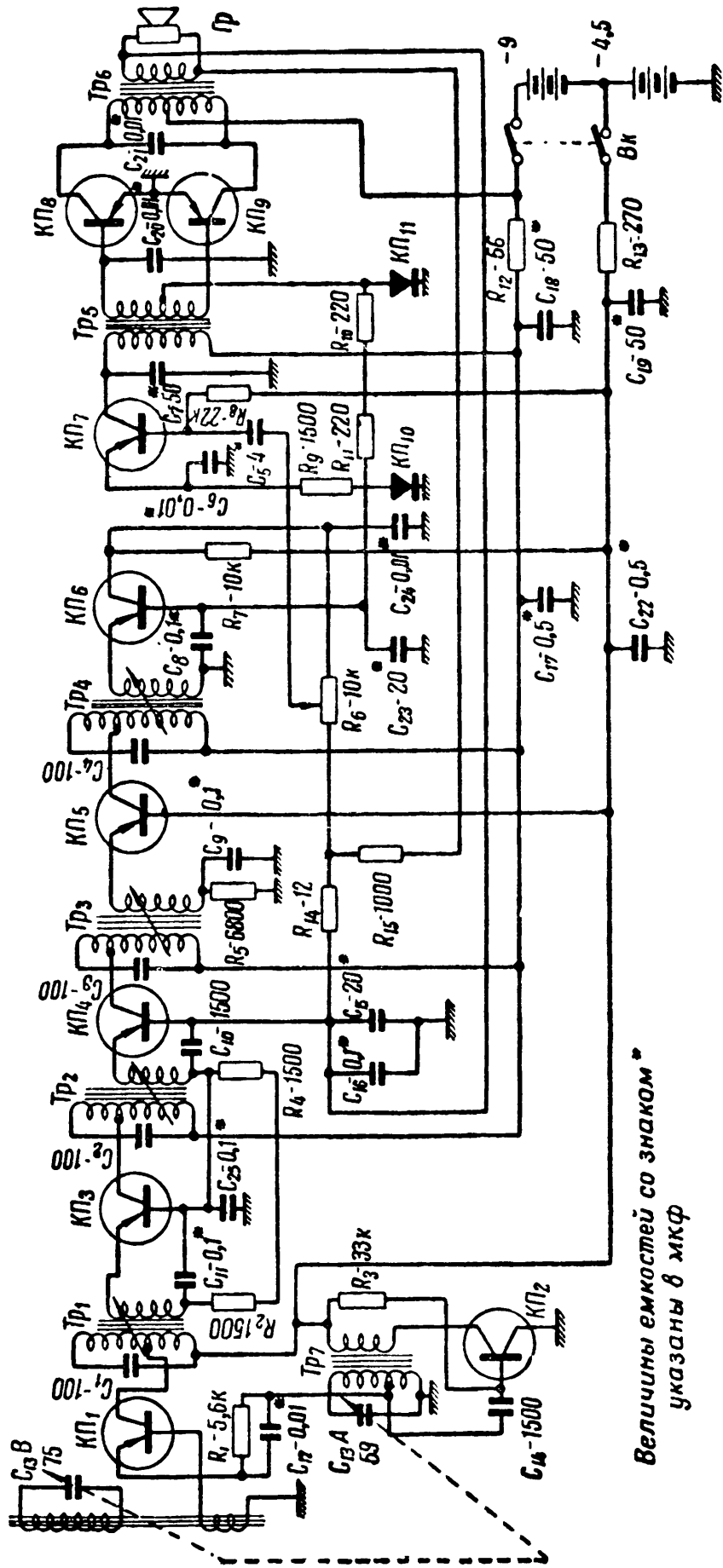
Один из диодов ( $КП_{10}$ ) служит для температурной компенсации, а другой ( $КП_{11}$ ) — для выравнивания низкочастотных пиков, которые могут повлиять на смещение второго детектора и на работу АРУ.

Расположение деталей приемника показано на рис. 69.

Источником питания служат шесть круглых сухих элементов от карманного фонаря, соединенных последовательно. Напряжение батареи 9 в. Для повышения устойчивости работы кристаллических триодов применена схема температурной компенсации. В схеме для температурной компенсации и в схеме АРУ необходимо напряжение 4,5 в, которое берется от средней точки общей батареи. Продолжительность работы такой батареи около 500 ч.

