

**А. М. ПЛЯЦ, Г. А. САПУН**

# **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

**РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО „ВЫШЭЙШАЯ ШКОЛА“  
МИНСК 1968**

Пляц А. М., Салун Г. А.

**П 40** Основы электроники. Руководство к лабораторному практикуму. Минск, «Высэйш. школа», 1968.  
176 стр. с илл.

Учебное пособие для студентов перадиотехнических специальностей техникумов.

Включает 20 работ по изучению и исследованию электронных приборов, усилителей, генераторов, радиоприемников, телевизоров и радиостанций. Особое внимание уделяется схемам на транзисторах. В каждой работе приводится достаточный теоретический материал.

3-3-12  
41-68

6П2.15

## ОТ АВТОРОВ

Основы электроники — один из тех сложных предметов учебного курса, которые для прочного усвоения требуют как внимательного изучения теоретического материала, так и серии серьезных лабораторных работ с современными электронными устройствами и приборами.

К сожалению, руководств и методик к практическим работам по этому важному курсу образования до настоящего времени выпущено очень мало.

Авторы, создавая пособие, ставили себе цель облегчить студентам и преподавателям работу в лаборатории.

Предлагаемое учебное пособие содержит описание двадцати лабораторных работ по основным разделам курса электроники для студентов перадпотехнических специальностей техникумов.

К ним относятся работы по снятию характеристик ламповых диодов, триодов и пентодов, полупроводниковых диодов и триодов, тиратрона и ртутной колбы, лампового и транзисторного усилителей низкой частоты. Приведены также работы по исследованию схем выпрямителей и сглаживающих фильтров, мультивибратора и триггера, фотоэлектронных приборов, ламповых и транзисторных радиоприемников. Включены также работы по изучению принципиальных схем электронного осциллографа, телевизора и связной радиостанции.

От подобных изданий пособие отличается большим количеством работ и довольно обширным теоретическим материалом. По сути дела, пособием можно пользоваться не только при подготовке к лабораторным работам, но и как учебником.

Основное назначение пособия — это ознакомление студентов с методикой экспериментальных исследований электронных приборов, усилителей, радиоприемников, телевизоров и т. д.

При описании каждой работы определяется ее цель, даются теоретические сведения, список лабораторного оборудования, детальный ход эксперимента и образцы таблиц для оформления результатов работы.

Необязательно, чтобы студенты выполняли все работы, приведенные в пособии. Тематика избираемых работ должна определяться программами по каждой специальности и возможностями лаборатории конкретного учебного заведения.

Авторы выражают глубокую благодарность канд. техн. наук Д. В. Дорофееву и преподавателям Минского политехникума — Г. С. Шевцову, З. И. Ивановой, М. И. Новиченок, рецензировавшим рукопись, за ценные замечания.

## ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

1. Накануне лабораторной работы необходимо изучить ее описание и требуемый теоретический материал, а также ознакомиться с оборудованием лабораторного стенда (исследуемым прибором, источниками питания, измерительными приборами, ламповыми панелями и т. д.).

2. Схему следует собирать так, чтобы провода не перекрещивались, не натягивались и не скручивались петлями.

3. Исследование радиотехнических цепей и приборов неизбежно связано с применением повышенных напряжений. Напряжение свыше 70 в при определенных условиях может дать серьезное поражение.

Включать схему можно только после проверки и с разрешения преподавателя.

4. Для газонаполненных электронных приборов необходимо в первую очередь включить цепь накала и лишь затем подавать напряжение на анодную цепь.

5. Перед началом измерения следует определить цену деления приборов. Показания приборов рекомендуется записывать не в делениях шкалы, а непосредственно в единицах измеряемой величины (вольтах, амперах, миллиамперах, микроамперах), для чего число делений нужно умножить на цену одного деления прибора.

6. Во время работы со схемой, находящейся под напряжением, необходимо быть внимательным и осторожным, находиться на своем рабочем месте и не допускать к нему посторонних.

7. Если по ходу работы схема должна быть частично или полностью изменена, то это целесообразно делать после того, как все измерения по первой схеме будут одобрены преподавателем.

8. Если при проведении работы возникнет какое-нибудь повреждение (появится специфический запах, дым, накалятся проводники реостата) или кто-нибудь попадет под напряжение, надо быстро выключить рубильник и известить преподавателя. Растерянность и промедление

могут усилить повреждение аппаратуры либо поражение током.

9. Работа считается законченной в том случае, когда: результаты в виде записей, таблиц, графиков и схем представлены преподавателю и приняты им; обесточенная схема с разрешения преподавателя разобрана; измерительные приборы проверены лаборантом.

10. Отчет по проделанной работе составляется на специальных бланках.

11. Элементы схемы и обозначения должны соответствовать ГОСТ 7624—62.

12. Графики строятся на миллиметровой бумаге. Если на один график наносится несколько кривых, то экспериментальные точки для разных кривых следует обозначать по-разному — в виде кружочков, треугольников, квадратиков и т. д.

## РАБОТА 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМПОВОГО ДИОДА

#### Цель работы

1. Изучить устройство и работу двухэлектродной лампы.
2. Овладеть методом снятия и исследованнем характеристик ламп.
3. Изучить параметры ламп.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** Принцип действия вакуумных электронных ламп основан на использовании движения электронов в вакууме под действием электрического поля. Эти приборы служат базой для создания электронной аппаратуры; особенно велико значение их в устройствах радиосвязи, телевидения, радиолокации, радионавигации и других видов радиоэлектроники.

В лампах движение электронов происходит в вакууме с высокой степенью откачки газа ( $10^{-7}$  мм рт. ст. и ниже). Они используются для генерации и усиления колебаний в широком диапазоне радиочастот. Электронные лампы могут содержать несколько электродов, но не менее двух — анод, катод (обязательно) и сетки.

По числу электродов различают следующие типы ламп: диоды — лампы без сеток, триоды — лампы с одной сеткой, тетроды — лампы с двумя сетками, пентоды — лампы с тремя сетками, гексоды — лампы с четырьмя сетками, гептоды — лампы с пятью сетками, октоды — лампы с шестью сетками.

Также выполняются комбинированные лампы, имеющие в одном баллоне несколько ламп: двойной диод, двойной триод, двойной диод-триод, двойной диод-пентод и др.

**Диод** — наиболее простая электрошная лампа, содержащая два электрода — катод и анод (рис. 1). Катод является излучателем электронов (эммитером), а анод — собирателем их (коллектором). Конструктивно анод может быть выполнен в виде короба или цилиндра из тугоплавких материалов (никеля, молибдена, тантала и др.). Катод выполняется из никеля или платины, покрытых оксидным слоем щелочно-

земельных металлов. Оксидные катоды работают при температуре  $650-850^{\circ}\text{C}$ . Разогрев катода производится литью накала, по которой проходит переменный ток. Напряжения цепи накала небольшое: для некоторых ламп оно составляет доли вольта, для других — десятки вольт, у большинства ламп оно равно  $6,3\text{ в}$ . При нагреве катода на его поверхности возникает термоэлектронная эмиссия.

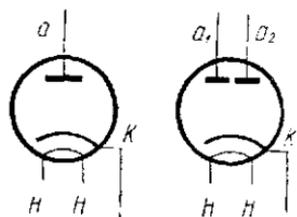


Рис. 1. Условное обозначение двухэлектродной лампы (диода).

Во всех лампах потенциал катода принято считать равным нулю и от него отсчитывать потенциалы других электродов. Если к электродам лампы приложить разность потенциалов так, чтобы анод был положительный, а катод — отрицательный, то под действием возникшего в пространстве между анодом и катодом электрического поля

электроны, испускаемые раскаленным катодом, будут двигаться к положительному аноду. Через лампу пойдет ток. Если поменять полярность анода и катода, то под действием электрического поля электроны будут возвращаться назад на катод и ток через лампу не будет проходить. Свойство диода пропускать ток только в одном направлении называется *односторонней проводимостью* и используется для выпрямления переменных токов. Анодный ток, определяемый числом электронов, достигающих анода, зависит как от температуры катода, так и от анодного напряжения  $U_a$ .

При увеличении тока эмиссии возрастает число электронов, покидающих катод и участвующих в проведении тока через лампу. Анодное напряжение также влияет на число электронов, достигающих анода. При малых положительных анодных напряжениях не все электроны попадают на анод; электроны с малыми начальными скоростями возвращаются на катод. Таким образом, анодный ток является функцией двух величин: анодного напряжения и тока эмиссии. Ток эмиссии определяется температурой катода, которая зависит от напряжения накала.

**Накальная характеристика диода.** Зависимость анодного тока от напряжения накала при постоянном анодном напряжении называется *накальной характеристикой*, т. е.  $I_a = f(U_n)$  при  $U_a = \text{const}$ .

Семейство накальных характеристик диода приведено на рис. 2. На этих кривых можно отметить два характерных участка.

На первом участке, соответствующем малым значениям  $U_n$ , анодный ток растет при увеличении напряжения накала. При дальнейшем повышении  $U_n$  рост анодного тока замед-

ляется и характеристика переходит во второй, пологий участок. Увеличение анодного напряжения вызывает смещение пологого участка характеристики в область  $> U_{н0}$ , а значение анодного тока при тех же напряжениях накала становится больше. В начале характеристики  $U_{н0} = 0$ , т. е. катод не на-

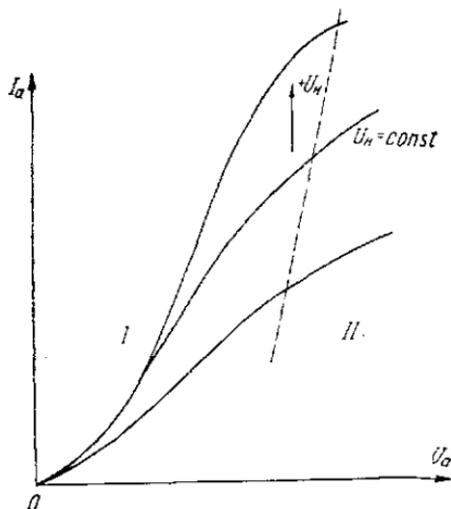


Рис. 2. Семейство накальных характеристик.

кален, эмиссии нет, анодный ток равен нулю. Когда напряжение превысит некоторое значение  $U_{н0}$ , электроны, обладающие наибольшей собственной энергией, покидают катод и ток эмиссии начинает возрастать. Крутые участки характеристик *I* соответствуют режиму, при котором все электроны, покинувшие катод, попадают на анод. В этом случае анодный ток равен току эмиссии. Этот режим называется *режимом насыщения*. При дальнейшем увеличении  $U_{н}$  с поверхности катода выходит все большее число свободных электронов, увеличивая количество их в промежутке анод — катод. Часть из них возвращается назад на катод. Объемная плотность электронного облака у катода настолько возрастает, что на некотором удалении от катода образуется область отрицательного потенциала, максимальное значение которого обычно находится на расстоянии сотых долей миллиметра от поверхности катода.

Таким образом, вблизи катода существует тормозящее электрическое поле, вектор напряженности которого направлен от катода к аноду. Не все электроны могут преодолеть это поле. При  $U_{н} = \text{const}$  установится динамическое равновесие, при котором число уходящих к аноду и возвращаю-

щихся к катоду электронов равно числу электронов, вновь эмитируемых катодом. Вследствие влияния отрицательного пространственного заряда дальнейшее повышение  $U_H$  почти не вызывает роста анодного тока. Все большее число электронов возвращается на катод.

Пологая часть накальной характеристики  $II$  соответствует режиму *пространственного заряда*, при котором не все электроны в отличие от режима насыщения, покинув катод, достигают анода. Ток эмиссии превышает анодный ток, т. е. происходит ограничение анодного тока пространственным зарядом.

**Анодная характеристика диода.** Зависимость анодного тока от напряжения на аноде при постоянном напряжении на-

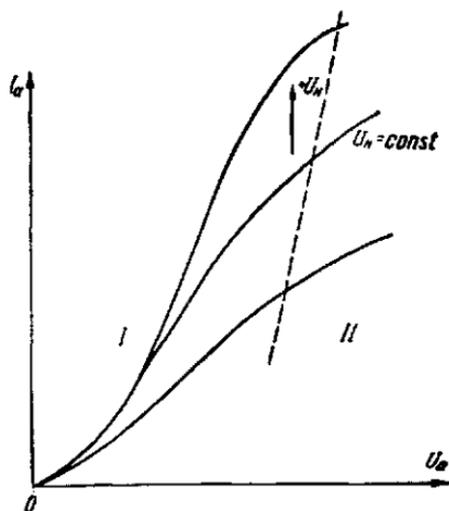


Рис. 3. Семейство анодных характеристик.

кала (рис. 3) называется *анодной характеристикой*, т. е.  $I_a = f_1(U_a)$  при  $U_H = \text{const}$ .

Режиму пространственного заряда  $I$  здесь соответствует начальный участок характеристики, а режиму насыщения  $II$  — пологий. При малом  $U_a$  объемный отрицательный заряд сохраняется, а при дальнейшем увеличении  $U_a$  пространственный заряд рассасывается, потенциальный барьер уменьшается и сдвигается к катоду. При некотором значении  $U_a$  наступает режим насыщения, когда все электроны достигают анода. Режим пространственного заряда у всех электронных ламп является основным рабочим режимом. Все электронные

лампы работают, как правило, при  $U_{II} = \text{const}$ . Анодный ток в цепи диода пропорционален  $U_a$  в степени три вторых:

$$I_a = G \cdot U_a^{3/2},$$

где  $G$  для данного типа лампы величина постоянная.

Это выражение, определяющее изменение  $I_a$  в зависимости от  $U_a$  в соответствии с полукубической параболой, справедливо для режима пространственного заряда. В режиме насыщения, в идеальном случае, ток анода не должен зависеть от  $U_a$ . В мощных диодах с большим анодным током и катодом прямого накала начальный участок характеристики сдвигается вправо, т. е. анодный ток при малых положительных напряжениях на аноде остается равным нулю. Это объясняется воздействием на траектории электронов магнитного поля катода. Протекающий по катоду ток накала образует вокруг него магнитное поле, отклоняющее траектории электронов в сторону более положительного конца катода. Это явление носит название *магнетронного эффекта*.

**Статические параметры диода.** Наиболее удобно оценивать анодную характеристику диода и его свойства с помощью статических параметров, кратко отображающих зависимость анодного тока от анодного напряжения при заданном режиме работы лампы.

Важным параметром диода является *крутизна характеристики*. Она характеризует степень возрастания анодного тока при увеличении анодного напряжения. Поскольку анодная характеристика диода нелинейна, крутизна для различных точек характеристики различна. Для выбранной точки характеристики крутизна может быть определена как отношение приращения анодного тока к соответствующему приращению анодного напряжения

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \text{ ма/в.}$$

Истинное значение крутизны характеристики в рассматриваемой точке получится, когда  $\Delta I_a$  и  $\Delta U_a$  стремятся к нулю:

$$S = \frac{dI_a}{dU_a} \text{ ма/в.}$$

*Внутреннее сопротивление лампы* — это величина, обратная крутизне характеристики:

$$R_i = \frac{dU_a}{dI_a} = \frac{1}{S} \text{ ом, } R_{i \text{ диод}} \leq 2 \text{ ком.}$$

Величина  $R_i$  позволяет рассматривать диод как некоторое сопротивление протекающему через него переменному току.

При протекании через диод постоянного тока сопротивление лампы постоянному току выражают как отношение напряжения к току в некоторой точке характеристики

$$R_0 = \frac{U_a}{I_a} \text{ ом.}$$

Геометрически величина сопротивления постоянному току выражается как котангенс угла наклона прямой линии, проведенной из начала координат в заданную точку.

Чем больше крутизна и меньше внутреннее сопротивление, тем лучше работает лампа в качестве выпрямителя тока.

Другим параметром лампы является *допустимая мощность рассеяния на аноде*, равная произведению анодного тока на анодное напряжение и выражаемая в ваттах. Это та мощность, которую может рассеять поверхность анода при максимально допустимой рабочей температуре:

$$P_a = I_a \cdot U_a \text{ вт.}$$

Существуют следующие нормы удельной допустимой мощности рассеяния ( $\text{вт/см}^2$ ): никель белый — 0,5—4,5; никель черный — 2,3—6,2; медь с водяным охлаждением — 25—30; для стекла колбы — 0,25—0,5.

Кривую допустимой мощности рассеяния строят на анодной характеристике лампы.

**Междуэлектродная емкость диода.** Электроды диода, выполненные в виде двух пластин или цилиндров, разделенных вакуумным промежутком, образуют конденсатор емкостью несколько пикофард. При высоких частотах влияние этой емкости может быть существенным.

**Маркировка диодов.** Маломощные диоды используются для детектирования слабых радиосигналов, а более мощные, называемые *кентронами*, применяются для выпрямления переменных токов. По ГОСТу одинарные детекторные диоды обозначаются буквой Д, а двойные диоды — буквой Х. Кентроны с одним или двумя анодами обозначаются буквой Ц.

В обозначении ламп перед буквой ставится число, указывающее округленно напряжение накала. После буквы стоит порядковый номер серии лампы. Например, марка лампы 6Х6 означает, что лампа имеет напряжение накала 6,3 в, является двойным детекторным диодом, имеет порядковый номер серии 6.

Конструкции ламп могут быть различными и в соответствии с этим в конце обозначения лампы ставятся различные буквы. Если после номера серии буквы вообще нет, то это означает, что лампа в металлическом баллоне. Лампы со стеклянным баллоном нормальных размеров имеют после номера букву С. В лампах 6Х6 и 6Х6С с целью устранения влияния электрического поля одного диода на работу другого установлен металлический экран.

В серии стеклянных ламп выпущены кенотроны 1Ц1С, 1Ц7С, 2Ц2С, 5Ц8С, 6Ц5С и др., двуханодный кенотрон — 5Ц4С.

Миниатюрные лампы со стеклянными баллонами диаметром около 20 мм называются *пальчиковыми* и имеют в конце обозначения букву П. Например, 6Х2П, 6Ц4П, 1Ц11П, 6П10П.

Сверхминиатюрные лампы с диаметром стеклянного баллона около 10 мм имеют в конце обозначения букву Б (6Х7Б, 2Ц3Б), а с диаметром баллона 6 мм — букву А (6Д6А).

Лампы с буквой Ж на конце обозначения имеют оформление, напоминающее желудь. У них выводы сделаны штырьками в разных местах баллона (6Д4Ж). У лампы с повышенной надежностью и повышенной механической прочностью в конце обозначения дополнительно ставится тире и буква В, а у лампы с повышенным сроком службы — буква Е.

### Лабораторное оборудование

Лампа.

Источник постоянного анодного напряжения  $E_a = 300$  в.

Источник переменного напряжения накала 6,3 в.

Реостат  $R_{\text{н}}$ , 30 ом.

Реостат  $R_a$ , 5000 ом, 0,25 а.

Вольтметр  $V_a$ , 450 в.

Вольтметр  $V_{\text{н}}$ , 15 в.

Миллиамперметр  $mA$ , 250 ма.

Соединительные провода.

### Экспериментальная часть

1. Снять семейство накальных характеристик диода:
  - а) собрать схему (рис. 4);
  - б) установить анодное напряжение, равное 50 в;
  - в) изменяя напряжение накала от 6,3 в и ниже через 0,5 в, измерить соответствующие изменения анодного тока;
  - г) пункты б) и в) повторить для значений анодного напряжения 100 и 150 в;
  - д) данные измерений занести в табл. 1;

е) построить семейство накальных характеристик диода, т. е.

$$I_a = f_1(U_a) \text{ при } U_H = \text{const};$$

2. Снять семейство анодных характеристик диода:

а) установить напряжение накала 4 в;

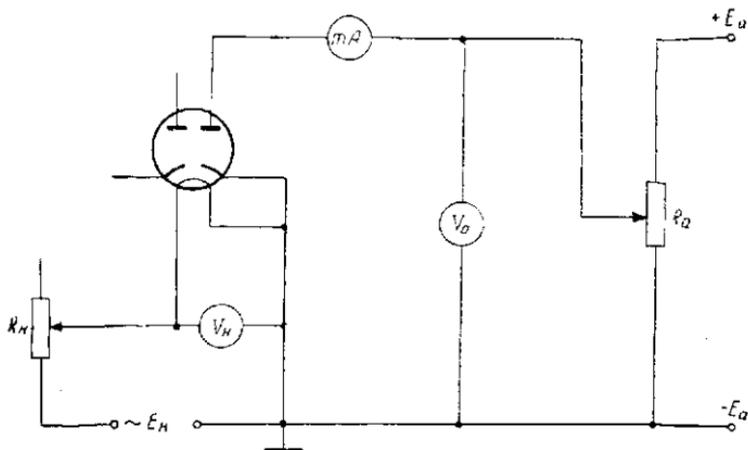


Рис. 4. Схема снятия характеристик диода.

б) изменяя анодное напряжение от 0 до 150 в через 30 в, измерить соответствующие изменения анодного тока;

в) повторить пункты а) и б) для напряжений накала 5 в и 6,3 в;

г) данные измерений занести в табл. 2;

д) построить семейство статических анодных характеристик диода, т. е.

$$I_a = f_2(U_a) \text{ при } U_H = \text{const};$$

е) при помощи характеристик определить статические параметры диода  $R_f$  и  $S$  при  $U_H = \text{const}$ .

### Содержание отчета

1. Таблицы измерений и графики снятых характеристик.
2. Перечень измерительных приборов и их основные данные.
3. Цоколевка и параметры испытуемого диода.
4. Параметры диода, определяемые при помощи характеристик.
5. Схема последования диода.

Таблица 1

$U_a = 50 \text{ в}$		$U_a = 100 \text{ в}$		$U_a = 150 \text{ в}$	
$U_H, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_H, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_H, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$

Таблица 2

$U_H = 4 \text{ в}$		$U_H = 5 \text{ в}$		$U_H = 6,3 \text{ в}$	
$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$

## РАБОТА 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМПОВОГО ТРИОДА

#### Цель работы

1. Изучить устройство и работу триода.
2. Научиться снимать и исследовать характеристики триода.
3. Изучить статические параметры триода.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** Лампа, содержащая три электрода (анод, катод и сетку), называется *триодом*. Сетка находится вблизи поверхности катода, поэтому напряжение на ней оказывает непосредственное влияние на поле у его поверхности. Анод же расположен на большем расстоянии от катода, поэтому действие его напряжения на поле у катода значительно меньше, чем сетки. При изменении напряжений анода или сетки поле у поверхности катода изменяется, что приводит к изменению числа электронов, движущихся к аноду.

На сетку может быть подано положительное или отрицательное напряжение. При отрицательном напряжении поле сетки тормозит выходящие с поверхности катода электроны, что приводит к образованию отрицательного пространственного заряда у его поверхности и к уменьшению числа электронов, проходящих между витками сетки к аноду. Положительное напряжение на сетке приводит к уменьшению пространственного заряда у катода и увеличению числа электронов, поступающих на анод. Кроме того, при положительном напряжении часть электронов может попасть на сетку и далее по внешней цепи на катод, образуя сеточный ток, т. е. поток электронов при положительном напряжении сетки будет разделяться на два потока, создающих анодный и сеточный токи:

$$I_k = I_a + I_c.$$

На рис. 5 показано условное изображение триода на радиотехнических схемах.

**Статические характеристики триода.** Свойства электронной лампы как элемента схемы характеризуются семейством проходных и выходных статических характеристик. *Проходные* (анодно-сеточные) характеристики триода показывают зависимость выходного (анодного) тока от входного (сеточного) напряжения при постоянном выходном (анодном) напряжении

$$I_a = f(U_c) \text{ при } U_a = \text{const.}$$

Выходные (анодные) характеристики показывают зависимость анодного тока от анодного напряжения при постоянном сеточном напряжении

$$I_a = f_1(U_a) \text{ при } U_c = \text{const.}$$

Характеристики, которые показывают изменение анодного тока в зависимости от напряжения на одном из электродов при неизменном напряжении на другом электроде, называются *статическими*.

На рис. 6 приведены семейства статических характеристик триода.

Как видно из рис. 6, а при каком-то неизменном положительном напряжении на аноде анодный ток возникает при строго определенном отрицательном напряжении на сетке, которое называется *напряжением запираения лампы*  $U_{сз}$ . Если отрицательное напряжение на сетке больше отрицательного напряжения запираения лампы, то анодный ток через лампу проходить не будет и лампа в данном случае считается запертой. Наоборот, если отрицательное напряжение на сетке по абсолютной величине меньше напряжения запираения, то через лампу будет проходить анодный ток, причем по мере уменьшения отрицательного напряжения анодный ток сначала увеличивается медленно (нижний криволинейный участок характеристики), а затем быстрее (средний прямолинейный участок характеристики). При положительном напряжении на сетке рост анодного тока снова уменьшается (верхний криволинейный участок характеристики). При увеличении анодного напряжения характер кривой не изменяется, а сама характеристика сдвигается влево. При этом увеличивается отрицательное напряжение запираения лампы. Характер изменения сеточного тока приведен в правой части рисунка. При увеличении анодного напряжения сеточный ток при постоянном значении положительного напряжения на сетке уменьшается.

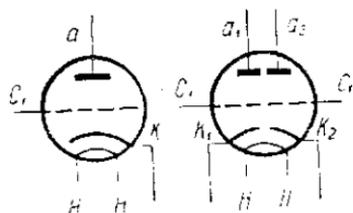


Рис. 5. Условное обозначение трехэлектродной лампы (триода).

Семейство выходных характеристик лампы, представляющих ряд монотонно возрастающих кривых, приведено на рис. 6, б.

При отрицательных напряжениях на сетке анодный ток возникает при некотором положительном напряжении на аноде. При положительных и нулевом напряжениях на сетке анодный ток течет через лампу даже при анодном напряжении близком к нулю. Анодная характеристика при положительном напряжении на сетке и малом анодном напряжении является крутой; когда анодное напряжение превышает не-

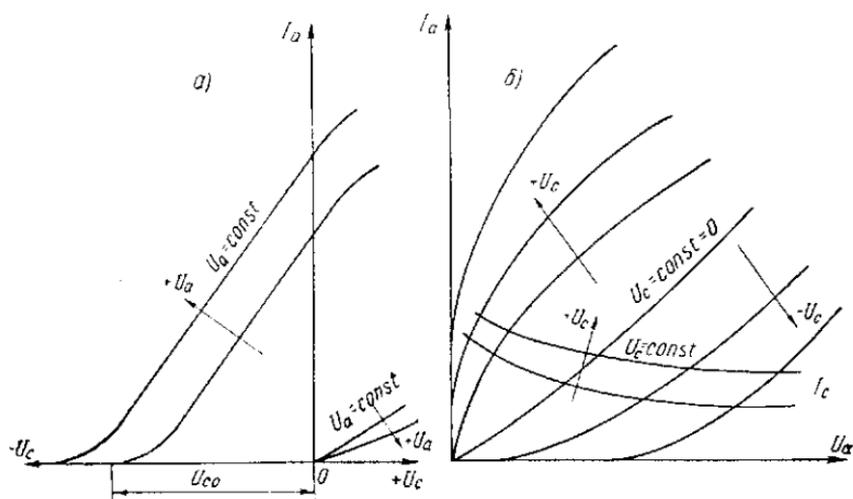


Рис. 6. Статические характеристики триода:  
а) анодно-сеточные; б) анодные.

сколько десятков вольт, характеристика становится более полой. На этом же рисунке приведены кривые изменения сеточного тока, который резко уменьшается при небольших анодных напряжениях и медленно — при значительных.

Рассмотрим физические процессы, определяющие ход той или иной характеристики.

Изменение напряжения на сетке влияет в основном на электрическое поле в пространстве катод — сетка; поле же между сеткой и анодом меняется незначительно, всегда оставаясь ускоряющим для электронов, пролетевших плоскость сетки. При отрицательном напряжении на сетке, превышающем напряжение запираения лампы, в пространстве катод — сетка тормозящее поле образуется не только вблизи витков сетки, но и между ними. Электроны, покидающие катод, не могут преодолеть тормозящее действие поля и возвращаются к катоду. В результате возрастает объемный пространствен-

ный заряд и потенциал становится еще более отрицательным. При подаче на сетку напряжения, несколько превышающего напряжение запираания лампы, тормозящее поле между витками сетки исчезает; наиболее быстрые электроны проходят ее плоскость и устремляются к аноду. Возникает анодный ток.

Дальнейшее уменьшение отрицательного напряжения на сетке приводит к уменьшению пространства, занятого тормозящим полем; оно сохраняется только в непосредственной близости от витков сетки. Несмотря на значительное влияние тормозящего поля сетки, все большее число электронов устремляется к аноду. При нулевом напряжении на сетке на катод возвращаются только электроны, пролетающие непосредственно под витками сетки, где еще существует тормозящее поле, плотность пространственного заряда между сеткой и катодом продолжает уменьшаться и анодный ток растет. Подача положительного напряжения на сетку еще более уменьшает пространственный заряд. Поле, ускоряющее электроны, теперь существует не только между витками сетки, но и по направлению от катода к виткам сетки. Электроны, движущиеся вблизи витков сетки, попадают в это поле и, направляясь к сетке, образуют сеточный ток. Но так как поле сетки значительно слабее поля анода, а площадь витков сетки намного меньше площади анода, сеточный ток, как правило, меньше анодного.

**Статические параметры триода.** Электронную лампу с тремя электродами можно рассматривать как четырехполюсник (рис. 7).

На входные зажимы сетка — катод подается усиливаемое напряжение  $U_{вх}$ , с выходных зажимов анод — катод снимается усиленное лампой напряжение  $U_{вых}$ . Для оценки свойств четырехполюсника необходимо знать его параметры. Статические характеристики лампы снимаются при фиксированных значениях  $U_a$  (проходные характеристики) или  $U_c$  (выходные характеристики), т. е. в

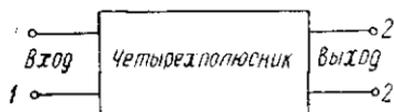


Рис. 7. Схема четырехполюсника.

условиях короткого замыкания на выходе или входе для переменного тока. Это позволяет найти с их помощью  $U$ -параметры лампы. Статические параметры лампы используются для оценки ее качества, пригодности для данного устройства, сравнения свойств двух ламп различных типов и т. д.

Статические параметры лампы определяют из уравнений четырехполюсника в системе  $U$ -параметров. Для этого переменные токи и напряжения заменяют соответствующими

малыми приращениями постоянных напряжений и токов около рабочей точки лампы и учитывают, что на низких частотах  $Y$ -параметры характеризуются своими действительными значениями —  $g$ :

$$\begin{aligned}\Delta I_c &= g_{11} \cdot \Delta U_c + g_{12} \cdot \Delta U_a; \\ \Delta I_a &= g_{21} \cdot \Delta U_c + g_{22} \cdot \Delta U_a.\end{aligned}$$

Но лампа обычно используется в области отрицательных сеточных напряжений, когда  $I_c = 0$ , а следовательно,  $\Delta I_c = 0$ . Поэтому для электронных ламп  $g_{11} = g_{12} = 0$ , т. е. первое уравнение отпадает. Остается одно уравнение

$$\Delta I_a = g_{21} \cdot \Delta U_c + g_{22} \cdot \Delta U_a.$$

В режиме короткого замыкания на выходе, когда  $U_a = \text{const}$ , т. е.  $\Delta U_a = 0$ ,

$$g_{21} = S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} \text{ ма/в},$$

где  $S$  — крутизна проходной характеристики лампы.

*Крутизна характеристики* показывает, на какую величину изменится анодный ток лампы, если напряжение на сетке изменить на 1 в. Геометрически она выражается как тангенс угла наклона касательной к проходной характеристике в данной точке.

Крутизна для триодов составляет  $1 \div 20 \text{ ма/в}$ .

В режиме короткого замыкания на входе, когда напряжение на сетке постоянно, а приращение его равно нулю, получим

$$g_{22} = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} = -g_i.$$

Здесь  $g_i$  — выходная проводимость лампы. Она обратно пропорциональна *внутреннему сопротивлению лампы переменному току*  $R_i$ :

$$g_i = \frac{1}{R_i}, \text{ где } R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ ом}.$$

Геометрически  $R_i$  определяется котангенсом угла наклона касательной к выходной характеристике лампы.

Внутреннее сопротивление лампы переменному току для триодов равно  $1 \div 80 \text{ ком}$ .

При протекании через триод постоянного тока в ряде случаев пользуются понятием *сопротивления лампы постоянному току*

$$R_0 = \frac{U_a}{I_a} \text{ ом}.$$

Геометрически величина  $R_0$  определяется котангенсом угла наклона прямой линии, проведенной из начала координат в заданную точку.

*Статический коэффициент усиления*  $\mu$  показывает, во сколько раз изменение напряжения на сетке сильнее воздействует на анодный ток по сравнению с изменением напряжения на аноде (по отношению к катоду)

$$\mu = - \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} \text{ при } I_a = \text{const.}$$

В современных триодах  $\mu$  равно  $4 \div 100$ .

*Проницаемость лампы*  $D$  в отличие от коэффициента усиления оценивает воздействие напряжений  $U_c$  и  $U_a$  на изменение катодного тока

$$D = - \frac{\Delta U_c}{\Delta U_a} \text{ при } I_k = \text{const.}$$

Здесь знак минус показывает, что для сохранения катодного тока постоянным уменьшение потенциала сетки следует компенсировать увеличением потенциала анода.

Проницаемость характеризует степень проникновения поля анода в пространство сетка — катод и учитывает ослабление действия этого поля на потенциальный барьер у катода по сравнению с действием поля сетки.

Если  $I_c = 0$ , то  $I_a = I_k$ , и  $\mu = \frac{1}{D}$ , а  $S \cdot R_i \cdot D = 1$ .

### Лабораторное оборудование

Лампа

Источник постоянного анодного напряжения  $E_a$ , 250 в.

Источник переменного напряжения накала 6,3 в.

Источник постоянного сеточного напряжения  $E_c$ , 110 в.

Реостат  $R_a$ , 5000 ом, 0,25 а.

Потенциометр  $R_c$ , 800 ом.

Вольтметр  $V_a$ , 250 в.

Миллиамперметр  $mA$ , 5 ма.

Миллиамперметр  $mA$ , 1 ма.

Вольтметр  $V_c$ , 15 в.

Соединительные провода.

### Экспериментальная часть

1. Снять семейство анодных характеристик триода:

а) собрать схему (рис. 8);

б) установить на сетке номинальное напряжение — 8 в;

в) изменяя анодное напряжение от 0 до 200 в через каждые 30 в, измерять соответствующие изменения анодного тока;

- г) пункты б) и в) повторить для напряжений на сетке  $-6, -4, -2, 0, 0,5$  в;  
 д) данные измерений занести в табл. 3;  
 е) построить семейство анодных характеристик триода, т. е.

$$I_a = f(U_a) \text{ при } U_c = \text{const.}$$

2. Снять семейство анодно-сеточных характеристик:  
 а) установить анодное напряжение  $200$  в;

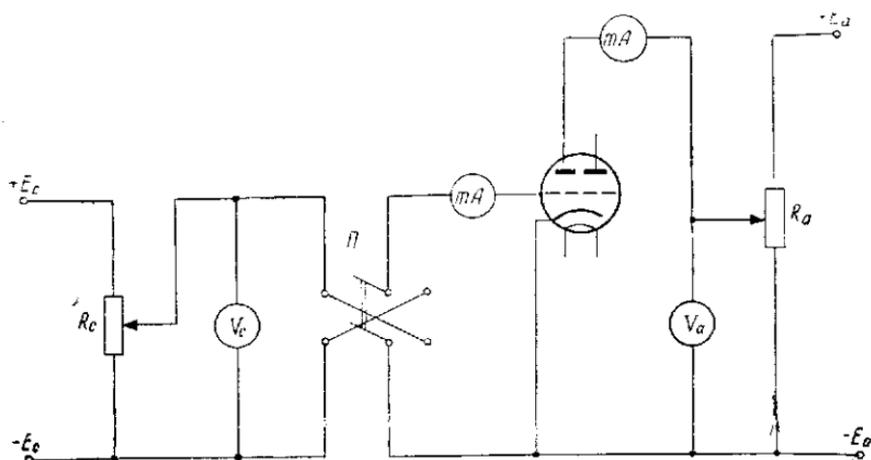


Рис. 8. Схема снятия статических характеристик триода.

- б) изменяя напряжение сетки от  $0,5$  до  $-8$  в через каждые  $2$  в, измерить соответствующие изменения анодного и сеточного токов;  
 в) пункты а) и б) повторить для значений анодного напряжения  $170, 150$  и  $130$  в;  
 г) данные измерений занести в табл. 4;  
 д) построить семейство анодно-сеточных и сеточных характеристик триода, т. е.:

$$I_a = f_1(U_c) \text{ при } U_a = \text{const};$$

$$I_c = f_2(U_c) \text{ при } U_a = \text{const.}$$

3. Провести анализ снятых характеристик.  
 4. По характеристикам триода определить его параметры  $\mu, R_i$  и  $S$ .

### Содержание отчета

1. Перечень измерительных приборов с указанием их основных данных.
2. Цоколевку и параметры лампы для типового режима.
3. Схему исследования триода.
4. Таблицы и графики снятых зависимостей.
5. Вычисленные параметры триода.
6. Вывод по работе.



## РАБОТА 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМПОВОГО ТРИОДА

Цель работы

1. Научиться снимать и анализировать динамические характеристики триода.
2. Изучить динамические параметры триода и научиться их определять при помощи характеристик.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Динамические характеристики триода.** Основой большинства электронных схем является простейший усилитель-лампа с резистором в анодной цепи (рис. 9). Работу лампы при

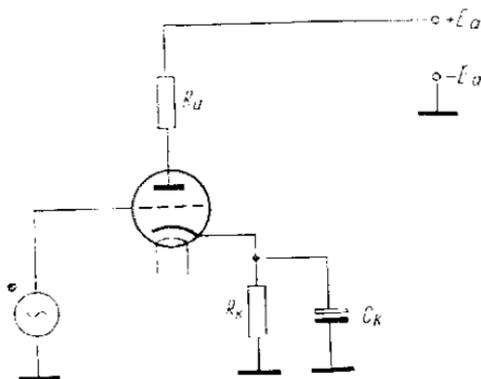


Рис. 9. Схема включения нагрузки в анодную цепь триода.

включенном в анодную цепь резисторе называют *динамическим режимом*. Если в статическом режиме напряжение на аноде лампы равно напряжению анодного источника питания, то при включении резистора в анодную цепь оно меньше на величину падения напряжения на этом резисторе

$$U_a = E_a - I_a R_a.$$

Следовательно, напряжение на аноде лампы при заданном напряжении источника анодного питания  $E_a$  определяется нагрузкой  $R_a$  и анодным током  $I_a$ . Резистор  $R_a$  создаст *линейную связь* между напряжением на нем и током: в координатах  $I_a U_a$  она характеризуется прямой линией. При отсутствии нагрузки связь между  $I_a$  и  $U_a$  определяется выходными статическими характеристиками лампы. Когда  $R_a \neq 0$ , эта связь определяется уравнением  $U_a = E_a - I_a R_a$ . Для решения этого уравнения необходимо совместить на одном графике статические характеристики лампы и прямую линейной связи. Точки их пересечения дадут связь тока  $I_a$  с напряжением  $U_a$  при наличии нагрузки, т. е. определяют *выходную динамическую характеристику*. При активном сопротивлении нагрузки она представляет прямую линию и часто называется *нагрузочной прямой* (рис. 10, б). Тангенс

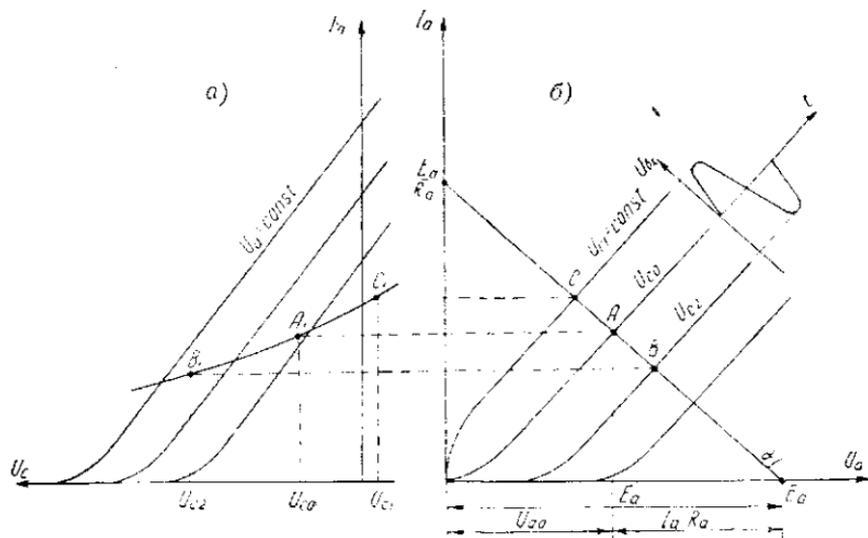


Рис. 10. Динамические характеристики триода:  
а) анодно-сеточная; б) анодная.