Размеры приемника 165 × 114 × 6 мм. Вес 1250 г.

Приемник имеет ферритовую антенну, смонтированную внутри корпуса. Чувствительность приемника 40 мкв/м, максимальная выходная мощность около 150 мвт. Диапазон настройки 535—1650 кГц.



Величины емкостей со знаком \*  
указаны в мкФ

Рис. 68. Принципиальная схема опытного радиоприемника

Приемник заключен в футляр из плексигласа, имеющий ручку для переноски.

Основное назначение приемника — громкоговорящий прием вещательных станций в помещении. Динамик приемника имеет овальную форму с размерами по осям овала  $10 \times 15$  см и обладает удовлетворительным воспроизведением при достаточной громкости. Приемник может работать также в автомашине с использованием внешней автомобильной антенны, подключенной к приемнику высокочастотным кабелем. Качество приема и громкость вполне

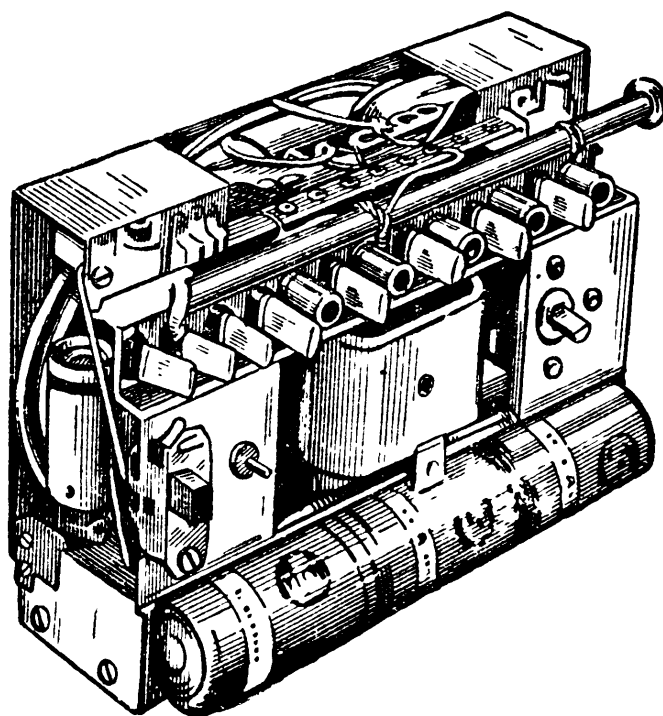


Рис. 69. Расположение деталей опытного радиоприемника

удовлетворительны. Кроме переносного комнатного приемника, по этой же схеме на тех же триодах и диодах был смонтирован карманный приемник. Он имел выходную мощность и чувствительность такую же, как у комнатного приемника. Его размеры  $165 \times 95 \times 36$  мм, а вес 640 г. Уменьшение размеров и веса достигнуто за счет изменения размеров динамика (в карманном приемнике применен круглый динамик с диаметром диффузора 75 мм) и использования батарей карандашного типа (шесть элементов).

Продолжительность непрерывной работы карманного приемника 50 ч.

## МИНИАТЮРНАЯ ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩАЯ РАДИОСТАНЦИЯ

Разработанная фирмой США миниатюрная приемно-передающая радиостанция (рис. 70) собрана на электронных миниатюрных лампах прямого накала. Передатчик станции — трехкаскадный с анодной модуляцией. Для обеспечения надлежащей устойчивости в работе применена кварцевая стабилизация.

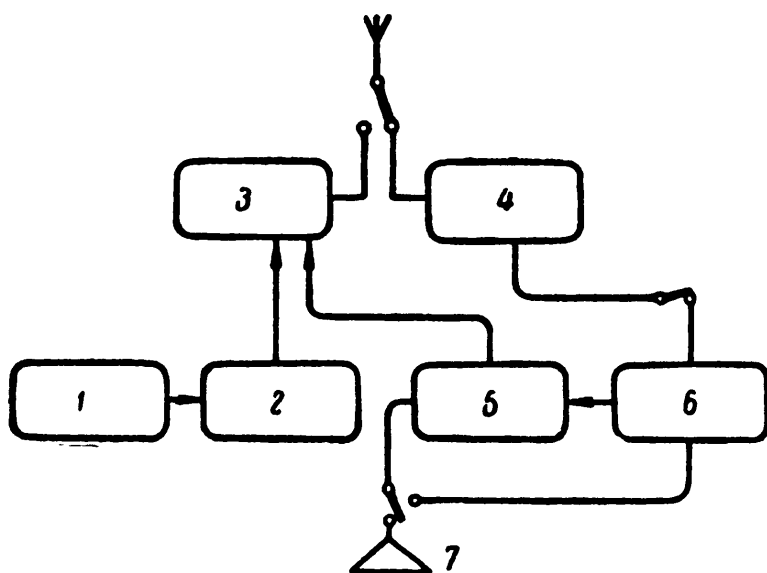


Рис. 70. Блок-схема приемно-передающей радиостанции:

1 — кварцевый генератор; 2 — первый удвоитель частоты, 3 — второй удвоитель частоты; 4 — высокочастотный детектор; 5 — модулятор; 6 — усилитель низкой частоты; 7 — микрофон-телефон

Приемник имеет сверхрегенеративную схему, обеспечивающую довольно высокую чувствительность при относительно небольшом количестве примененных ламп.

В низкочастотных каскадах передатчика и приемника используются одни и те же лампы. Первый каскад передатчика — кварцевый генератор — собран на миниатюрном пентоде 3Q4, работающем в триодном включении. Кварцы, возбуждаемые на гармониках в диапазоне частот 35—40 Мгц, обеспечивают получение требуемых рабочих частот при помощи двух каскадов — удвоителей. Первый каскад удвоения частоты выполнен на пентоде 3A4. Оконечный каскад передатчика (усилитель мощности) также работает в режиме удвоения частоты, в нем применен двойной триод 3A5. Одна часть триода используется как усилитель мощности передатчика, а другая выполняет роль сверхрегенеративного детектора приемника. Каждая половина нити на-

кала двойного триода имеет независимое питание, что снижает расход батареи накала, так как обе части триода работают в разное время.

Колебания звуковой частоты, необходимые для модуляции передатчика, усиливаются двумя каскадами, которые одновременно являются предоконечным и окончательным каскадами приемника. Модулятор собран на пентоде 3А4, работающем в приемнике в выходном каскаде усиления мощности. Напряжение, необходимое для раскачки лампы модулятора, подается от диод-пентода 1U5. При работе станции на передачу микрофон подключается к сетке лампы 1U5 через микрофонный трансформатор. Выход модулятора связан через трансформатор с лампой 3А5 выходного каскада. При работе на прием ко вторичной обмотке этого трансформатора подключается громкоговоритель, а вход усилителя низкой частоты соединяется через высокочастотный фильтр с выходом детектора.

Всего в станции применено пять ламп: 3А4 (2 шт.), 3Q4, 3А5 и 1U5 (рис 71).