угла наклона прямой определяется величиной сопротивления резистора

$$\operatorname{tg} \alpha = R_a = \frac{E_a}{I_a}.$$

При  $R_a = 0$  прямая располагается вертикально, при  $R_a = \infty$  она сливается с осью  $U_a$ . Перенеся точки А, В, С в сеточную систему координат, получим *проходную динамическую*

скую характеристику лампы с нагрузкой  $R_a$  (рис. 10, а). Динамические характеристики позволяют найти изменения анодного тока и выходного напряжения в реальных условиях работы лампы, когда в ее анодной цепи включен нагрузочный резистор. Чаще всего сопротивления нагрузки лампы для постоянной и переменной составляющих анодного тока различны, т. е. различают динамические характеристики лампы для постоянного и переменного токов. Если смещение на сетке равно  $U_{c0}$ , то рабочая точка  $A$  лежит на пересечении нагрузочной прямой и характеристики лампы, соответствующей этому смещению.

Пусть на вход лампы подается низкочастотное синусоидальное напряжение  $U_{вх}$ . Изображая его на семействе выходных характеристик так, чтобы ось времени совпадала с характеристикой для  $U_{c0}$ , можно найти закон изменения тока  $I_a$  и напряжения на  $R_a$ .

**Динамические параметры триода.** Зависимость анодного тока от напряжения на сетке в динамическом режиме оценивается *динамической крутизной характеристики*

$$S_d = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} \text{ при } R_a = \text{const}, E_a = \text{const}.$$

Связь между динамической и статической крутизной выражается зависимостью

$$S_d = \frac{S}{1 + \frac{R_a}{R_t}} = \frac{\mu}{R_t + R_a} S, S_d < S.$$

*Динамический коэффициент усиления*  $\mu_d$  определяет отношение изменения анодного напряжения к изменению сеточного напряжения

$$\mu_d = - \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} \text{ при } R_a = \text{const}, E_a = \text{const}.$$

Динамический коэффициент усиления определяет усилительные свойства лампы. Связь между статическим и динамическим коэффициентами усиления имеет вид

$$\mu_d = \frac{\mu}{1 + \frac{R_t}{R_a}}.$$

Динамический коэффициент усиления можно определить, пользуясь динамическими характеристиками в анодно-сеточных и анодных координатах в отдельности.

## Лабораторное оборудование

Лампа.

Источник постоянного анодного напряжения  $E_a$ , 250 в.

Источник постоянного сеточного напряжения  $E_c$ , 6 в.

Источник переменного напряжения накала, 6,3 в.

Вольтметр  $V_a$ , 250 в.

Вольтметр  $V_c$ , 15 в.

Миллиамперметр  $mA$ , 5 ма.

Соединительные провода.

Реостат  $R_a$ , 5000 ом, 0,25 а.

Потенциометр  $R_c$ , 800 ом.

Резисторы  $R_{a1}=20$  к,  $R_{a2}=30$  к.

## Экспериментальная часть

1. Снять семейства динамических анодно-сеточных характеристик:
  - а) собрать схему (рис. 11);

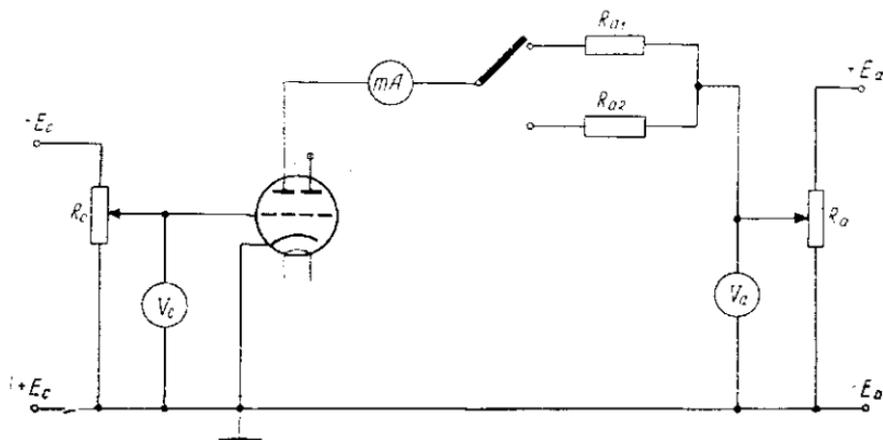


Рис. 11. Схема исследования динамического режима триода

- б) включить в анодную цепь резистор  $R_{a1}$ ;
  - в) подать на сетку максимальное напряжение;
  - г) установить анодное напряжение 200 в;
  - д) уменьшая отрицательное напряжение сетки до нуля через каждые 2 в, измерить соответствующие изменения анодного тока;
  - е) (пункты б), в), г), д) повторить для резистора  $R_{a2}$ ;
  - ж) данные измерений занести в табл. 5;
  - з) построить семейство динамических анодно-сеточных характеристик триода:  $I_a = f(U_c)$  при  $R_a = \text{const}$  и  $U_a = \text{const}$ .
2. По значениям  $R_a$  и  $E_a$  построить выходную динамическую характеристику (нагрузочную прямую) на ранее снятых статических анодных характеристиках в работе 2.
  3. По нагрузочной прямой и семейству анодных статических характеристик построить динамическую анодно-сеточную характеристику.
  4. С помощью динамических характеристик определить динамические параметры лампы  $S_d$  и  $\mu_d$ .

## Содержание отчета

1. Схема исследования, перечень измерительных приборов с указанием их основных данных.
2. Таблицы и графики снятых характеристик.
3. Сравнительная оценка характеристик.
4. Вычисленные параметры триода.
5. Вывод по работе.

Таблица 5

$R_{a1} = 20 \text{ ком}$		$R_{a2} = 30 \text{ ком}$	
$U_c, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_c, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$

## РАБОТА 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕНТОДА

Цель работы

1. Изучить устройство и работу пентодов.
2. Научиться снимать и исследовать их характеристики.
3. Изучить параметры пентодов и научиться определять их с помощью характеристик.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** В четырехэлектродной электронной лампе (тетроде) (рис. 12) между управляющей сеткой (выполняющей ту же функцию, что и в триоде) и анодом помещена вторая сетка — *экранирующая*, на которую подается положительный потенциал. Благодаря этому повышается напряженность электрического поля у катода, так как экранирующая сетка находится к нему ближе, чем анод. Следовательно, при всех прочих равных условиях наличие экранирующей сетки увеличивает ток лампы по сравнению с током триода. Более важным является то, что вторая сетка экранирует анод от катода. Поэтому изменение напряжения на аноде при неизменном напряжении на экранирующей сетке мало сказывается на величине анодного тока.

Существенно и то, что с введением экранирующей сетки резко уменьшается вредная емкость между управляющей сеткой и анодом. Это особенно важно при работе лампы в устройствах высокой частоты.

Недостаток четырехэлектродной лампы выражается в динатронном эффекте. Под *динатронным эффектом* понимают вторичную эмиссию электронов с анода вследствие бомбардировки его первичными электронами, летящими с большой скоростью от катода. Если потенциал экранирующей сетки более высокий, чем потенциал анода, то вторичные электроны пойдут от анода к экранирующей сетке, создавая при этом встречный ток, который уменьшает общий анодный ток.

Для устранения тока вторичной эмиссии пучки электронов фокусируют. Благодаря этому возле анода создается отрицательный пространственный заряд. Это осуществляется в так называемых *лучевых тетродах*, имеющих широкое при-

менение в усилителях низкой частоты. Фокусирование осуществляется лучеобразными пластинами и взаимным расположением сеток.

В пятиэлектродной лампе (пентоде) (рис. 13) для устранения токов вторичной эмиссии между анодом и экранирующей сеткой помещают третью сетку, так называемую *антидинактронную* или *защитную*. На нее подается потенциал катода. Медленно движущиеся электроны вторичной эмиссии тормозятся полем сетки и возвращаются обратно на анод.

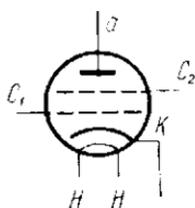


Рис. 12. Условное обозначение четырехэлектродной лампы (тетрода).

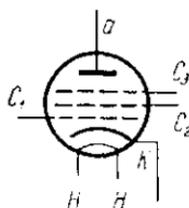


Рис. 13. Условное обозначение пятиэлектродной лампы (пентода).

Пентоды (и лучевые тетроды) имеют большой коэффициент усиления, превышающий коэффициент усиления триодов в десятки и сотни раз.

**Характеристики ламп.** Зависимость анодного тока от анодного напряжения при постоянном напряжении управляющей и экранирующей сеток выражают *анодные характеристики*

$$I_a = f_1(U_a) \text{ при } U_{c1} = \text{const}, U_{c2} = \text{const}.$$

Зависимость анодного тока и тока экранирующей сетки от напряжения управляющей сетки при постоянном напряжении на аноде и второй сетке выражают *анодно-сеточные характеристики*:

$$I_a = f_2(U_{c1}); I_{c2} = f_3(U_{c1}) \text{ при } U_a = \text{const}, U_{c2} = \text{const}.$$

Эти характеристики показаны на рис. 14.

**Статические параметры пентода.** *Крутизна анодно-сеточной характеристики* равна отношению приращения анодного тока к приращению напряжения на управляющей сетке при условии постоянства остальных напряжений

$$S = \frac{dI_a}{dU_{c1}} \text{ при } U_{c2} = \text{const}, U_a = \text{const}.$$

Внутреннее сопротивление лампы равно отношению приращения анодного напряжения к приращению анодного тока при постоянстве напряжений  $U_{c1}$  и  $U_{c2}$ .

$$R_i = \frac{dU_a}{dI_a} \text{ при } U_{c1} = \text{const}, U_{c2} = \text{const}.$$

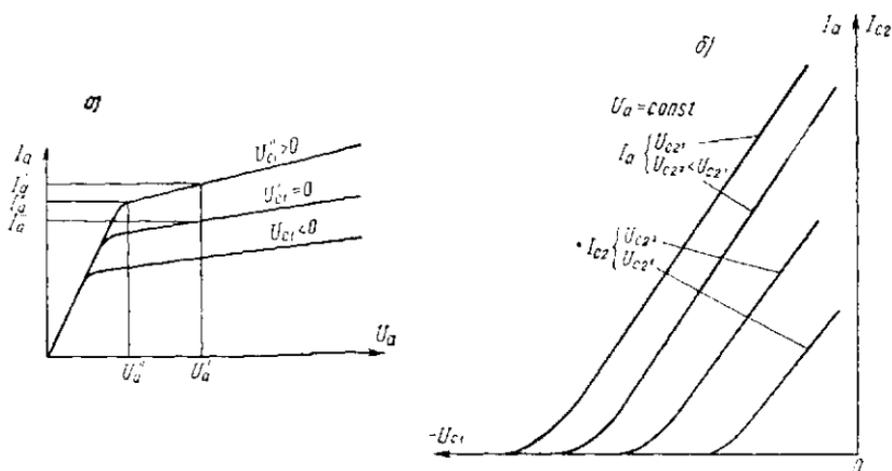


Рис. 14. Характеристики пентода:  
а) анодные; б) анодно-сеточные.

Сравнительное влияние напряжений  $U_{c1}$  и  $U_a$  на анодный ток характеризуется статическим коэффициентом усиления

$$\mu = - \frac{dU_a}{dU_{c1}} \text{ при } I_a = \text{const}, U_{c2} = \text{const}.$$

Проницаемость лампы характеризует степень проникновения силовых линий анодного поля к катоду и влияние этого поля по сравнению с полем управляющей сетки на пространственный заряд у катода, а значит, и на величину катодного тока

$$D = - \frac{dU_{c1}}{dU_a} \text{ при } I_k = \text{const}, U_{c2} = \text{const}.$$

В многоэлектродных лампах имеются сеточные токи, поэтому, как правило,  $I_a \neq I_k$  и  $\mu \neq \frac{1}{D}$ . В тетраде и пентоде правильным остается лишь соотношение

$$S \cdot R_i = \mu.$$

Отметим некоторые особенности определения статических параметров лампы по характеристикам. Пользуясь семейством анодных характеристик, можно достаточно просто найти параметры  $S$  и  $R_i$ .

Как видно из рис. 14,  $\alpha$  крутизна характеристики равна

$$\frac{I'_a - I''_a}{U'_{c1} - U''_{c1}} = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_{c1}} = S.$$

Чтобы найти внутреннее сопротивление, следует задаться некоторым приращением анодного напряжения  $\Delta U_a$ . Для пентодов, характеристики которых идут почти параллельно оси абсцисс, это приращение приходится брать достаточно большим. Величина  $R_i$  вычисляется по соотношению

$$\frac{U'_a - U''_a}{I'_a - I''_a} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = R_i.$$

Определять величину  $\mu$  по семейству анодных характеристик очень неудобно, так как прямая, проведенная из выбранной точки параллельно оси абсцисс, как правило, не пересекает в пределах полного участка соседнюю характеристику. Поэтому, найдя  $S$  и  $R_i$ , статический коэффициент усиления следует вычислить, пользуясь соотношением  $S \cdot R_i = \mu$ .

### Лабораторное оборудование

Пентод.

Миллиамперметр  $mA$ , 15  $mA$ .

Вольтметр  $V_{c1}$ , 7,5  $v$ .

Вольтметры  $V_a$  и  $V_{c2}$ , 250  $v$ .

Реостаты  $R_a$  и  $R_{c2}$  по 1450  $\Omega$ .

Реостат  $R_{c1}$ , 50  $\Omega$ , 1,4  $a$ .

Источник постоянного напряжения 220  $v$ .

Источник переменного напряжения 6,3  $v$ .

### Экспериментальная часть

1. Снять анодные характеристики пентода:
  - а) собрать схему (рис. 15);
  - б) установить напряжение на управляющей сетке — 2  $v$ ;
  - в) установить напряжение на экранирующей сетке 100  $v$ ;
  - г) изменяя анодное напряжение от нуля до 180  $v$ , измерить соответствующие изменения анодного тока по миллиамперметру;
  - д) данные измерений занести в табл. 6;
  - е) повторить пункты г) и д) для значений напряжения на управляющей сетке — 1  $v$  и 0  $v$ ;
  - ж) по полученным данным построить на одном графике семейство анодных характеристик.

2. Снять анодно-сеточные характеристики пентода:
  - а) установить напряжение анода 100 в;
  - б) установить напряжение экранирующей сетки 100 в;
  - в) изменяя напряжение управляющей сетки от 0 до -5 в через каждые 0,5 в, измерить соответствующие изменения анодного тока;
  - г) данные измерений занести в табл. 7;
  - д) повторить пункты в) и г) для значений напряжения экранирующей сетки 80 и 60 в;

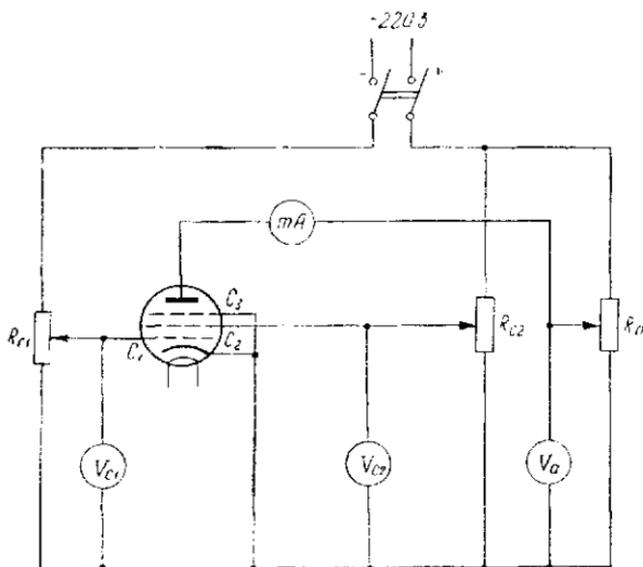


Рис. 15. Схема снятия характеристик пентода.

- е) по полученным данным построить на одном графике семейство анодно-сеточных характеристик.
3. Пользуясь характеристиками, определить параметры пентода  $R_i$ ,  $S$  и  $\mu$ .

### Содержание отчета

1. Перечень измерительных приборов с указанием их паспортных данных.
2. Рисунок цоколевки лампы.
3. Электрическая схема снятия характеристик.
4. Необходимые расчеты, таблицы и графики.
5. Вывод по работе.

Таблица 6

$U_{c1} = -2 \text{ в}$		$U_{c1} = -1 \text{ в}$		$U_{c1} = 0 \text{ в}$	
$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$

Таблица 7

$U_{c2} = 100 \text{ в}$		$U_{c2} = 80 \text{ в}$		$U_{c2} = 60 \text{ в}$	
$U_{c1}, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_{c1}, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$	$U_{c1}, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$

## РАБОТА 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

#### Цель работы

1. Изучить устройство, работу и маркировку полупроводниковых диодов.
2. Изучить характеристики и параметры полупроводниковых диодов.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** Для изготовления полупроводниковых диодов и триодов используют селен, германий, кремний, арсенид галлия, карбид кремния и другие материалы.

Чрезвычайно быстрое развитие и внедрение в практику полупроводниковых приборов объясняется их весьма ценными свойствами: длительным сроком службы (десятки лет), малой потребляемой мощностью, малыми габаритами и весом.

Однако по качественным показателям они уступают лампам. Технические характеристики их зависят от температуры окружающей среды (применение специальных схем температурной компенсации усложняет схему устройства и снижает выигрыш в потребляемой мощности, весе и габаритах аппаратуры); значительная разница в параметрах и характеристиках приборов одного типа затрудняет разработку и выпуск серийной аппаратуры, так как зачастую требуется специальный отбор приборов или же специальная регулировка при сборке; уровень собственных шумов у них выше, а диапазон рабочих частот уже (десятки мегагерц).

**Электрический ток в полупроводниках.** Все вещества и материалы по отношению к электрическому току делят на три группы: проводники, полупроводники и непроводники. Проводимость проводников объясняется движением валентных электронов в зоне проводимости. С уменьшением температуры она увеличивается, так как замедляется хаотическое движение электронов. С приближением температуры к абсолютному нулю наблюдается явление сверхпроводимости.

Проводимость непроводников практически равна нулю из-за отсутствия в них электронов проводимости.

Проводимость же полупроводников с понижением темпе-

ратуры уменьшается, так как уменьшается число высвобождаемых электронов проводимости и при температуре вблизи абсолютного нуля становится равной нулю, т. е. полупроводник превращается в непроводник.

Проводимость твердых тел зависит от структуры электронных оболочек атомов. Атом состоит из ядра, обладающего положительным зарядом, и движущихся вокруг него электронов, образующих электронную оболочку атома. Часть этих электронов тесно связана с ядром и не покидает его. Валентные же электроны при определенных условиях относительно легко оставляют данный атом. Направленное движение свободных электронов в проводнике под действием внешнего электрического поля и представляет собой электрический ток. Количество свободных электронов в металле велико, оно и обуславливает его малое удельное сопротивление. Электроны в атоме образуют энергетические группы, в каждой из которых энергия электронов близка по величине. Находясь на том или ином энергетическом уровне, электрон обладает определенным запасом энергии.

Всякое перемещение его с одного уровня на другой происходит только в результате изменения этой энергии. Уровни энергии электронов образуют энергетические зоны. Понятие *зона* вводится для того, чтобы подчеркнуть, что те или иные электроны обладают определенной энергией. Каждый атом имеет зону частично заполненную электронами. Эту зону называют *валентной*. Кроме валентной зоны, атом имеет вторую зону, называемую зоной *проводимости*. Эти обе зоны и представляют наибольший интерес, так как от энергетического состояния электронов в этих зонах зависят электрические свойства тел.

Электрон, перешедший из валентной зоны в зону проводимости, участвует в проведении тока через тело, если к последнему приложена разность потенциалов. Однако сам электрон не в состоянии переместиться в зону с большей энергией — в зону проводимости. Для этого ему должно быть сообщено определенное дополнительное количество энергии. Это дополнительное количество энергии относят к так называемой *запрещенной* зоне, которая располагается между валентной зоной и зоной проводимости. Уровень энергии, относящийся к запрещенной зоне, является запрещенным для электронов, т. е. электрон не может обладать энергией, соответствующей этой зоне. Он может иметь меньший, соответствующий валентной зоне, или больший, соответствующий зоне проводимости, уровень энергии. Такая энергетическая структура твердых тел объясняет физическую сущность разделения их на проводники, полупроводники и непроводники (рис. 16).

Валентная зона и зона проводимости у проводников перекрываются, образуя сплошную совокупность энергетических уровней. Запрещенная зона у них отсутствует, т. е. все валентные электроны участвуют в проведении тока.

В полупроводниках эти зоны разделены небольшой запрещенной зоной ( $\Delta W = 0,01 - 2,0$  электрон-вольт). Но под дей-

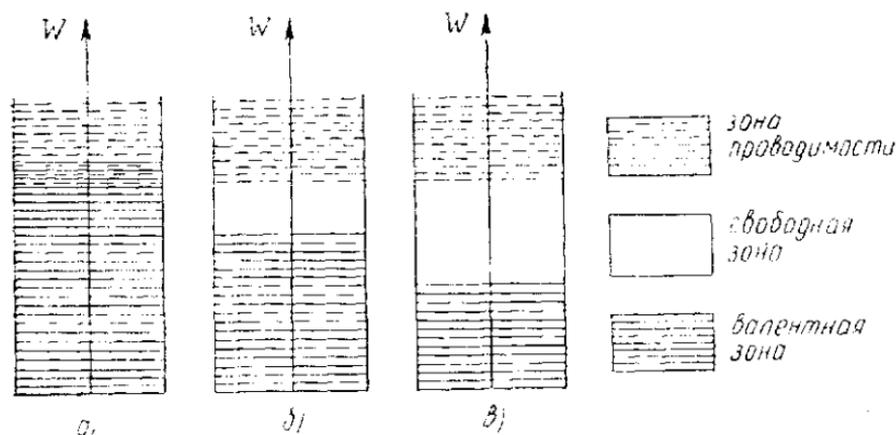


Рис. 16. Диаграммы энергетических зон в атоме:  
а) проводников; б) полупроводников; в) непроводников.

ствием внешних факторов (тепло, свет, электрическое поле и др.) энергия электронов может достигать уровня, соответствующего зоне проводимости. Электропроводность полупроводников неустойчива и в значительной степени зависит от внешних факторов.

У непроводников величина энергии запрещенной зоны настолько велика, что никакими внешними воздействиями невозможно сообщить электрону энергию, соответствующую зоне проводимости. Электропроводность у них практически близка к нулю.

Разделение твердых тел на проводники, полупроводники и непроводники весьма условно, так как четкой границы между тремя группами веществ провести нельзя, особенно между полупроводниками и непроводниками.

В полупроводниках различают два вида связи между атомами кристалла: *ионную* и *атомную*. Рассмотрим для примера структуру кристалла германия. Его атом содержит 32 электрона, в том числе четыре валентных. Атомы в кристалле германия прочно удерживаются на своих местах так называемыми *ковалентными* связями (атомными). Суть *атомной* связи состоит в том, что валентные электроны, принадлежащие соседним атомам, вступают в парную электронную

связь, т. е. движутся строго согласованно. У этих электронов появляются общие орбиты, на которых может находиться не более двух электронов. Четыре валентных электрона атома германия образуют четыре ковалентные связи с валентными электронами четырех соседних атомов. *Валентность* — это свойство атомов данного элемента присоединять определенное количество атомов других элементов. Мы рассмотрели атомную связь, которая наблюдается в таких полупроводниках, как кремний, алмаз, германий.

Рассмотрим механизм электропроводности в чистом кристалле германия. При любой температуре атомы твердого тела колеблются около узлов кристаллической решетки. Чем выше температура, тем больше амплитуда колебания. Время от времени энергия этих колебаний, отдельные значения которой могут быть значительно больше ее среднего значения, сообщается какому-либо электрону и его полная энергия оказывается достаточной для перехода из заполненной валентной зоны в зону проводимости. В этом случае он превращается в свободного носителя тока. Количество таких переходов растет с повышением температуры и число электронов в зоне проводимости увеличивается.

Уход электрона нарушает электрическую нейтральность атома, положительный заряд ядра оказывается нескомпенсированным на один единичный заряд (заряд электрона) и атом превращается в положительно заряженный ион. Поскольку этот валентный электрон был общим для двух атомов германия (участвовал в ковалентной связи), то нельзя сказать, что ионизирован один из этих атомов. Уход электрона приведет к частичной ионизации двух соседних атомов. Поэтому единичный положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона, нужно относить не к тому или иному атому, а к дефектной связи оставленной электроном. Физически переход электрона из валентной зоны в зону проводимости означает нарушение одной из валентных связей в кристаллической решетке. На месте ушедшего электрона оказывается незаполненная валентная связь, которую называют *дыркой* (рис. 17, а). Итак, с уходом электрона из валентной связи появляется *свободное* место, которое может быть занято одним из валентных электронов соседних связей.

Переход электрона соответствует перемещению дырки в обратном направлении из связи в связь. Из связи в связь также перемещается и положительный заряд. Траектория перемещения дырки носит хаотический характер до тех пор, пока отсутствует электрическое поле. Если же к кристаллу приложить электрическое поле, то положительный заряд (дырка) перемещается вдоль сил поля. Направленное дви-

жение положительного заряда (дырки) в электрическом поле и есть протекание электрического тока.

Строго говоря, носителями заряда и в этом случае являются электроны. Перенос тока осуществляется за счет поочередного перехода электронов из одной связи в другую, т. е. за счет поочередного перемещения валентных электронов в валентной зоне.

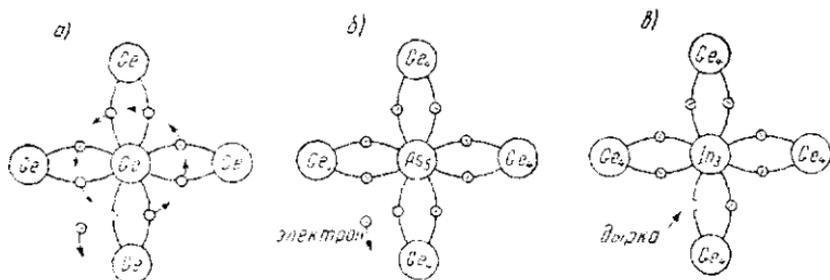


Рис. 17. Механизм проводимости полупроводников:

а) дырочная проводимость; б) примесная электронная проводимость; в) примесная дырочная проводимость.

Однако практически гораздо удобнее рассматривать непрерывное движение положительного заряда, образующегося в незаполненной связи, чем поочередное движение электронов из связи в связь. Существование положительного заряда (дырки) является реальным. Представление же о движении дырки, как о непрерывном перемещении в пространстве некоторого сосредоточенного заряда, является допущением. Не следует смешивать дырки с ионом, например, в электролите, где ионизированный атом перемещается в пространстве. В кристаллической решетке атомы не перемещаются и стационарно расположены в узлах решетки. Движение дырки есть поочередная ионизация неподвижных атомов.

Таким образом, нарушение валентной связи за счет тепловой энергии приводит к появлению в кристалле двух свободных носителей заряда: электронов и дырок. Значит, перенос электрических зарядов в полупроводнике под влиянием внешнего поля происходит не только в результате дрейфа электронов, находящихся в зоне проводимости (как в проводниках), но и вследствие дрейфа дырок (электронов) в валентной зоне. Следовательно, проводимость в полупроводнике как бы складывается из двух проводимостей:

$$\sigma = \sigma_{эл} + \sigma_{дыр}$$

Суммарную проводимость в химически чистом полупроводнике называют *собственной проводимостью*.

На процесс образования свободных электронов и дырок в полупроводнике большое влияние оказывают нарушения правильной структуры кристаллической решетки (пустые узлы, дислокации или сдвиги, возникающие при пластической деформации кристалла, микротрещины и т. д.), а также наличие атомов других элементов — примесей.

Если в структуру кристалла чистого германия ввести атом вещества, относящегося к пятой группе периодической системы элементов (например, сурьмы, мышьяка или фосфора), то этот атом также образует валентные связи с четырьмя соседними атомами германия (рис. 17, б). Однако атомы этих примесей имеют во внешней оболочке не четыре, а пять валентных электронов. Пятый электрон слабо связан со своим атомом и, получив небольшое количество дополнительной энергии, может покинуть его. А это означает, что уровни, на которых находятся такие электроны, располагаются в запрещенной зоне вблизи зоны проводимости.

В данном случае уход электрона в зону проводимости сопровождается образованием дырки, так как все валентные связи замещены. Количество энергии, необходимое для переброса такого электрона в зону проводимости, называется энергией активации примеси. Уход электрона превращает атом примеси в положительный ион. Здесь уже можно говорить об ионизации атома. Но этот положительный заряд прочно связан с кристаллической решеткой и не перемещается подобно дырке. Таким образом, появление в кристаллической решетке германия примесного атома пятой группы привело к появлению в зоне проводимости свободного электрона.

Увеличивая содержание примеси в германии, мы тем самым увеличиваем в нем количество свободных электронов. При этом число дырок не возрастает, как это имело место в случае собственной проводимости. Если концентрация электронов существенно превышает концентрацию дырок, то можно считать, что в данном кристалле ток в основном переносится электронами. Другими словами, электроны в этом случае будут *основными* носителями заряда, а дырки — *неосновными*. Такие полупроводники называют электронными или *n*-полупроводниками (от латинского *negative* — отрицательный). Атомы же примеси, поставляющие электроны в зону проводимости, называются *донорами*.

Рассмотрим теперь случай, когда в кристаллическую решетку чистого германия вводится атом третьей группы периодической системы элементов (например, индий, бор, галлий, алюминий). Внешняя электронная оболочка атома этого элемента содержит всего три валентных электрона. В кристаллической решетке германия атом подобной примеси образу-

ет только три заполненные валентные связи. Четвертая связь остается незаполненной, однако эта незаполненная связь не несет заряда, поскольку атом примеси и атом германия являются электрически нейтральными (рис. 17, в). При небольшом тепловом возбуждении электрон одной из соседних заполненных валентных связей может перейти на место этой незаполненной связи. Во внешней оболочке примеси при этом появляется лишний электрон и атом примеси превращается в отрицательный ион. Нарушается электрическая нейтральность и той связи, откуда электрон перешел. В ней появляется положительный заряд — дырка.

Атомы таких примесей, захватывающие электроны из валентной зоны полупроводника, называются *акцепторами*. Акцепторные примеси, принимающие валентные электроны на свои уровни, приводят к появлению в полупроводнике дырочной проводимости. Полупроводники с такими примесями называются *дырочными* или *p-полупроводниками* (от латинского *positive* — положительный).

Необходимо заметить, что все процессы, которые мы рассматривали, являются обратимыми. Свободный электрон может возвратиться при определенных условиях в нарушенную связь, т. е. перейти из зоны проводимости в валентную зону, заполняя в ней один из свободных уровней. Этот процесс называется *рекомбинацией*.

**Электронно-дырочный переход.** Электронно-дырочные переходы получают введением акцепторных примесей в *n*-полупроводник или донорных примесей в *p*-полупроводник. Допустим, что такие две области созданы в одном кристалле полупроводника. В *p*-области концентрация дырок (основных носителей тока) значительно превышает концентрацию электронов (неосновных носителей). В *n*-области, наоборот, концентрация электронов (основных носителей) превышает концентрацию дырок (неосновных носителей).

Таким образом, при сплавлении полупроводников с различными видами проводимости по обе стороны от границы раздела областей возникнут большие градиенты (неравенства) концентраций электронов и дырок. Неравенства концентраций электронов и дырок приводит к диффузионному их движению в сторону меньшей концентрации (рис. 18, а). В нашем случае возникает движение дырок слева направо и электронов в обратном направлении. Электроны, движущиеся справа налево, оставляют после себя положительно заряженные ионы, а дырки, идущие слева направо, оставляют после себя отрицательно заряженные ионы. Ионы акцепторов и доноров не могут участвовать в проводимости, так как они жестко связаны с кристаллической решеткой полупроводника и обладают большой массой.

Электрическая нейтральность полупроводника нарушается с одной стороны по причине ионизации доноров и акцепторов, а с другой — по причине увеличения концентрации электронов в дырочной области и дырок в электронной области. В результате дырочная область приобретает отрицательный заряд, а электронная — положительный. Между областями возникает

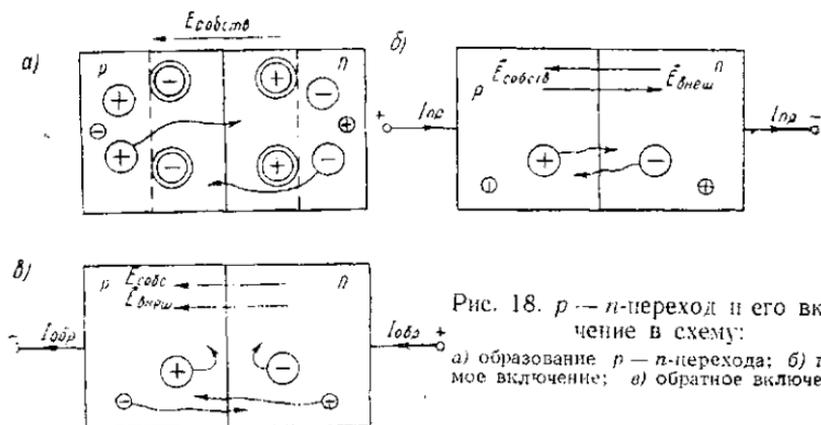


Рис. 18.  $p-n$ -переход и его включение в схему:

а) образование  $p-n$ -перехода; б) прямое включение; в) обратное включение.

контактная разность потенциалов и, естественно, электрическое поле  $E_{\text{собств}}$ , препятствующее дальнейшей диффузии электронов и дырок, т. е. в приконтактной области возникает запирающий слой, обедненный основными носителями и имеющий вследствие этого пониженную электропроводность.

Несмотря на то, что диффузионные движения электронов и дырок происходят в противоположных направлениях, токи, обусловленные перемещением этих частиц, текут в одном направлении (вдоль вектора поля), так как заряды электронов и дырок противоположны по знаку. Электрическое поле контакта, препятствуя диффузионному движению основных носителей, является ускоряющим для неосновных носителей: дырок в  $n$ -области и электронов в  $p$ -области. Под влиянием этого поля неосновные носители легко перемещаются через границу контакта, образуя дрейфовый ток, который по направлению противоположен диффузионному току основных носителей. По мере установления равновесия при контакте диффузионный ток уменьшается, а дрейфовый растет, пока не уравновесят друг друга. При равновесии  $I_{\text{диф}} + I_{\text{др}} = 0$ .

**Вольт-амперная характеристика  $p-n$ -перехода.** Рассмотрим, как изменится распределение зарядов в электронно-дырочном переходе, если на него действует внешнее электрическое поле.

Положим, что к переходу подключено внешнее напряжение,

в результате которого на  $p-n$ -переходе возникает внешнее электрическое поле  $\vec{E}_{\text{внеш}}$ , направленное навстречу собственному полю перехода (рис. 18, б). Тогда собственное поле перехода будет значительно ослаблено и через переход смогут проходить основные носители тока, т. е. электроны в  $p$ -область, а дырки

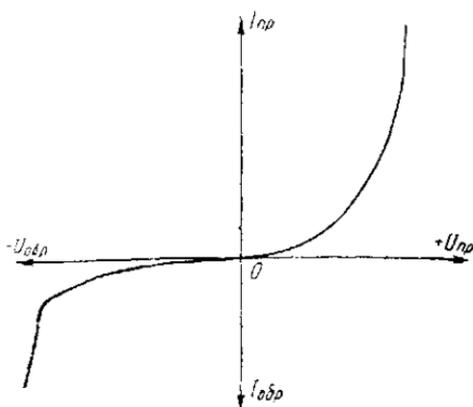


Рис. 19. Вольт-амперная характеристика  $p-n$ -перехода.

в обратном направлении. Такое направленное движение носителей и является электрическим током, т. е. через переход в данном случае течет *прямой* ток. Напряжение, приложенное к переходу, в этом случае называется *положительным* или *прямым*.

Если поменять полярность источника питания, то внешнее электрическое поле окажется направленным одинаково с собственным полем перехода и усилит его (рис. 18, в). Через переход смогут проходить только неосновные носители тока: дырки в  $n$ -области, электроны в  $p$ -области. Основные же носители через переход проходить не смогут. Ток в этом случае будет мал, так как неосновных носителей значительно меньше, чем основных. Этот ток называют *обратным*, а напряжение источника в этом случае называют *отрицательным* или *обратным*. На рис. 19 изображена характеристика перехода.

**Полупроводниковые диоды.** Полупроводниковым диодом называют прибор с двумя выводами, принцип действия которого основан на использовании свойств  $p-n$ -перехода.

К выпрямительным диодам относятся приборы, основанные на использовании односторонней проводимости  $p-n$ -перехода. Они предназначены для выпрямления переменного тока. Выпрямительные диоды подразделяются на низкочастотные

стотные, высокочастотные, сверхвысокочастотные и импульсные.

Низкочастотные выпрямительные диоды имеют ограниченный частотный диапазон, не выше 50 кГц. В основе действия всех выпрямительных полупроводниковых диодов лежит свойство односторонней проводимости  $p-n$ -перехода.

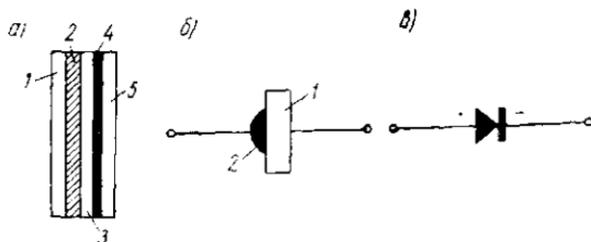


Рис. 20. Конструкция полупроводниковых диодов: а) селенового; б) германиевого плоскостного; в) условное обозначение.

В селеновых выпрямителях (рис. 20, а) запирающий слой 4 образуется в месте контакта селена 3 с металлической пластиной 5, изготовленной из сплава олова с кадмием. Алюминиевая подкладка 1, покрытая слоем висмута 2 (или стальная никелированная подкладка) с нанесенным на их поверхность слоем селена является анодом, а пластина сплава олова с кадмием — катодом. Селеновые диоды изготавливаются в виде круглых шайб диаметром от 18 до 100 мм или в виде квадратных пластин со стороной в несколько десятков миллиметров. Допустимая плотность прямого тока не превышает  $1000 \text{ а/м}^2$ , плотность обратного тока  $40 \text{ а/м}^2$ . Так как сопротивление прямому току на  $1 \text{ см}^2$  поверхности селенового диода невелико (десятки ом), то максимальное прямое напряжение обычно не превышает 1 в.

Для увеличения допустимых значений выпрямленного тока и подводимого напряжения селеновые диоды собирают в столбики или обоймы (параллельно или последовательно).

Промышленностью выпускаются следующие типы селеновых элементов: ВС, АВС и ТВС. В элементах типа АВС и ВС селен наносится на алюминиевую (АВС) или стальную (ВС) основу, являющуюся одновременно анодным выводом и радиатором.

В элементах типа ТВС алюминиевое основание служит катодом и запирающий слой расположен между алюминиевым основанием и нанесенным на него слоем селена. Анодный вывод образуется наложенной на слой селена висмути-

рованной алюминиевой фольгой. Элементы типа ТВС выдерживают повышенные (в полтора-два раза по сравнению с АВС и ВС) рабочие напряжения.

Кроме того, выпускаются выпрямители серии Е и Я. Выпрямители серии Е комплектуются из температуростойких вентиляей, серии Я собираются из элементов, способных пропускать вдвое большие плотности тока.

**Германиевые плоскостные диоды.** Электронно-дырочный переход в плоскостных германиевых диодах получают сплавлением в кристалл германия 1 акцепторной примеси индия 2 (рис. 20, б). Германиевые плоскостные диоды допускают выпрямленный ток до нескольких ампер при обратном напряжении 150—400 в. Германиевые и особенно кремниевые диоды обладают рядом существенных преимуществ перед селеновыми. У германиевых диодов допустимое обратное напряжение больше, обратный ток меньше, габариты меньше, к. п. д. выше.

Мощные германиевые выпрямители выполняются с естественным либо искусственным охлаждением.

Для увеличения обратного напряжения диоды соединяются последовательно и шунтируются резисторами. Шунтирующий резистор обеспечивает равномерное распределение обратного напряжения между диодами. Если же шунтирующий резистор отсутствует, то почти все приложенное напряжение падает на диод с самым большим обратным сопротивлением и он может быть пробит, что повлечет и пробой всех остальных диодов. Чтобы увеличить выпрямленные токи, применяют параллельное соединение диодов. Для выравнивания токов между диодами необходимо последовательно с каждым из них включать балластный резистор.

Промышленностью выпускаются германиевые выпрямительные столбы. В них последовательно соединено от 4 до 14 диодов. Они выполняются в металлическом корпусе, залитом эпоксидной смолой.

**Кремниевые плоскостные диоды.** Электронно-дырочные переходы на кремнии осуществляются сплавлением алюминия в кристалл кремния с электронной проводимостью или сплавлением сплава олова с фосфором либо золота с сурьмой в кристалл кремния с дырочной проводимостью. Методом диффузии можно получить  $p-n$ -переходы большой площади, т. е. мощные диоды.