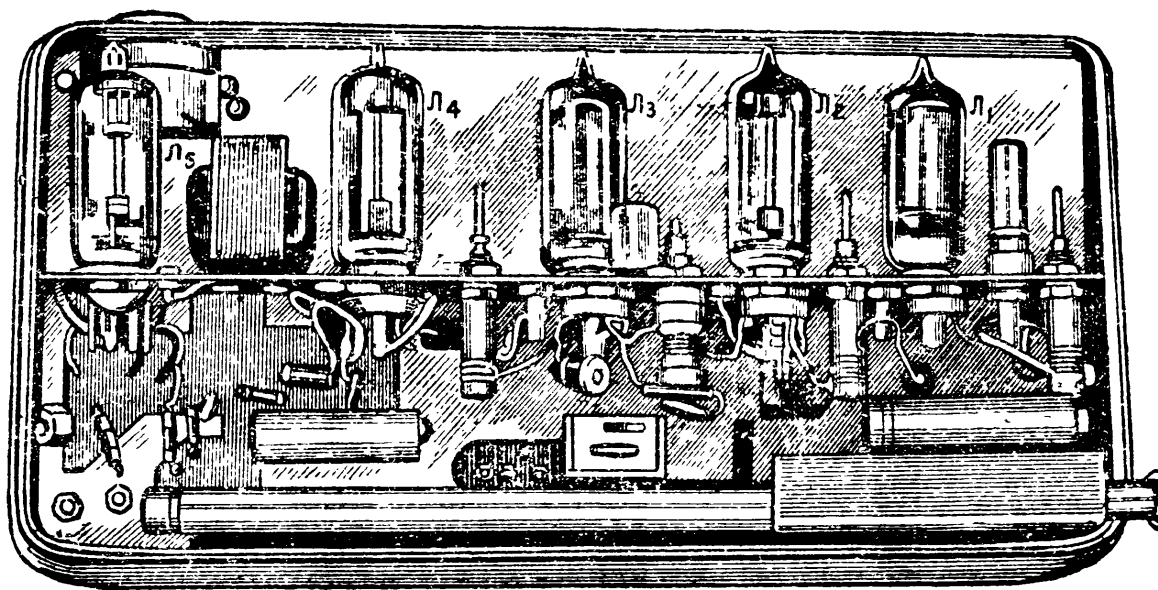


Рис. 71. Расположение деталей миниатюрной приемно-передающей радиостанции

Диапазон радиостанции 142—162 Мгц. Питание подается от сухих батарей. Для накала применены круглые элементы от карманного фонаря, для питания анодных цепей служит миниатюрная анодная батарея, дающая напряжение 67,5 в. Продолжительность работы накальной батареи — 18 ч, анодной — около 55 ч.

Мощность передатчика 250 мвт, что обеспечивает дальность связи с однотипной станцией 1,5 км.

Чувствительность приемника 15 мкв.

Станция смонтирована в прямоугольном футляре размером  $210 \times 103 \times 57$  мм (рис. 72). Вес радиостанции с батареями 1,7 кг. На футляре расположен кнопочный переключатель, включающий станцию на передачу или прием. В станции предусмотрена возможность дистанционной работы от внешнего микрофона-телефона, соединяемого со

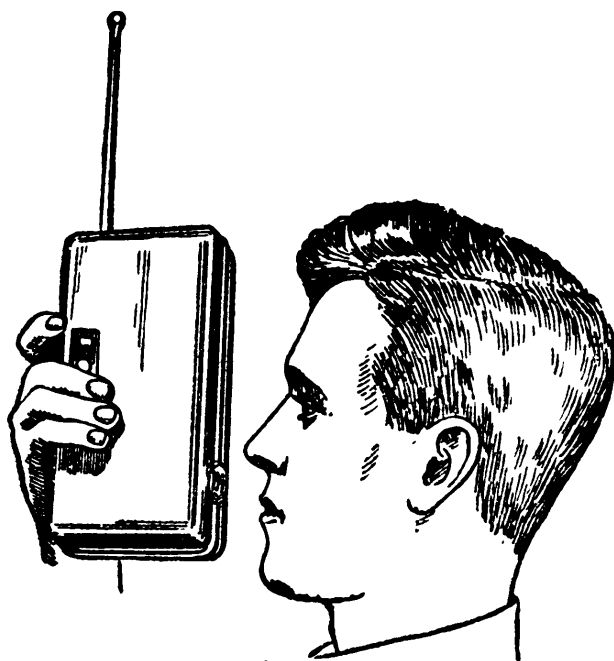


Рис. 72. Приемно-передающая радиостанция

станцией кабелем. Во время работы микрофон-телефон можно держать все время в одном положении (около рта), не поднося его к уху, так как даже в таком положении слышимость удовлетворительна.

Станция имеет штыревую телескопическую антенну, которая в нерабочем состоянии убирается внутрь футляра.

Благодаря применению печатных схем монтаж станции выполнен в несколько рядов, что позволило более эффективно использовать объем.



---

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные выше примеры конструкций миниатюрной радиоаппаратуры далеко не исчерпывают всех реальных возможностей в этой области. Техника создания подобной аппаратуры только начинает выходить из стен лабораторий и принимать промышленный характер.

Технически совершенную миниатюрную аппаратуру можно создать только при условии комплексного использования всех достижений в отдельных смежных отраслях науки и техники.

Вопросам уменьшения размеров и веса аппаратуры при сохранении высоких эксплуатационных показателей уделяется большое внимание не только в СССР, но и в США, Англии и других странах. На страницах иностранных радиотехнических журналов публикуются статьи, обсуждающие очередные задачи электроники и радиотехники, причем в этих статьях нередко коммерческая сторона вопроса берет верх над технической, что оказывает плохую услугу подлинно научному развитию техники. В погоне за рекламой или по патентным соображениям в технических журналах очень часто расхваливаются вещи, которые еще не оправдали себя практически.