Кремниевые диоды выдерживают большие обратные напряжения, чем германиевые. Они устойчивы в работе на предпробойном участке характеристики, благодаря чему их иногда можно использовать для последовательного соединения без шунтирующих резисторов. Недостатком кремниевых диодов является повышенное падение напряжения в прямом

направлении ( $1,0 \div 1,2$  в). Оно в 1,5—2 раза больше, чем у германиевых диодов. Допустимая плотность тока в прямом направлении равна  $2 \cdot 10^6$  а/м<sup>2</sup>, т. е. в два раза выше, чем у германиевых диодов. Большая ширина запрещенной зоны позволяет повысить рабочую температуру диодов до 125° С. Кремниевые диоды допускают пробивные напряжения до  $1000 \div 1500$  в. У них положительный электрод соединен с корпусом прибора.

Условное обозначение диодов на схемах приведено на рис. 20, в.

### Лабораторное оборудование

Диод Д226.

Реостат  $R_1$ , 1100 ом, 0,5 а.

Реостат  $R_2$ , 90 ом, 2 а.

Миллиамперметр  $mA_1$ , 300 ма.

Вольтметр  $V_1$ , 3 в.

Микроамперметр  $\mu A$ , 250 мка.

Вольтметр  $V_2$ , 300 в.

Источник постоянного напряжения, 220 в.

Селеновый выпрямитель, ВС-35-13.

Вольтметр  $V_3$ , 15 в.

Вольтметр  $V_4$ , 150 в.

Миллиамперметр  $mA_2$ , 5 ма.

Резистор  $R_3$ , 700 ом.

### Экспериментальная часть

1. Снять вольт-амперную характеристику диода:
    - а) собрать схему прямого включения диода (рис. 21, а);
    - б) изменяя напряжение от 0 до 2 в, измерить соответствующие изменения прямого тока миллиамперметром;
    - в) данные измерений занести в табл. 8;
    - г) собрать схему обратного включения диода (рис. 21, б);
    - д) изменяя напряжение от 0 до —300 в, измерить соответствующие изменения обратного тока микроамперметром;
    - е) данные измерений занести в табл. 8.
  2. Снять вольт-амперную характеристику селенового столба:
    - а) собрать схему прямого включения диодов (рис. 21, в);
    - б) изменяя напряжение от 0 до 15 в, измерить соответствующие изменения прямого тока миллиамперметром;
    - в) данные измерений занести в табл. 9;
    - г) собрать схему обратного включения диодов (рис. 21, г);
    - д) изменяя величину обратного напряжения от 0 до 110 в, измерить соответствующие значения обратного тока миллиамперметром;
    - е) данные измерений занести в табл. 9.
- Необходимые расчетные формулы:

$$U_n = \frac{U}{n}; P = U_n \cdot I,$$

где  $n$  — число шайб в столбе;

$U_n$  — напряжение на одну шайбу.

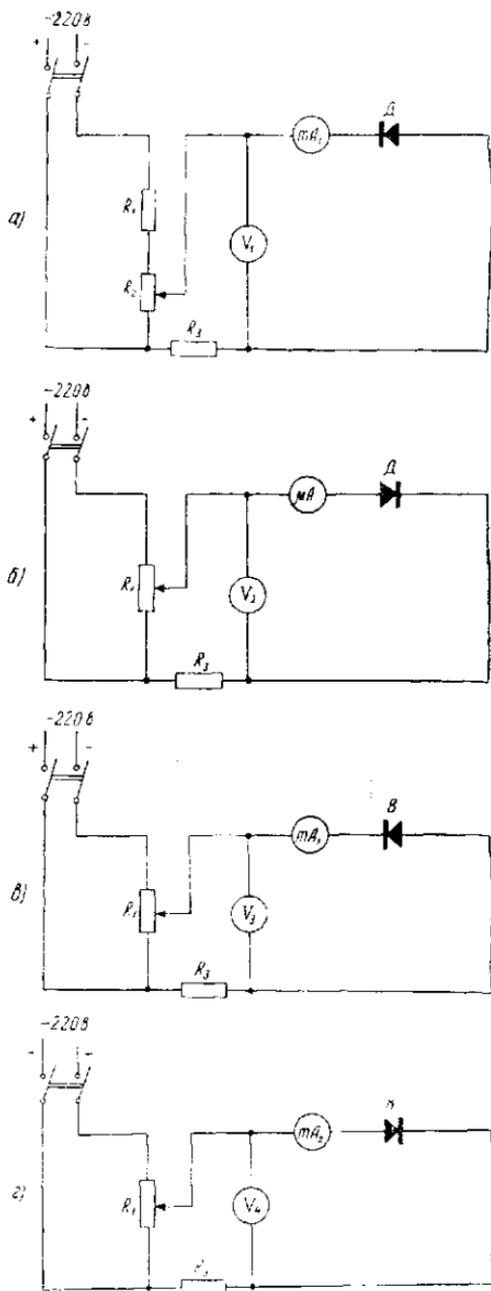


Рис. 21. Схемы снятия характеристик полупроводниковых диодов:  
 а) прямое включение; б) обратное включение; в) прямое включение селенового столба;  
 г) обратное включение селенового столба.



## РАБОТА 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРОВ

#### Цель работы

1. Изучить статические и динамические характеристики и параметры транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером.
2. Поучиться снимать и анализировать статические характеристики транзисторов.
3. Научиться определять статические параметры транзисторов по графикам статических характеристик.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** *Транзистором* называют полупроводниковый прибор, имеющий три и более электродов, предназначенный для усиления и генерирования колебаний. Происходящее в этом приборе преобразование малого входного сопротивления в большое выходное и определило его наименование *преобразователь сопротивлений* (английский термин — транзистор). В настоящее время распространены транзисторы на основе германия или кремния, различающиеся характером переходов  $n-p-n$  и  $p-n-p$ . Рассмотрим устройство и физические процессы, протекающие в транзисторах обоих типов. Они имеют два  $p-n$ -перехода, полученные в одном монокристалле германия или кремния на границах трех электродов: эмиттера, базы и коллектора.

В условных обозначениях транзистора на схемах стрелка, изображающая эмиттерный электрод, показывает направление протекания постоянной составляющей тока.

**Транзистор типа  $n-p-n$ .** Нижняя  $n$ -область в транзисторе (рис. 22) называется *эмиттером*, так как она эмиттирует (посылает) электроны в среднюю область. Средняя  $p$ -область называется *базой* или *управляющим электродом*. Верхняя  $n$ -область, принимающая электроны, называется *коллектором*. Нижний  $p-n$ -переход называется *эмиттерным*, а верхний — *коллекторным*. Каждый из двух переходов может быть включен либо в прямом, либо в обратном направлении. Соответственно различают три режима работы транзистора: 1) режим отсечки, когда оба перехода закрыты; 2) режим насыщения, когда оба перехода открыты; 3) активный режим, когда эмиттерный переход частично открыт, а коллекторный закрыт.



электронов. Число электронов, протекающих через эмиттерный переход, зависит от величины дырочного тока  $I_B$ .

Подав напряжение на коллекторный переход в обратном направлении, получим обратный ток через коллекторный переход, вызываемый избытком электронов на базе,  $I_K$ . Этот ток представляет движение электронов от эмиттера через базу на коллектор под действием внешнего электрического поля, приложенного к коллектору  $\vec{E}_{КБ}$ . Таким образом, ток эмиттера будет равен сумме двух токов:  $I_E = I_K + I_B$ .

Если, подав входной сигнал на базу, менять ток в цепи базы, то будет изменяться число электронов, поступающих из эмиттера на базу и далее на коллектор, а следовательно, будет изменяться величина коллекторного тока.

**Транзистор типа  $p-n-p$ .** Отличие от предыдущей схемы заключается в том, что в данной схеме (рис. 23) изменяется

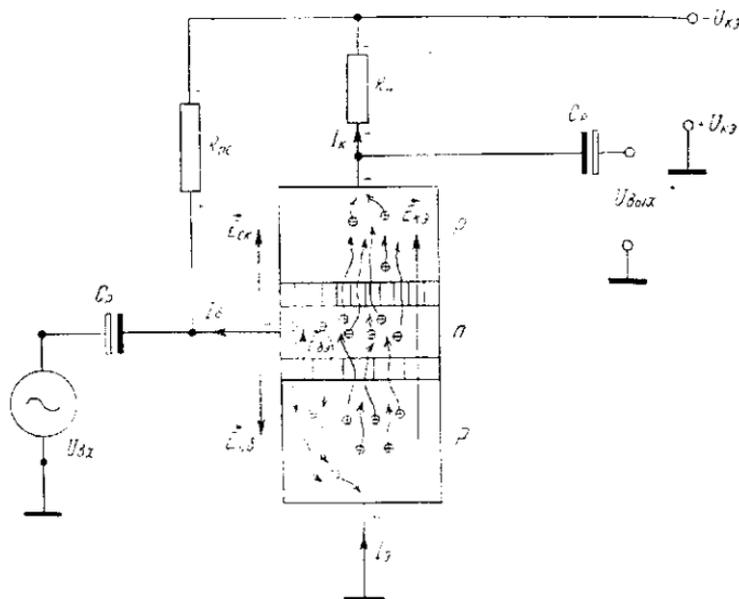


Рис 23. Схема работы транзистора типа  $p-n-p$ .

полярность прилагаемых к базе и коллектору напряжений. Эмиттер, представляющий собой область германия или кремния с дырочной проводимостью, будет посылать дырки в базу. Под действием напряжения смещения, приложенного к эмиттерному переходу, собственное поле перехода  $\vec{E}_{СБ}$  значительно ослабляется, что позволяет зарядам беспрепятственно перемещаться

через переход. Сопротивление эмиттерного перехода уменьшается и по переходу течет базовый ток смещения, представляющий движение электронов из базы в эмиттер. В результате прохождения тока между базой и эмиттером сопротивление эмиттерного перехода значительно уменьшится, но так как толщина слоя базы очень мала ( $10^{-3}$  см), то падает и сопротивление коллекторного перехода.

Под действием поля коллекторной батареи дырки из эмиттера поступают через ослабленный эмиттерный переход на базу и далее на коллектор и батарею питания, увеличивая обратный коллекторный ток  $I_{\text{к}}$ . Этот ток зависит от напряжения коллекторной батареи и от сопротивления коллекторного перехода.

Сопротивление же коллекторного перехода в обратном направлении зависит от тока базы.

Изменение тока в цепи базы приводит к аналогичному изменению тока в цепи коллектора. Сопротивление же в цепи коллектора намного больше, чем в цепи базы, и соответственно в цепи коллектора действуют большие падения напряжений. Поэтому в транзисторе происходит усиление мощности. При этом прохождение носителей тока через цепь коллектора отбирает от источника питания значительно большее количество энергии, чем было затрачено на введение носителей в базу. Транзистор принципиально отличается от лампы тем, что требует расхода мощности в управляющей цепи.

Поскольку транзистор имеет три электрода — эмиттер, базу и коллектор, то для использования его в качестве усилителя входной сигнал можно подавать на два любых электрода и с двух других снимать усиленный сигнал. При этом один из электродов обязательно будет общим. Он и определяет название схемы включения транзисторов.

**Схема с общим эмиттером.** В этой схеме (рис. 24, а) входной цепью транзистора служит цепь базы. Источник сигнала, подлежащий усилению, включается между базой и эмиттером, а сопротивление нагрузки — в цепь коллектора. Общим электродом, относительно которого измеряются напряжения, является эмиттер. Схема дает значительное усиление по напряжению, достигающее 5000, и меньшее усиление по току, достигающее значений  $\leq 100$ . Схема имеет большое усиление по мощности, достигающее 40 дб. Входное сопротивление схемы достигает значений  $\leq 2000$  ом. Значительное входное сопротивление схемы позволяет применить в схеме переходные конденсаторы меньшей емкости. Выходное сопротивление достигает значений 100 ком.

Эта схема изменяет фазу сигнала на выходе на  $180^\circ$  по сравнению со входом.

Схеме с общим эмиттером соответствует ламповая схема

с общим катодом. Благодаря простоте и компактности схема находит наибольшее применение.

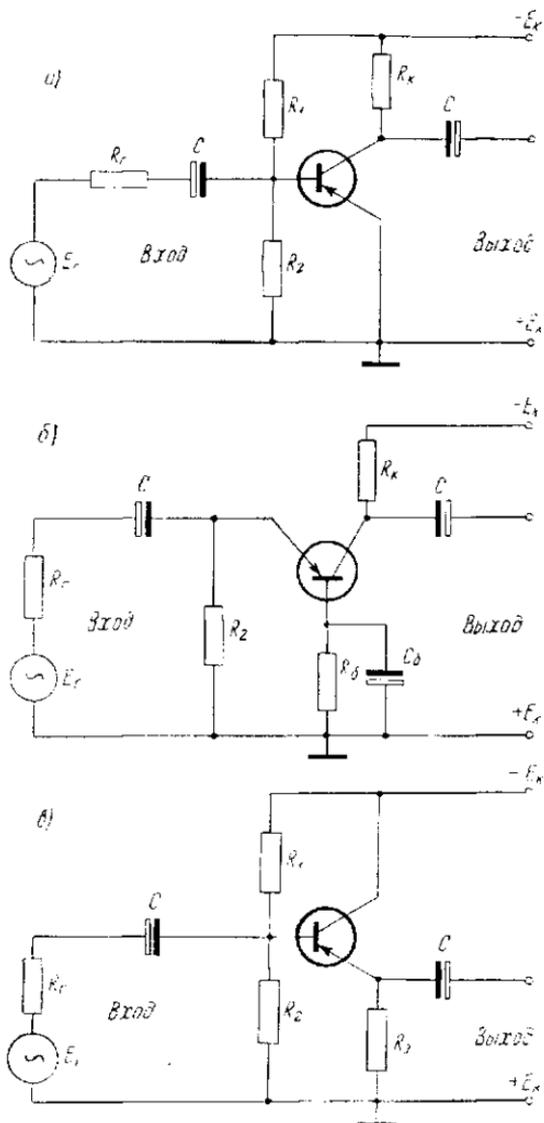


Рис. 24. Схемы включения транзисторов:  
 а) с общим эмиттером; б) с общей базой; в) с общим коллектором.

**Схема с общей базой.** База в этой схеме (рис. 21, б) является общим электродом для входной и выходной цепей транзистора. Нагрузка включена в цепь коллектора, а входной сигнал подается в цепь эмиттера. Схема имеет малое

входное сопротивление ( $\leq 100 \text{ ом}$ ). Выходное сопротивление схемы велико и может достигать значений до  $1 \text{ Мом}$ . Усиление по току в схеме отсутствует, а усиление по напряжению такое же, как и в схеме с общим эмиттером. Усиление по мощности в данной схеме несколько ниже и равно  $30 \text{ дб}$ . Схеме с общей базой соответствует ламповая схема с общей сеткой. Схема может быть применена в качестве входной при получении сигнала от прибора с низкоомным выходом (низкоомный электромагнитный звукосниматель, динамический микрофон и др.).

**Схема с общим коллектором.** В схеме (рис. 24, в) общим электродом является коллектор, входной цепью служит цепь базы, а выходной — цепь эмиттера. Источник входного сигнала включен между базой и коллектором. Такое включение транзистора отличается высоким входным ( $\leq 200 \text{ ком}$ ) и низким выходным сопротивлением ( $\leq 10 \text{ ком}$ ). Схема с общим коллектором называется *эмиттерным повторителем*. Ей соответствует ламповая схема катодного повторителя. Поскольку все выходное напряжение в схеме оказывается введенным в цепь эмиттерного перехода в противоположной входному сигналу полярности, эта схема характеризуется глубокой отрицательной обратной связью и не дает усиления по напряжению. Усиление по току составляет 100. Усиление по мощности — не более  $15 \text{ дб}$ . Схема с общим коллектором используется во входных каскадах усилителей или для согласования двух каскадов усилителя, т. е. согласования большого выходного сопротивления предыдущего каскада с малым входным сопротивлением следующего, обычно выходного, каскада.

Наибольший интерес представляет схема с общим эмиттером.

При включении с общим эмиттером на входе расходуется значительно меньшая мощность сигнала, чем при включении по схеме с общей базой, но возрастает коэффициент нелинейных искажений. При замене транзистора схема с общим эмиттером более стабильна, чем схема с общей базой. Включение транзистора по схеме с общим эмиттером позволяет получить от каскада наибольшее усиление. Схема с общим коллектором также чувствительна к замене транзистора и требует примерно такой же мощности входного сигнала, как и схема с общей базой, но зато эта схема дает очень малый коэффициент нелинейных искажений при малом сопротивлении источника сигнала. В первом каскаде усилителя при высоком сопротивлении источника сигнала (порядка  $10 \text{ ком}$  и выше) транзистор целесообразно включать с общим коллектором. Для схемы с общей базой коэффициент усиления по току меньше единицы. Это вызвано действием 100-про-

центной обратной связи по току, когда весь выходной ток передается обратно во входную цепь. Параллельная обратная связь уменьшает входное сопротивление каскада. Из-за очень низкого входного сопротивления схема с общей базой не получила широкого распространения.

**Статические характеристики транзистора** (для схемы с общим эмиттером). Низкочастотные свойства транзистора как активного элемента определяются семейством его базовых и коллекторных характеристик.

**Базовые характеристики** (входные) выражают зависимость тока базы от напряжения базы при постоянном напряжении коллектора (рис. 25, а). При отсутствии напряже-

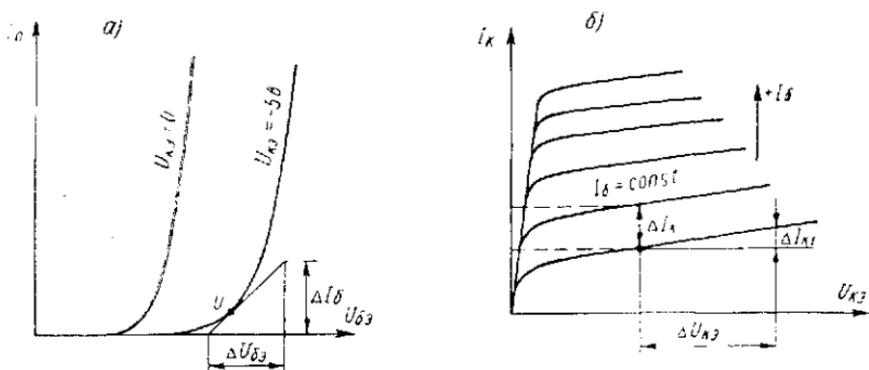


Рис. 25. Статические характеристики транзистора при включении с общим эмиттером:

а) входные; б) выходные.

ния на коллекторе эта характеристика подобна характеристике диодного  $p-n$ -перехода. Если же напряжение коллектора увеличить, то часть зарядов эмиттера попадет на коллектор, ток базы уменьшится и характеристика сместится. Более того, при малых значениях напряжения  $U_{бэ}$  ток базы становится отрицательным. Характеристики для транзисторов  $n-p-n$  будут отличаться знаком напряжений коллектора и базы.

Касательная к характеристике дает значение входного сопротивления в данной точке.

**Коллекторные характеристики** (выходные) выражают зависимость тока коллектора от напряжения коллектора при постоянном токе базы (рис. 25, б). Эти характеристики напоминают анодные характеристики пентода. При малых отрицательных напряжениях коллектора ток коллектора резко уменьшается. Пологие почти горизонтальные участки этих

характеристик начинаются уже при малом напряжении на коллекторе, когда почти все электроны, диффундирующие в базовую область, принимаются им. Дальнейшее повышение  $U_{\text{к}}$  почти не увеличивает тока. При повышении температуры коллекторные характеристики сдвигаются вверх.

**Параметры транзистора.** При работе транзистора в активном режиме (в качестве усилителя) один из его зажимов является входным, другой — выходным, а третий — общим, т. е. транзистор имеет два входных и два выходных зажима. В тех случаях, когда на электрическую цепь подается сигнал между двумя точками схемы, а с двух других точек он снимается, мы имеем дело с четырехполюсником. Чтобы рассчитать конкретную схему на транзисторах, необходимо составить эквивалентную схему и связать ее параметры с параметрами четырехполюсника.

Параметрами четырехполюсника являются величины  $Z$ ,  $Y$  и  $H$ , имеющие разные размерности:  $Z$ -параметры имеют размерность сопротивлений,  $Y$ -параметры — размерность проводимостей, а  $H$ -параметры являются смешанными.

Параметр с индексом 11 характеризует входное сопротивление или проводимость, параметр с индексом 22 — выходное сопротивление или проводимость, параметр с индексом 21 характеризует связь между входом и выходом, т. е. усилительные свойства схемы, и, наконец, параметр с индексом 12 характеризует связь между выходом и входом, т. е. внутреннюю обратную связь. Эти параметры в общем случае являются комплексными величинами, однако в диапазоне низких частот, когда реактивные составляющие параметров проявляются очень слабо и ими можно пренебречь, коэффициенты могут быть записаны в виде вещественных величин. Значит, параметры  $Z_{11}$ ,  $Z_{12}$ ,  $Z_{21}$ ,  $Z_{22}$  заменяются на  $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{21}$ ,  $R_{22}$ , параметры  $Y_{11}$ ,  $Y_{12}$ ,  $Y_{21}$ ,  $Y_{22}$  на  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{21}$ ,  $y_{22}$  и, наконец,  $H_{11}$ ,  $H_{12}$ ,  $H_{21}$ ,  $H_{22}$  на  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$ . Это упрощает расчетные формулы и эквивалентную схему.

Применительно к транзисторам из всех систем параметров  $R$ ,  $y$ ,  $h$  чаще всего используется система уравнений с коэффициентами в виде  $h$ -параметров, как наиболее удобная. Система уравнений с  $h$ -параметрами содержит в качестве коэффициентов наиболее важные величины, характеризующие транзистор. Величины  $h$ -параметров рассчитываются для условий часто встречающихся при работе транзистора — холостой ход на входе и короткое замыкание на выходе. При сделанном предположении система уравнений для  $h$ -параметров будет иметь вид:

$$\begin{aligned}U_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}U_2; \\I_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}U_2.\end{aligned}$$

В качестве независимых переменных здесь приняты одновременно и ток на входе  $I_1$ , и напряжение на выходе  $U_2$ , вследствие чего параметры системы имеют различные размерности и сама система называется *смешанной*. Если транзистор поставлен в режим короткого замыкания на выходе, то это означает, что сопротивление нагрузки для переменного тока и напряжение на выходе равны нулю и уравнения принимают вид:

$$U_1 = h_{11} \cdot I_1; \quad I_2 = h_{21} \cdot I_1,$$

откуда

$$h_{11} = \frac{U_{1кз}}{I_{1кз}}; \quad h_{21} = \frac{I_{2кз}}{I_{1кз}}.$$

Режим холостого хода на входе в транзистор означает, что его входная цепь представляет для переменного тока бесконечно большое сопротивление. Ток  $I_1 = 0$ , и уравнения принимают вид:

$$U_1 = h_{12} \cdot U_2; \quad I_2 = h_{22} \cdot U_2,$$

откуда

$$h_{12} = \frac{U_{1хх}}{U_{2хх}}; \quad h_{22} = \frac{I_{2хх}}{U_{2хх}}.$$

Величины  $h$ -параметров любой системы уравнений можно определить по характеристикам транзистора. Выясним физический смысл отдельных  $h$ -параметров транзистора.

$h_{11}$  — *входное сопротивление* при коротком замыкании выходной цепи. Оно выражает отношение изменения напряжения базы к вызванному им изменению тока базы при постоянном напряжении коллектора

$$R_{вх} = \frac{\Delta U_6}{\Delta I_6} \text{ при } U_k = \text{const}$$

Здесь  $R_{вх}$  — сопротивление между выводами базы и эмиттера. Оно составляет 400—2000 ом.

$h_{22}$  — *выходная проводимость* при холостом ходе входной цепи. Она выражает величину, обратную выходному сопротивлению транзистора.

*Выходным сопротивлением* транзистора называется отношение изменения напряжения коллектора к изменению тока коллектора при постоянном токе базы

$$R_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{к}}} \text{ при } I_{\text{б}} = \text{const.}$$

Здесь  $R_{\text{вых}}$  — сопротивление между выводами коллектора и эмиттера, оно равно 25—100 ком.  $h_{22}$  составляет  $10^{-6}$  ом<sup>-1</sup>.

*Коэффициент усиления по току* при коротком замыкании выходной цепи  $\beta$  ( $h_{21}$ ) выражает отношение изменения тока коллектора к вызвавшему его изменению тока базы при постоянном напряжении коллектора

$$\beta = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}} \text{ при } U_{\text{к}} = \text{const, } \beta = 10 \div 100.$$

Коэффициент усиления по току показывает, во сколько раз прирост тока коллектора превосходит вызвавшую его величину прироста тока базы.

Усилительные свойства транзистора объясняются тем, что ток коллектора гораздо чувствительнее к изменениям напряжения на базе, чем к изменениям напряжения на коллекторе. В схеме с общим эмиттером возможно достигнуть усиления как по току, так и по напряжению. Усиление по мощности может достигать величины, равной произведению коэффициентов усиления по току и напряжению, что является достоинством этой схемы.

*Коэффициент обратной связи* по напряжению при холостом ходе входной цепи  $h_{12}$  выражает отношение изменения напряжения базы к вызвавшему его изменению напряжения коллектора при постоянном токе базы

$$h_{12} = \frac{\Delta U_{\text{б}}}{\Delta U_{\text{к}}} \text{ при } I_{\text{б}} = \text{const.}$$

Усилительные свойства транзистора зависят от частоты сигнала. Основной характеристикой высокочастотных свойств транзистора является граничная частота по току  $f_{\rho}$ .

Параметры транзисторов  $h_{11}$ ,  $h_{22}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  приводятся в каталожных данных транзисторов. Их можно определить и по характеристикам.

### Лабораторное оборудование

Транзистор типа  $p-n-p$ .

Реостат  $R_2$ , 500 ом.

Реостат  $R_1$ , 100 ом.

Резисторы  $R_4$ —500 ом,  $R_3$ —3000 ом.

Вольтметр  $V_2$ , 15 в.  
 Милливольтметр  $V_1$ , 750 мв.  
 Миллиамперметр  $mA_1$ , 300 ма.  
 Миллиамперметр  $mA_2$ , 300 ма.  
 Источники постоянного напряжения 6 и 110 в.

### Экспериментальная часть

1. Снять семейство базовых (эмиттерных) характеристик транзистора:
  - а) собрать схему (рис. 26);

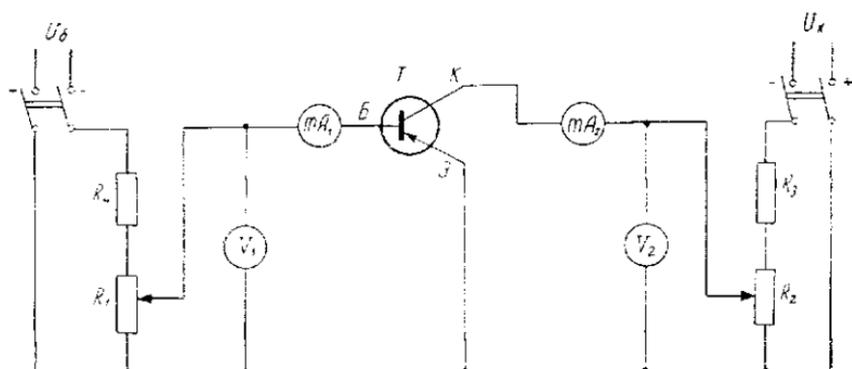


Рис. 26. Схема снятия характеристик транзистора.

- б) установить отрицательное напряжение коллектора 4 в;
- в) изменяя напряжение базы от 0 до 0,2 в, измерить соответствующие значения тока базы миллиамперметром;
- г) данные измерений занести в табл. 10;
- д) пункты в) и г) повторить для напряжения коллектора, равного нулю;
- е) построить семейство базовых характеристик

$$I_b = f(U_b) \text{ при } U_{кэ} = \text{const.}$$

2. Снять семейство коллекторных характеристик:
  - а) установить ток базы 20 ма;
  - б) изменяя отрицательное напряжение коллектора от 0 до 15 в, измерить соответствующие значения тока коллектора миллиамперметром;
  - в) данные измерений занести в табл. 11;
  - г) повторить пункты б) и в) для значений тока базы 40 и 60 ма;
  - д) построить семейство коллекторных характеристик

$$I_k = f_1(U_k) \text{ при } I_b = \text{const.}$$

3. Пользуясь базовыми и коллекторными характеристиками, построить характеристику прямой передачи

$$I_k = f_2(I_b) \text{ при } U_{кэ} = \text{const.}$$

4. Используя графики характеристик, определить параметры транзистора  $R_{вх}$ ,  $R_{вых}$ ,  $\beta$ .
5. Провести анализ снятых характеристик.

## Содержание отчета

1. Перечень измерительных приборов.
2. Схема исследования транзистора.
3. Необходимые расчеты, графики характеристик и таблицы.
4. Вывод по работе.

Таблица 10

$U_K = -4 \text{ в}$		$U_K = 0 \text{ в}$	
$U_B, \text{ мв}$	$I_B, \text{ ма}$	$U_B, \text{ мв}$	$I_B, \text{ ма}$

Таблица 11

$I_B = 20 \text{ ма}$		$I_B = 40 \text{ ма}$		$I_B = 60 \text{ ма}$	
$U_K, \text{ в}$	$I_K, \text{ ма}$	$U_K, \text{ в}$	$I_K, \text{ ма}$	$U_K, \text{ в}$	$I_K, \text{ ма}$

## РАБОТА 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРАТРОНА

#### Цель работы

1. Изучить основные характеристики и параметры тиратрона.
2. Научиться снимать и анализировать его характеристики.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

К наиболее распространенным газонаполненным приборам с подогревным катодом относятся газотрон и тиратрон. В них источником электронов является нагретый катод. Под действием электрического поля электроны устремляются к аноду. Сталкиваясь на пути с молекулами газа, они ионизируют их. Этот процесс проходит лавинообразно до установления равновесного состояния. В результате возникает дуговой разряд. Максимальная величина тока, который можно пропустить через такой прибор, ограничивается только возможностями катода. Малое падение напряжения (9—20 в) на участке катод - анод и независимость его от величины тока являются основными особенностями, отличающими газонаполненные приборы от вакуумных.

*Газотроном* называют двухэлектродную лампу с металлическим или угольным анодом и оксидным катодом, стеклянная колба которой заполнена парами ртути или инертным газом. Газотроны используют для выпрямления переменных токов величиной в несколько десятков ампер. Газотроны и тиратроны работают в режиме несамостоятельной дуги (дуга будет самостоятельной при отсутствии подогрева).

Если напряжение между анодом и катодом меньше напряжения зажигания газотрона, ток через него равен нулю. Когда напряжение газотрона достигает величины напряжения зажигания, дуга зажигается, ток газотрона скачком возрастает и падение напряжения уменьшается до 9—20 в. Дуга гаснет, когда внешнее напряжение, приложенное к газотрону, становится меньше напряжения зажигания. Если внешнее напряжение включено в момент, когда катод еще полностью не прогрелся (эмиссия его недостаточна), положительные ионы бомбардируют катод с увеличенными ско-



поля анода приобретают энергию, достаточную для ионизации инертного газа или паров ртути в баллоне. В дальнейшем напряжение на сетке уже не влияет на величину анодного тока, так как большое количество положительных ионов нейтрализует заряд сетки (участок  $CD$ ). Величина анодного тока через прибор определяется добавочным резистором в цепи анода.

*Анодные характеристики* газотрона и тиратрона отличаются от характеристик триода только большей крутизной. Анодно-сеточная характеристика тиратрона (рис. 27) представляет зависимость анодного тока и тока сетки от напряжения на сетке при постоянном анодном напряжении, т. е.:

$$I_a = f(U_c) \text{ при } U_a = \text{const};$$

$$I_c = f_1(U_c) \text{ при } U_a = \text{const}.$$

При анодном напряжении  $U_a'$  она имеет вид ломаной линии  $ABCD$ . Если понизить анодное напряжение до  $U_a''$ , то зажигание тиратрона произойдет при большем потенциале сетки и анодный ток достигнет меньшего значения (линия  $A'B'C'D'$ ). Сравнивая анодно-сеточные характеристики, снятые при различных напряжениях на аноде, можно заметить, что при более отрицательном потенциале сетки тиратрон зажигается при большем положительном потенциале анода.

На этом же графике показано семейство соответствующих *сеточных характеристик* тиратрона т. е.  $I_c = f_1(U_c)$  при  $U_a = \text{const}$ .

*Пусковые характеристики* тиратрона (рис. 28) выражают зависимость потенциала зажигания от потенциала сетки при постоянном сопротивлении резистора в цепи сетки:

$$U_z = f_2(U_c) \text{ при } R_c = \text{const}.$$

Рассматривая пусковую характеристику тиратрона, можно заключить, что для зажигания тиратрона при более отрицательном потенциале сетки требуется большее положительное напряжение на аноде. Ход пусковой характеристики зависит от температуры, частоты повторения циклов зажигания и от величины сопротивления резистора, включенного в цепь сетки тиратрона. При большем сопротивлении резистора характеристика сдвигается вниз.

Тиратроны применяются в качестве релейных усилителей тока (коэффициент усиления их достигает миллиона и выше) и в качестве управляемых выпрямителей, средний ток которых можно регулировать, изменяя фазу сеточного напряжения относительно анодного. В анодную цепь тиратрона, как

и в схему любого газонаполненного прибора, обязательно должен быть включен резистор для ограничения анодного тока.

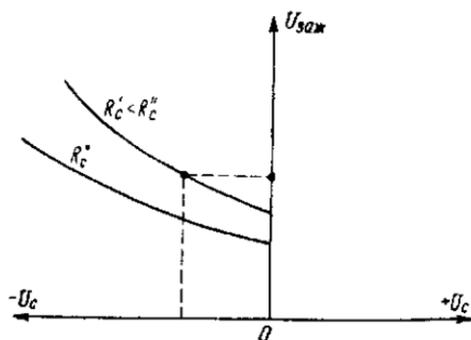


Рис. 28. Пусковые характеристики тиратрона.

Основным достоинством тиратронов является очень большое усиление тока и мощности, высокий к. п. д. К недостаткам тиратрона следует отнести: невозможность плавного изменения анодного тока, большую мощность накала, большой сеточный ток и необходимость предварительного прогрева.

После зажигания прибора в цепи сетки возникает значительный ток. Чтобы уменьшить его, в эту цепь включается последовательно резистор, имеющий достаточно большое сопротивление. Для защиты катодов от бомбардировки тяжелыми ионами, им придают специальную форму и расположение и заключают в защитные экраны.

### Лабораторное оборудование

Тиратрон ТГ1-0,1/0,3.

Вольтметр  $V_c$ , 30 в.

Вольтметр  $V_a$ , 250 в.

Микроамперметр  $\mu A$ , 50  $\mu A$ .

Миллиамперметр  $mA$ , 100  $mA$ .

Реостат  $R_2$ , 3000  $\Omega$ , 0,25 а.

Реостат  $R_1$ , 2800  $\Omega$ , 0,25 а.

Резистор  $R$ , 20  $\Omega$ .

Потенциометр  $R_3$ , 22  $\Omega$ .

Резистор  $R_4$ , 500  $\Omega$ .

Резистор  $R_5$ , 300  $\Omega$ .

Источники постоянного напряжения 110 и 220 в.

## Экспериментальная часть

1. Снять пусковую характеристику тиратрона при различных значениях сопротивления резистора в цепи сетки:

а) собрать схему исследования (рис. 29);

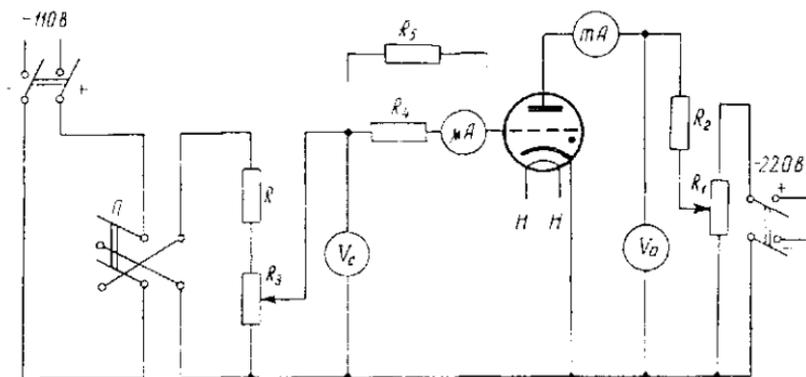


Рис. 29. Схема снятия характеристик тиратрона.

- б) включив накал тиратрона, прогреть его в течение 1 минуты;
- в) установить на сетке нулевое напряжение;
- г) включить анодное напряжение и, повышая потенциал анода, определить величину напряжения зажигания и горения тиратрона;
- д) изменяя напряжение сетки от 0 до  $-20$  в через каждые 5 в, измерить соответствующие напряжения зажигания и горения тиратрона;
- е) данные измерений занести в табл. 12;
- ж) пункты д) и е) повторить для сопротивления резистора в цепи сетки, равного 500 ом;
- з) по данным таблицы построить пусковую характеристику тиратрона.
2. Снять анодно-сеточную характеристику тиратрона:
- а) установить на сетке запирающее напряжение  $-20$  в при нулевом анодном напряжении;
- б) установить анодное напряжение 70 в;
- в) медленно увеличивать потенциал сетки до момента зажигания тиратрона и в момент зажигания определить величину отрицательного потенциала сетки, величину анодного и сеточного тока и величину напряжения горения;
- г) изменяя потенциал сетки от  $-10$  в до  $+10$  в, измерить соответствующие значения анодного тока и тока сетки;
- д) пункты б), в), г) повторить при анодном напряжении 100 в;
- е) данные измерений занести в табл. 13;
- ж) построить графики зависимости анодного тока и тока сетки от потенциала сетки при значениях анодного напряжения 100 и 70 в.

## Содержание отчета

1. Электрическая схема исследования.
2. Перечень электроизмерительных приборов с указанием класса точности, пределов измерений и цены деления.
3. Графики и таблицы.



## РАБОТА 8

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РТУТНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

#### Цель работы

1. Изучить устройство и работу ртутных выпрямителей.
2. Овладеть техникой пуска и правильной эксплуатацией выпрямительного устройства.
3. Научиться снимать и анализировать характеристики ртутного выпрямителя.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Приборы дугового разряда с ртутным катодом отличаются большим сроком службы, высоким к. п. д. и готовностью к работе в любой момент времени. Ртутные выпрямители выполняются стеклянными (из молибденового стекла) и металлическими. Колба заполнена парами ртути при давлении порядка  $10^{-3}$  мм рт. ст. В колбу впаяны два железных или графитовых электрода  $A_1$  и  $A_2$  — главные аноды (рис. 30). Катодом является жидкая ртуть. Рядом с катодом в колбе имеется углубление, в которое также налита ртуть. Здесь находится анод зажигания  $a_3$ .  $A_1$  и  $A_2$  соединены с концами вторичной обмотки силового трансформатора  $Tr$ . К катоду подключают нагрузку. Второй провод, идущий от нагрузки, соединяют со средней точкой  $O$  вторичной обмотки  $Tr$ . Дроссель повышает устойчивость разряда. Создавая сдвиг фаз, он поддерживает ток при уменьшении напряжения и облегчает переход разряда с одного анода на другой.

Для зажигания разряда применяют вспомогательную цепь, состоящую из анода зажигания, кнопки и резистора. Включив сетевой рубильник, сначала слегка наклоняют колбу до соприкосновения поверхностей ртути катода и анода зажигания, а затем нажимают кнопку. Под действием напряжения вторичной обмотки трансформатора ток проходит по цепи через нагрузку и дроссель. После выпрямления колбы специальной ручкой контакт между анодом и катодом нарушается. В этом месте образуется мощное электрическое поле, вырывающее электроны из ртути. Электроны двигаются к тому из анодов ( $A_1$  и  $A_2$ ), который имеет в данный момент положительный потенциал по отношению к катоду. По

пути электроны ионизируют газ. Во второй полупериод дуга перебрасывается ко второму аноду и т. д. При этом в нагрузку поступает ток то с одной, то с другой половины вторичной обмотки трансформатора.

Стеклянные выпрямители применяются для зарядки аккумуляторных батарей, питания дуговых фонарей киноаппаратов, силовой и осветительной сети постоянного тока, для целей электролиза и др.

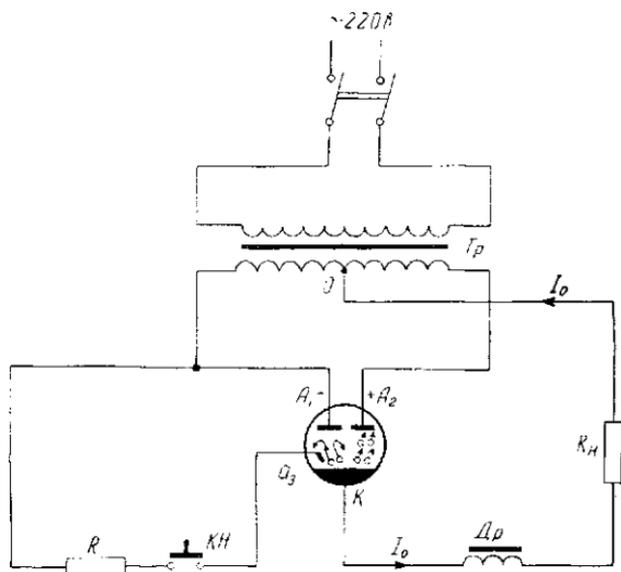


Рис. 30. Схема ртутного выпрямителя.