Погоня за миниатюризацией радиотехнической аппаратуры на Западе привела к тому, что такая аппаратура начала часто выходить из строя главным образом из-за сильного перегрева. Повышенное выделение тепла лампами и деталями значительно уменьшенных размеров, а также плотное расположение нагреваемых деталей приводило к быстрому перегреву аппаратуры и ее порче.

Это заставило инженеров и конструкторов более тщательно рассматривать вопросы теплообмена и принять ряд конструктивных изменений при проектировании миниатюрной аппаратуры. В частности, начали применять заливку смонтированных блоков различными сортами смол. Особое



значение приобрела компоновка деталей и узлов на шасси и печатных платах. Детали, выделяющие большое количество тепла, такие как электронные лампы, стали располагать ближе к наружным стенкам кожуха аппаратуры или помещать в металлические экраны, улучшающие теплоотдачу.

Одно из главных направлений, по которому идут в настоящее время конструкторы миниатюрной радиоаппаратуры на Западе, — это создание блочных конструкций с использованием печатных схем. При таком методе радиоэлектронная аппаратура состоит из ряда отдельных небольших блоков, выполняющих определенные функции в этой аппаратуре. В случае неисправности вышедший из строя блок заменяется новым, запасным без какого-либо ремонта. При этом от обслуживающего персонала не требуется подробного знания сложной аппаратуры, так как для обнаружения неисправного блока и его замены не требуется высокая квалификация.

На страницах иностранных журналов, обсуждающих проблемы, связанные с требованиями, предъявляемыми к современной радиоэлектронной аппаратуре, часто появляются материалы, свидетельствующие о том, что вопросам надежности как отдельных деталей, в особенности электронных ламп, так и аппаратуры в целом уделяется большое внимание. Серьезные исследования проводятся также в области автоматизации производства радиоэлектронной аппаратуры.

Наша промышленность уже освоила выпуск большого количества миниатюрных и сверхминиатюрных деталей. Однако если у нас имеются определенные достижения в области создания миниатюрных деталей, кристаллических диодов и триодов, разрабатывается промышленное применение печатных схем, то вопросы комплексного использования этих достижений для создания экономичной и надежной миниатюрной аппаратуры еще не разрешены.

Для производства миниатюрных деталей все больше и больше применяются новые материалы: ферриты, сегнетоэлектрики, новые сорта керамики и пластмасс. Из этих материалов созданы сопротивления и конденсаторы таких размеров, что рассмотреть их устройство можно лишь только при помощи увеличительного стекла. Например, для аппаратуры, работающей на полупроводниковых приборах, изготавливаются трансформаторы таких размеров, что в одну

спичечную коробку можно уложить до десяти подобных трансформаторов.

В области создания полупроводниковых приборов также получены результаты, позволяющие значительно повысить частотный предел применения кристаллических триодов, номинальную мощность диодов, устойчивость параметров этих приборов во времени, расширить диапазон рабочих температур и т. д.

В технической литературе появляются сообщения о создании мощных полупроводниковых выпрямителей (до 1000 *вт*), об изготовлении новых приборов, например тетрода, предназначенного для работы на частотах до 1000 *Мгц*, кремниевых приборов, работающих при окружающей температуре около 200° С, и т. д.

Современные кристаллические триоды применяются уже не только как усилители, но и как генераторы, смесители, модуляторы, детекторы; они успешно применяются в буферных каскадах, а также в качестве аттенюаторов, реле и переключателей.

Всеобщее признание получила техника изготовления плоских монтажных схем, так называемых печатных схем. Одно из главных преимуществ печатных схем — возможность полностью автоматизировать производство радиоэлектронной аппаратуры, что чрезвычайно важно, так как именно радиоэлектронике принадлежит основная роль в деле механизации и автоматизации производственных процессов во всех областях производства.

Печатные схемы применяются в таких массовых изделиях, как вещательные приемники и телевизоры.

Создание высококачественной миниатюрной и сверхминиатюрной аппаратуры имеет огромное практическое значение. Уже не говоря об экономии ценных материалов, идущих на изготовление радиоэлектронной аппаратуры, миниатюрные конструкции не требуют громоздких источников питания, а это в свою очередь позволяет значительно расширить область применения радиоаппаратуры, повысить ее эксплуатационные возможности.