При выпрямлении переменного тока большой мощности в выпрямителе выделяется большое количество тепла. Поэтому вместо хрупких стеклянных колб применяют металлические с водяным охлаждением и насосом для поддержания необходимого вакуума. Эти выпрямители изготавливаются на напряжении до 50 кВ и различные токи. При высокой температуре анода он также излучает электроны и выпрямитель пропускает обе половины периода переменного тока. Это явление называется *обратным зажиганием*, оно происходит при плохом охлаждении и перегрузке выпрямителя, в присутствии посторонних газов в колбе. Обратное зажигание сопровождается коротким замыканием вторичной обмотки трансформатора. При резком уменьшении или прекращении тока в цепи дуга может погаснуть и придется зажигать ее вновь. Чтобы избежать этого, применяют выпрямители с *независи-*

мым возбуждением. Аноды независимого возбуждения питаются от отдельного трансформатора и поддерживают дугу при изменениях тока. Для выпрямления трехфазного тока колба имеет три анода. Нулевая точка трансформатора служит отрицательным полюсом цепи постоянного тока. Катод является положительным полюсом. Здесь пульсации постоянного тока меньше (по сравнению с выпрямлением однофазного тока).

### Лабораторное оборудование

Выпрямитель, включающий: ртутную колбу  $L$ ; силовой трансформатор  $Tp$ ; ограничивающий резистор  $R$ ; дроссели  $Dp_1, Dp_2, Dp_3$ ; вольтметр  $V_2, 50$  в.

Ваттметр, 300 в, 5 а.

Амперметр  $A_1, 10$  а.

Вольтметр  $V_1, 250$  в.

Амперметр  $A_2, 20$  а.

Источник переменного напряжения 220 в.

Нагрузка выпрямителя (ламповые реостаты).

### Экспериментальная часть

Снять внешнюю характеристику выпрямителя, т. е. зависимость выпрямленного напряжения от тока нагрузки при постоянном напряжении сети.

- собрать схему (рис. 31);
- произвести пуск выпрямителя в следующей последовательности: включить сетевой рубильник и пакетный выключатель выпрямителя; наклонить колбу ручкой в правую или левую сторону до соприкосновения поверхностей ртути катода и ртути анода зажигания и одновременно нажать кнопку «зажигание»; вернуть колбу в исходное положение;
- при изменении тока нагрузка от номинального ( $I_n = 20$  а) до минимального (погасание дуги) измерить значения напряжения нагрузки  $U_0$ , мощности переменного тока, напряжения и тока сети (нагрузка изменяется количеством включенных ламп накалывания);
- зашунтировать дроссель, соединив зажимы  $D_1$  и  $D_2$  между собой и повторить пункт в);
- данные измерений занести в табл. 14;
- произвести вычисления по формулам:

$$P_0 = U_0 I_0; \cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 I_1}; \eta = \frac{P_0}{P_1};$$

- построить характеристики на одном графике:

$$U_c = f(I_c); I_1 = f_1(I_0);$$

$$\cos \varphi = f_2(I_0); \eta = f_3(I_0)$$

$$\text{при } U_1 = \text{const};$$

- провести анализ построенных характеристик.



## РАБОТА 9

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

Цель работы

Изучить различные схемы выпрямления и их характеристики.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** Современные радиотехнические устройства представляют сложные комплексы электронных приборов, активных и реактивных сопротивлений, трансформаторов и дросселей, а также приборов измерительных, коммутационных, сигнальных и др. Все эти элементы устройств потребляют как постоянный, так и переменный ток.

Постоянным током питаются анодные, экранные и сеточные цепи ламп, коллекторные и базовые цепи транзисторов, реле и ряд других элементов схем.

**Выпрямители.** Электронный выпрямитель в общем случае состоит обычно из трех звеньев: 1) трансформатора, изменяющего величину переменного напряжения сети в соответствии с необходимой величиной напряжения на выходе выпрямителя; 2) вентильного звена, преобразующего переменный ток в пульсирующий, т. е. в ток переменной величины одного направления; 3) сглаживающего фильтра, уменьшающего пульсации выпрямленного напряжения (тока) на выходе выпрямителя.

В зависимости от числа фаз вторичной или первичной обмоток трансформатора схемы выпрямителей бывают однофазными, трехфазными и т. д.

По числу импульсов тока во вторичной обмотке трансформатора за период схемы выпрямления бывают одноктактными и двухтактными. По форме выпрямленного напряжения схемы делятся на однополупериодные и двухполупериодные. Свойства выпрямительного устройства зависят от его схемы, характера нагрузки и схемы сглаживающего фильтра. На практике наибольшее применение нашли следующие схемы выпрямителей.

При питании от сети однофазного тока: 1) однополупериодная, 2) однополупериодная удвоения напряжения,

3) двухполупериодная со средней точкой, 4) двухполупериодная без средней точки (мостовая), 5) двухполупериодная схема удвоения напряжения.

При питании от сети трехфазного тока: 1) трехфазная с нулевым выводом, 2) трехфазная (мостовая).

**Однополупериодная схема выпрямления.** В большинстве реальных схем источником напряжения служит трансформатор, первичная обмотка которого включается в сеть переменного тока, а вторичная через вентиль питает цепь нагрузки. В данном случае в контур, который замыкает вторичная обмотка трансформатора, входят помимо нее вентиль и резистор нагрузки (рис. 32).

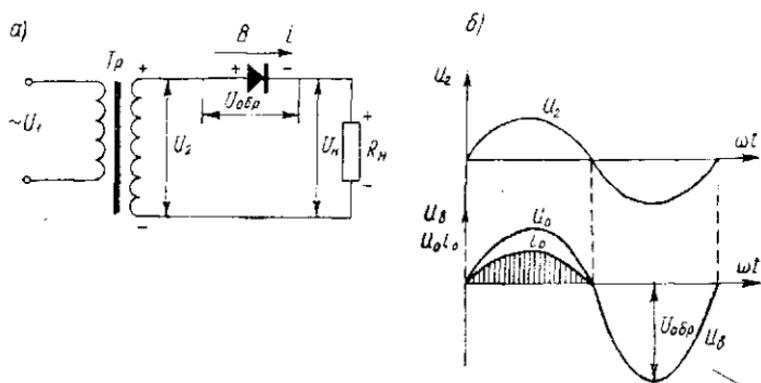


Рис. 32. Однополупериодный выпрямитель:  
а) схема; б) диаграммы токов и напряжений.

Эта схема наиболее простая из существующих схем выпрямителей. Она является одноконтурной, поскольку ток через вторичную обмотку трансформатора проходит только в течение одного полупериода, когда потенциал анода положителен. Для простоты изучения работы схемы считаем, что вентиль является идеальным элементом цепи, т. е. сопротивление его прямому току равно нулю, а сопротивление обратному току равно бесконечности. При прямом токе падение напряжения на вентиле отсутствует и поэтому форма напряжения на нагрузке повторяет форму его на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

Во время отрицательного полупериода, когда на аноде минус относительно катода, сопротивление вентили бесконечно велико, поэтому ток через нагрузку не проходит и напряжение на ее зажимах равно нулю.

В отрицательный полупериод напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора  $U_{обр}$  приложено к электродам вентили.

В данной простейшей схеме в силу последовательного соединения элементов через вторичную обмотку трансформатора, вентиль и нагрузку проходит один и тот же ток, т.е. вторичная обмотка трансформатора используется только в течение одного положительного полупериода. Включение вентилей во вторичную обмотку трансформатора существенно влияет на режим его работы. Физические процессы в трансформаторе усложняются. В некоторых случаях в сердечнике появляется постоянный магнитный поток, что приводит к искажению формы кривой тока в обмотках трансформатора. Вследствие увеличения намагничивающего тока возрастает ток первичной обмотки трансформатора, а следовательно, и потери в ней. В отличие от тока вторичной обмотки ток первичной обмотки является чисто переменным, т.е. не содержит постоянной составляющей. Вследствие несинусоидальности токов обмоток трансформатора и различной их формы действующие значения этих токов различны даже при коэффициенте трансформации, равном единице. В этом состоит главная особенность работы выпрямительных трансформаторов по сравнению с обычными трансформаторами.

**Однополупериодная схема удвоения напряжения.** В настоящее время в радиоустройствах стали применять схемы выпрямителей с умножением напряжения (удвоением, утроением, учетверением и т.д.). Схема выпрямителя с удвоением напряжения позволяет получить выпрямленное напряжение, почти вдвое превышающее напряжение сети. В качестве

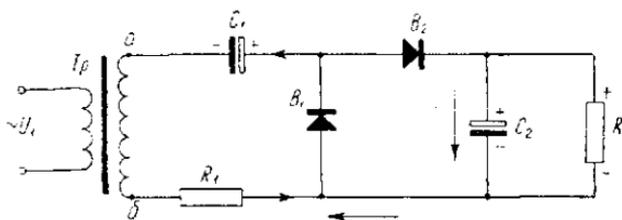


Рис. 33. Схема однополупериодного удвоения напряжения.

дополнительных источников увеличения выходного напряжения в этих схемах применяются конденсаторы (рис. 33). Схема включает трансформатор, два конденсатора  $C_1$  и  $C_2$ , два вентиля  $B_1$  и  $B_2$  и ограничивающий резистор  $R_1$ .

Схема представляет два однополупериодных выпрямителя. Первый из них состоит из вентиля  $B_1$ , конденсатора  $C_1$  и резистора  $R_1$ , а второй — из конденсатора  $C_2$ , вентиля  $B_2$  и конденсатора  $C_1$ . Нагрузка  $R$  включена параллельно клеммам конденсатора  $C_2$ .

В первый полупериод, когда в точке  $b$  плюс, а в точке  $a$  минус, конденсатор  $C_1$  заряжается через вентиль  $B_1$  и резистор  $R_1$  до напряжения вторичной обмотки  $U_{2 \text{ макс}}$ . Во второй полупериод ток проходит по цепи: точка  $a$  вторичной обмотки трансформатора, конденсатор  $C_1$ , вентиль  $B_2$ , конденсатор  $C_2$ , точка  $b$  вторичной обмотки трансформатора. Суммарное напряжение вторичной обмотки и конденсатора  $C_1$ , который зарядился в первый полупериод, оказывается приложенным в проводящем направлении к вентиле  $B_2$  и конденсатору  $C_2$ . Конденсатор  $C_2$  зарядится до двойного амплитудного значения напряжения вторичной обмотки, а конденсатор  $C_1$  разрядится. Таким образом, конденсатор  $C_2$ , включенный параллельно нагрузке, заряжается раз за период и поэтому рассматриваемая схема называется однополупериодной. Обратное напряжение на каждом вентиле равно  $U_{2 \text{ макс}}$ .

**Схема двухполупериодного выпрямителя со средней точкой.** Схема (рис. 34) состоит из трансформатора  $Tr$  с выводом средней точки и двух вентилях  $B_1$  и  $B_2$ . В этой схеме два однополупериодных выпрямителя работают на общую нагрузку. По числу фаз вторичной обмотки трансформатора схема является двухфазной, так как напряжения в этой обмотке сдвинуты по фазе на  $180^\circ$ . В то же время схема является однотактной, поскольку ток в каждой половине вторичной обмотки (в каждой фазе) протекает в течение одной половины периода.

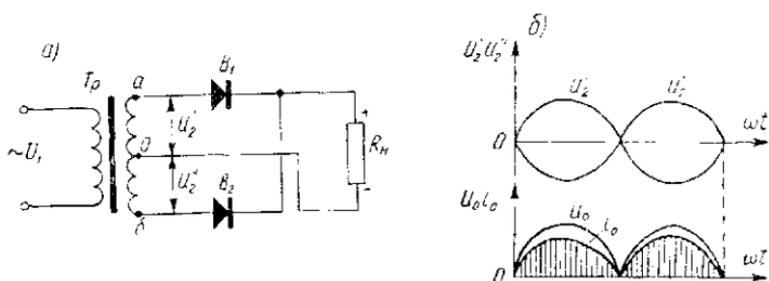


Рис. 34. Двухполупериодный выпрямитель:  
 а) схема со средней точкой; б) диаграммы напряжений и токов.

В первый полупериод, когда потенциал точки  $a$  является положительным, а потенциал точки  $b$  — отрицательным относительно средней точки, ток проходит от точки  $a$  через вентиль  $B_1$ , нагрузку  $R_n$  к средней точке вторичной обмотки. К вентиле  $B_2$  в это время приложено обратное напряжение, амплитуда которого равна удвоенному амплитудному значению напряжения на одной половине вторичной обмотки. Во второй полупериод в точке  $b$  — плюс, а в точке  $a$  — минус.

т. е. работает вентиль  $B_2$ , а вентиль  $B_1$  закрыт и находится под обратным напряжением. Таким образом, в течение обоих полупериодов ток через нагрузку проходит в одном и том же направлении. Вентили  $B_1$  и  $B_2$  работают поочередно.

**Схема двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения.** Схема состоит как бы из двух однополупериодных выпрямителей, соединенных последовательно и питающих одну общую нагрузку (рис. 35).

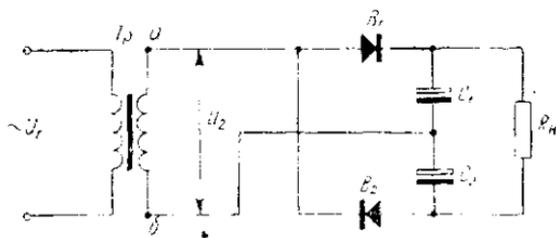


Рис. 35. Схема двухполупериодного удвоения напряжения.

В течение первого полупериода (потенциал точки  $a$  положителен) ток проходит по цепи: точка  $a$ , вентиль  $B_1$ , конденсатор  $C_1$  и точка  $b$  обмотки. Конденсатор  $C_1$  заряжается до амплитудного значения напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Во второй полупериод (потенциал точки  $b$  положителен) ток проходит по цепи: точка  $b$  обмотки, конденсатор  $C_2$ , вентиль  $B_2$  и точка  $a$  вторичной обмотки. Конденсатор  $C_2$  заряжается до амплитудного значения напряжения вторичной обмотки.

Напряжение на конденсаторах  $C_1$  и  $C_2$  равно сумме напряжений, так как конденсаторы соединены последовательно. Поскольку нагрузка  $R_n$  включена параллельно конденсаторам, то к ней также прикладывается удвоенное напряжение

$$U_0 = U_{c1} + U_{c2} \approx 2U_{2\text{макс}}$$

Амплитуда обратного напряжения на каждом из вентилях равна сумме амплитудных значений напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора и напряжения на конденсаторе

$$U_{\text{обр}} = U_{2\text{макс}} + U_{c1} \approx 2U_{2\text{макс}}$$

При одном и том же значении напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора схема удвоения дает возможность получить вдвое большее выпрямленное напряже-

нис, чем мостовая схема, и вчетверо большее, чем схема со средней точкой.

**Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя.** Схема (рис. 36, а) содержит четыре вентиля и трансформатор (его может и не быть). К одной из диагоналей моста присоединяется вторичная обмотка, а к другой — нагрузка  $R_H$ . Схема является двухтактной, так как ток во вторичной обмотке протекает в течение обоих полупериодов.

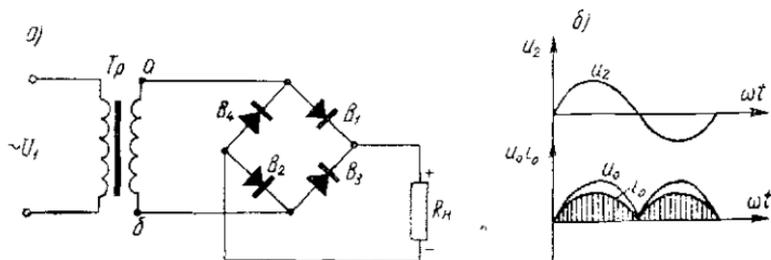


Рис. 36. Двухполупериодный выпрямитель:  
а) схема без средней точки; б) диаграммы напряжений и токов.

В первый полупериод (потенциал точки  $a$  положителен) ток проходит по цепи: точка  $a$  обмотки, вентиль  $B_1$ , нагрузка  $R_H$ , вентиль  $B_2$ , точка  $b$  обмотки. Вентили  $B_3$  и  $B_4$  в этот полупериод закрыты и находятся под обратным напряжением. Во второй полупериод, когда потенциал точки  $b$  положителен относительно точки  $a$ , ток проходит по цепи: точка  $b$  обмотки, вентиль  $B_3$ , нагрузка  $R_H$ , вентиль  $B_4$ , точка  $a$  вторичной обмотки. Вентили  $B_1$  и  $B_2$  в этот полупериод закрыты и находятся под обратным напряжением. Таким образом, в один из полупериодов в проведении тока участвует одна пара вентилей, в другой полупериод — вторая. Ток через нагрузку в течение обоих полупериодов проходит в одном направлении (рис. 36, б). Эта схема является двухполупериодной.

**Трехфазная схема с нулевым выводом.** Схема состоит из трехфазного трансформатора  $Tr$  с выведенной нулевой точкой и трех вентилей  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$  (рис. 37, а). Первичная обмотка трансформатора может соединяться в звезду или в треугольник, а вторичная обмотка всегда соединяется только в звезду. Трехфазная схема представляет сочетание трех однополупериодных выпрямителей, питающихся тремя симметричными напряжениями, сдвинутыми по фазе на  $120^\circ$ , и работающих на общую нагрузку. Схема является одноконтурной, поскольку токи во вторичных обмотках каждой фазы протекают в течение одной половины периода.

В трехфазном выпрямителе в любой момент ток проводит

тот из вентиляй, анод которого имеет наибольший положительный потенциал. Допустим, в данный момент наибольший потенциал имеет обмотка первой фазы. Тогда ток проходит по цепи: точка  $a$  обмотки, вентиль  $B_1$ , нагрузка  $R_H$ , обмотка первой фазы через нулевую точку.

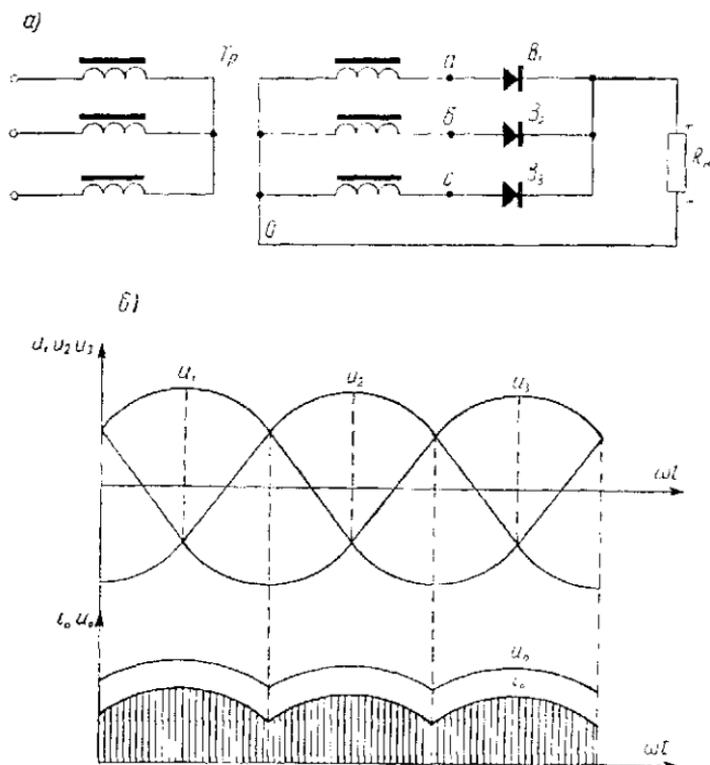


Рис. 37. Трехфазный выпрямитель:  
 а) схема с нулевым выводом; б) диаграммы напряжений и токов.

Далее вентили работают поочередно, каждый в течение трети периода.

Из диаграммы (рис. 37, б) видно, что каждая из вторичных обмоток нагружена током только  $1/3$  периода. В то время, когда вентиль  $B_1$  проводит ток, вентили  $B_2$  и  $B_3$  находятся под обратным напряжением. Амплитуда обратного напряжения равна амплитуде линейного напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

При неравенстве фазных напряжений сети переменного тока или неодинаковых коэффициентах трансформации отдельных фаз форма выпрямленного напряжения искажается.