Малые размеры как самой аппаратуры, так и источников питания не вызывают никаких трудностей при ее транспортировке, что особенно важно для работы различных исследовательских партий, поисковых групп, а также для военных целей.

Кроме миниатюрной радиоаппаратуры, на основе достижений радиотехники можно создать большое количество

специальной аппаратуры для управления космическими кораблями, для контроля над производством, для научных исследований и анализов, изысканий, экспедиций и т. п.

Претворение в жизнь решений XXI съезда КПСС позволит радиотехнической промышленности успешно решить стоящие перед ней задачи по созданию новых, технически более совершенных образцов миниатюрной аппаратуры.



---

---

## ЛИТЕРАТУРА

В. А. Волгов. Детали контуров радиоаппаратуры. Госэнергоиздат, 1954.

«60 лет радио». Научно-технический сборник под редакцией А. Д. Фортушенко. Связьиздат, 1955.

«Полупроводниковые приборы и их применение». Сборник статей под редакцией Я. А. Федотова. «Советское радио», 1956.

«Техника печатных схем» (перевод с английского под редакцией К. Н. Трофимова). «Советское радио», 1948.

В. О. Буклер, И. Н. Рабинович. Монтаж радиоаппаратуры. Госэнергоиздат, 1955.

«Малогабаритная радиоаппаратура». Сборник переводов статей из иностранной периодической печати под редакцией В. И. Сифорова. Издательство иностранной литературы, 1954.

Электровакуумные приборы. Справочник. Госэнергоиздат, 1956.



## СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
<b>Введение</b> . . . . .	3
<b>I. Миниатюрные детали</b> . . . . .	7
Электронные лампы . . . . .	—
Полупроводниковые приборы . . . . .	19
Конденсаторы . . . . .	56
Сопротивления . . . . .	63
Трансформаторы и катушки индуктивности . . . . .	66
<b>II. Печатные схемы</b> . . . . .	68
Монтажные схемы . . . . .	—
Изготовление печатных схем . . . . .	69
Метод окрашивания . . . . .	70
Токопроводящие краски . . . . .	76
Метод фольгирования . . . . .	78
Химические методы . . . . .	80
Метод разбрызгивания . . . . .	81
Метод распыления . . . . .	83
Печатные катушки и трансформаторы . . . . .	85
Печатные конденсаторы . . . . .	89
Печатные сопротивления . . . . .	92
<b>III. Автоматизация производства</b> . . . . .	99
Пути автоматизации . . . . .	100
Автоматические и полуавтоматические линии . . . . .	103
<b>IV. Миниатюрная радиоаппаратура</b> . . . . .	117

	<i>Стр.</i>
Карманный приемник на пальчиковых лампах . . . . .	117
Карманный приемник на кристаллических триодах . . . . .	119
Карманный приемник на полупроводниковых приборах . . . . .	122
Переносный приемник на полупроводниковых приборах . . . . .	124
Карманный приемник „Сюрприз“ . . . . .	126
Опытный приемник на полупроводниковых приборах . . . . .	129
Миниатюрная приемно-передающая радиостанция . . . . .	132
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>135</b>
<b>Литература . . . . .</b>	<b>139</b>



Петров Игорь Николаевич  
МИНИАТЮРНЫЕ РАДИОУСТРОЙСТВА  
М., Воениздат. 1961 год, 144 с.

Редактор *Астапенков И. Г.*  
Переплет художника *Щербакова В. Н.*  
Технический редактор *Медникова А. Н.*  
Корректор *Узлова К. К.*

\* \_\_\_\_\_ \* \_\_\_\_\_ \*

Сдано в набор 12.11.60 г.

Подписано к печати 13.3.61 г.

Формат бумаги  $84 \times 108^{1/32}$  —  $4^{1/2}$  печ. л.

7,389 усл. печ. л. 7,104 уч.-изд. л.

Тираж 40000

Г-77073.

Изд. № 6/8635.

Зак. 708.

\* \_\_\_\_\_ \* \_\_\_\_\_ \*

1-я типография  
Военного издательства  
Министерства обороны Союза ССР  
Москва, К-6,  
проезд Скворцова-Степанова, 3

*Цена 35 коп.*

**К ЧИТАТЕЛЯМ!**

*Просим присылать отзывы об этой книге по адресу: Москва, Центр, Тверской бульвар, 18, Военное издательство.*



Цена 35 коп.