В трехфазных схемах часто используются полупроводниковые и газонаполненные вентили.

**Трехфазная мостовая схема.** Схема состоит из трехфазного трансформатора и шести вентиляей (рис. 38, а). Первичная и вторичная обмотки могут соединяться как в звезду, так и в треугольник. Схема является двухтактной, двухполупериодной и представляет сочетание двух трехфазных выпрямителей, включенных последовательно и питающихся от общих

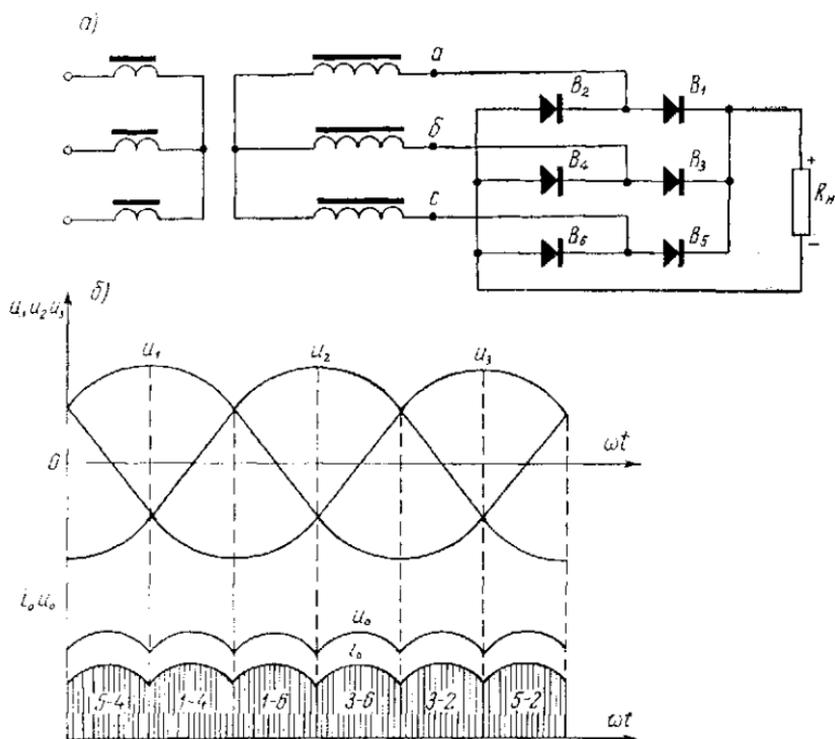


Рис. 38. Трехфазный мостовой выпрямитель:  
а) схема; б) кривые напряжений и токов.

обмоток трансформатора напряжениями, сдвинутыми по фазе на  $180^\circ$ . На рис. 38, б приведены диаграммы напряжений и токов и указаны номера вентиляей, работающих одновременно в течение  $1/6$  периода. Так как рассматриваемая схема состоит из двух простых трехфазных схем, то форма напряжения между электродами каждого из вентиляей такая же, как и в простой трехфазной схеме. Обратное напряжение на один вентиль определяется так же, как для трехфазной схемы: оно

равно амплитуде линейного напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

В радиотехнике широко применяются схемы двухполупериодного выпрямления: схема со средней точкой и мостовая, а также схема двухполупериодного удвоения напряжения. Однополупериодная схема не нашла практического применения из-за больших размеров и веса трансформатора. Основные соотношения токов и напряжений в схемах сведены в табл. 15.

### Лабораторное оборудование

Кенотрон, 5Ц4С.

Диоды Д226:  $B_1$ ;  $B_2$ ;  $B_3$ ;  $B_4$ ;  $B_5$ ;  $B_6$ .

Электролитические конденсаторы  $C_1$ ;  $C_2$ , 10 мкф, 400 в.

Силовой трансформатор  $T_p$ , 220/2×350, 5,0 в.

Реостат  $R_n$ , 1440 ом, 0,25 а.

Электронный осциллограф С1-1.

Миллиамперметр  $mA_2$ , 300 ма.

Вольтметр  $V_2$ , 450 в.

Вольтметр  $V_0$ , 450 в.

Миллиамперметр  $mA_0$ , 300 ма.

Источники переменного напряжения, 220 и 127 в.

### Экспериментальная часть

1. Исследовать схему однополупериодного выпрямителя:
  - а) собрать схему (рис. 39, а);
  - б) измерить действующие значения переменного тока и напряжения вторичной обмотки трансформатора  $I_2$  и  $U_2$  при различных сопротивлениях резистора нагрузки, а также средние значения выпрямленного тока и напряжения  $I_0$  и  $U_0$ ;
  - в) данные измерений занести в табл. 16;
  - г) проверить соотношения между напряжениями  $U_2$  и  $U_0$  и токами  $I_2$  и  $I_0$ ;
  - д) с помощью осциллографа зачертить форму кривой напряжения на нагрузке.
2. Исследовать схему двухполупериодного выпрямителя, для чего, соединив второй анод вентиля 5Ц4С со свободным концом вторичной обмотки трансформатора, повторить подпункты б), в), г) и д) предыдущего пункта.
3. Исследовать двухполупериодную схему, включив вместо лампы мост из вентилей  $B_1$ ;  $B_2$ ;  $B_3$ ;  $B_4$  (рис. 39, б).
4. Исследовать двухполупериодную схему удвоения напряжения, для чего, собрав схему (рис. 39, в), подключить ее к точкам  $d$  и  $e$  и повторить подпункты б), в), г) и д) пункта 1.
5. Дать сравнительную оценку исследуемым схемам.

### Содержание отчета

1. Таблицы и соответствующие расчеты; кривые выпрямленного напряжения, снятые с экрана осциллографа.

Схема выпрямления	Основные соотношения токов и напряжений					
	$\frac{U_0}{U_2}$	$\frac{I_0}{I_2}$	$U_{обр}$	$I_{макс}$	$I_B$	$I_{об}$
Однополупериодная схема выпрямления	0,45	0,636	$3,14 \cdot U_0$	$3,14 \cdot I_0$	$1,57 \cdot I_0$	$I_0$
Двухполупериодная схема выпрямления со средней точкой	0,9	1,27	$3,14 \cdot U_0$	$1,57 \cdot I_0$	$0,785 \cdot I_0$	$0,5 \cdot I_0$
Двухполупериодная мостовая схема	0,9	0,9	$1,57 \cdot U_0$	$1,57 \cdot I_0$	$0,785 \cdot I_0$	$0,5 \cdot I_0$
Трехфазная схема вы- прямления	1,13	0,82	$2,09 \cdot U_0$	$1,21 \cdot I_0$	$0,587 \cdot I_0$	$1/3 \cdot I_0$
Трехфазная мостовая схема <i>звезда-звезда</i>	2,34	1,22	$1,045 \cdot U_0$	$1,045 \cdot I_0$	$0,578 \cdot I_0$	$1/3 \cdot I_0$

2. Сравнительная оценка различных схем выпрямителей.
3. Электрические схемы исследования и перечень измерительных приборов с указанием их паспортных данных.

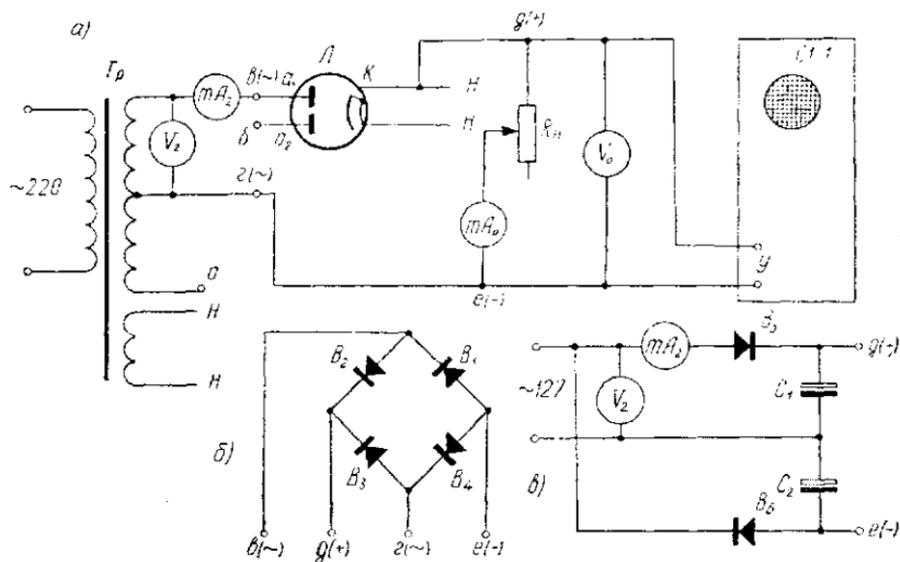


Рис. 39. Схемы исследования выпрямителей:  
 а) одно- и двухполупериодная; б) мостовая; в) удвоения напряжения.

Таблица 16

$I_2, \text{ ма}$	$U_2, \text{ в}$	$I_0, \text{ ма}$	$U_0, \text{ в}$

## РАБОТА 10

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

#### Цель работы

1. Изучить схемы сглаживающих фильтров.
2. Научиться анализировать различные схемы фильтров.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** В цепях радиоустройств обычно одновременно протекают токи различных частот. В зависимости от того, какие частоты пропускаются (выделяются), различают фильтры нижних и верхних частот, полосовые и заградительные. Фильтры нижних частот делятся на *фильтры звуковых частот* и фильтры к источникам питания — *сглаживающие фильтры*.

*Полосовые фильтры* служат для выделения определенной полосы частот в приемниках и подавления мешающих воздействий вне этой полосы.

*Задерживающие фильтры* служат для подавления одной из двух боковых полос модуляции в радиопередатчиках однополосной связи.

*Фильтры верхних частот* служат для подавления основной части спектра промышленных помех при нормальном прохождении сигналов в приемниках.

*Фильтры нижних частот* служат для подавления переменных составляющих выпрямленного тока при нормальном прохождении постоянного и медленно меняющегося тока.

В практике получили применение следующие схемы фильтров: Г-образные, П-образные, Т-образные.

**Сглаживающие фильтры.** С любого выпрямителя снимается пульсирующее напряжение. Периодические изменения его (пульсации) значительно ухудшают работу радиотехнических устройств, приводят к появлению *фона*, т. е. дополнительных колебаний низкой частоты. При питании кинескопов телевизоров таким напряжением резко ухудшается качество изображения. Пульсирующее напряжение представляет несинусоидальную периодическую функцию времени, которую можно представить в виде суммы постоянной составляющей

и ряда переменных синусоидальных составляющих различной амплитуды и частоты. Причем, наибольшую амплитуду имеет переменная составляющая наименьшей частоты. Допустимая величина пульсаций оценивается коэффициентом пульсаций  $q$

$$q = \frac{U_{\text{м.о.г}}}{U_0} \cdot 100 [\%],$$

где  $U_{\text{м.о.г}}$  — амплитудное значение основной гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения;

$U_0$  — среднее значение постоянной составляющей выпрямленного напряжения.

Различные радиоустройства требуют разную величину коэффициента пульсаций, например:

1. Для цепей питания микрофонов  $q = 0,00001 \%$ .
2. В цепях питания задающих генераторов передатчиков  $q = 0,001 - 0,0001 \%$ .
3. Для цепей питания каскадов УВЧ, УПЧ, выходных каскадов телевизионных и радиотелефонных передатчиков  $q = 0,01 - 0,1 \%$ .
4. Цепи питания промежуточных каскадов передатчиков, УНЧ и кинескопов имеют  $q = 0,1 - 0,5 \%$ .
5. Для выходных каскадов мощных телеграфных передатчиков  $q = 0,5 - 1,5 \%$ .

Устройство, снижающее пульсацию до требуемой величины, называется сглаживающим фильтром. Сопротивление электрических цепей неодинаково для переменных токов различной частоты. Это явление и используется для отделения друг от друга составляющих сигнала с различными частотами. Схемы фильтров комбинируются из трех элементов цепи: индуктивности, емкости и активного сопротивления. При выборе типа фильтра необходимо учитывать максимально возможное уменьшение переменной составляющей и минимально возможное уменьшение постоянной составляющей выпрямленного напряжения, а также экономичность, малые размеры, вес и др.

Эффективность действия фильтра оценивается коэффициентом сглаживания пульсации (отношение коэффициентов пульсаций на входе и выходе фильтра)

$$K = \frac{q_{\text{вх}}}{q_{\text{вых}}}$$

Простейшими сглаживающими фильтрами являются индуктивность, включенная последовательно с нагрузкой, или емкость, включенная параллельно нагрузке. В индуктивном

фильтре (рис. 40, а) переменная составляющая пульсирующего тока создает переменный магнитный поток. Последний индуцирует в обмотке э. д. с. самоиндукции, препятствующую изменению тока в цепи и, следовательно, снижающую пульсации. Постоянной составляющей тока индуктивность

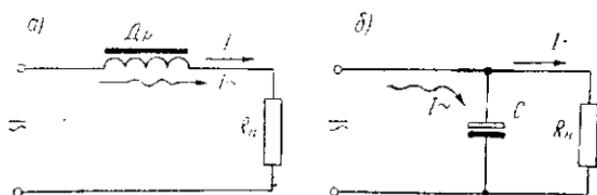


Рис. 40. Схемы фильтров:  
а) индуктивного; б) емкостного.

сопротивления не оказывает. Индуктивный фильтр обеспечивает хорошее сглаживание пульсаций при малых сопротивлениях нагрузки (больших токах), поэтому его применяют главным образом в мощных выпрямителях. В емкостном фильтре (рис. 40, б) конденсатор периодически заряжается в те моменты времени, когда напряжение на выходе выпрямителя превышает напряжение на зажимах конденсатора. В те же промежутки времени, когда напряжение на выходе выпрямителя меньше, чем на зажимах конденсатора, последний разряжается через резистор нагрузки. Поэтому напряжение на нагрузке изменяется в меньших пределах, чем изменялось бы оно без конденсатора.

Сглаживание напряжения емкостным фильтром зависит от величины сопротивления нагрузки. Фильтр удовлетворительно работает при малом токе нагрузки ( $R_n$  — велико). При большом токе нагрузки конденсатор быстро разряжается и не успевает устранить пульсации напряжения.

**Индуктивно-емкостные фильтры.** Простейшие фильтры не могут обеспечить достаточного сглаживания пульсаций, поэтому они применяются редко. На практике распространены схемы фильтров, представляющие различные комбинации индуктивностей и емкостей. Рассмотрим схему Г-образного индуктивно-емкостного фильтра (рис. 41). Г-образный фильтр состоит из дросселя и конденсатора, причем входным элементом является дроссель. Сопротивления элементов цепи для токов первой гармоники должны удовлетворять неравенству  $X_L \gg R \gg X_C$ . При этом условии основное падение напряжения от переменной составляющей токов будет на индуктивности. На нагрузке  $R_n$  оно будет незначительное. Прошедшая через индуктивность переменная составляющая тока в

основном замыкается через емкость, включенную параллельно нагрузке.

Действие фильтра улучшается включением второго дросселя в цепь нагрузки. Образуется Т-образный фильтр. Включение второго конденсатора до дросселя образует схему П-образного фильтра (рис. 42). Его можно рассматривать состоящим как бы из двух звеньев: входной емкости  $C_1$  и

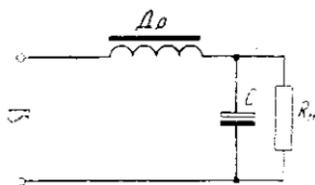


Рис. 41. Схема Г-образного LC-фильтра.

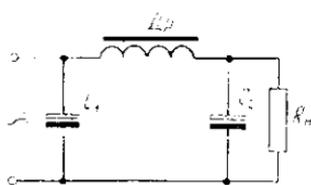


Рис. 42. Схема П-образного CLC-фильтра.

Г-образного фильтра  $LC_2$ . Емкость  $C_1$  определяется при расчете выпрямителя. При необходимости получить высокую степень сглаживания пульсаций применяют сложные многозвенные фильтры, состоящие из нескольких последовательно соединенных Г- или П-образных фильтров. Недостатки дроссельных фильтров выражаются в больших габаритах, весе и стоимости. Поэтому часто в тех случаях, когда к фильтру не предъявляются особо жестких требований, вместо индуктивности ставят резистор. Но в последнем теряется большая мощность, поэтому RC-фильтры используют в цепях с небольшими токами. RC-фильтры выполняются по Т- и П-образным схемам, а также многозвенными. По сравнению с дроссельными у RC-фильтров размеры, вес и стоимость меньше. В последнее время находят применение электронные фильтры, в которых вместо дросселя включены лампы, диод или транзистор.

### Лабораторное оборудование

Кенотрон 5Ц4С.

Электронный осциллограф С1-1.

Силовой трансформатор Тр, 220/2×350, 5 в.

Реостат  $R_1$ , 5000 ом, 0,2 а.

Электронный милливольтметр МВЛ-2 М.

Дроссель Др.

Резистор R, 200 ом.

Электролитические конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$ , 20 мкф, 450 в.

Источник переменного напряжения, 220 в.

Вольтметр постоянного тока  $V_1$ , 250 в.

## Экспериментальная часть

### 1. Исследовать индуктивный фильтр:

- а) собрать схему выпрямителя с индуктивным фильтром (рис. 43);
- б) измерить вольтметрами  $V_1$  и  $V$  на выходе (точки б, д) действующее значение переменной составляющей основной гармоники и среднее значение выпрямленного напряжения (допускаем, что значения составляющих высших гармоник равны нулю);

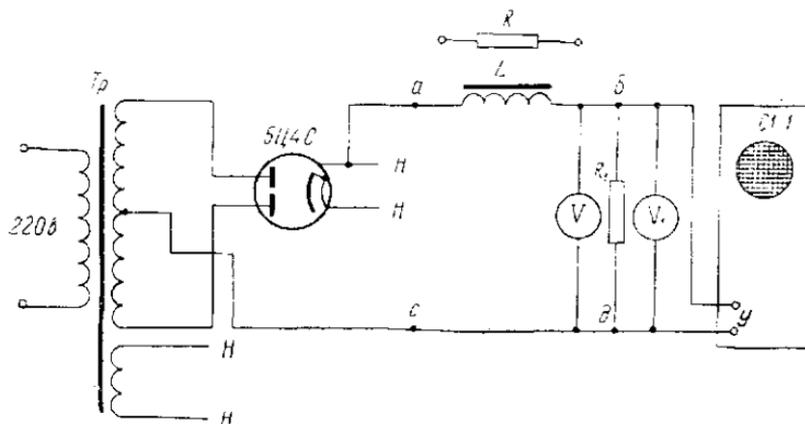


Рис. 43. Схема исследования фильтров.

- в) данные измерений занести в табл. 17;
  - г) определить коэффициент пульсаций на выходе фильтра;
  - д) по осциллографу зачертить кривую изменения напряжения на выходе фильтра.
- ### 2. Повторить подпункты б), в), г), д) пункта 1:
- а) исследовать  $LC$ -фильтр, подключив к точкам б, д конденсатор  $C_2$ ;
  - б) исследовать  $CLC$ -фильтр, для чего подключить к точкам а, с конденсатор  $C_1$ ;
  - в) исследовать  $CRC$ -фильтр, включив вместо дросселя резистор  $R$ ;
  - г) исследовать  $RC$ -фильтр, отключив в схеме конденсатор  $C_1$ ;
  - д) исследовать емкостный фильтр, отключив резистор и соединив точки а и б.
- ### 3. Дать сравнительную оценку различным схемам фильтров.

## Содержание отчета

1. Перечень лабораторного оборудования.
2. Схема исследования фильтров.
3. Необходимые таблицы и расчеты.
4. Вывод по работе.

Таблица 17

$U_0, \text{ в}$	$U_{\text{м. о. г.}}, \text{ в}$

## РАБОТА 11

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМПОВОГО УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Цель работы

1. Изучить основные схемы усилителей низкой частоты.
2. Научиться снимать и анализировать основные характеристики усилителя.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** *Электронным усилителем* называется устройство, предназначенное для усиления одного из параметров электрического сигнала (тока, напряжения или мощности). Усилитель включает: лампу или транзистор, источник питания и вспомогательные элементы — резисторы, конденсаторы, дроссели. Вспомогательные элементы определяют необходимый режим работы лампы или транзисторов. Сочетание лампы или транзистора со всеми относящимися к ним элементами схемы называют *усилительным каскадом*.

В зависимости от частоты усиливаемого сигнала различают усилители постоянного тока, низкой частоты, высокой частоты и сверхвысокой частоты. По назначению, т. е. в зависимости от того, какой параметр усиливается, существуют усилители напряжения, тока и мощности. По характеру усиливаемого сигнала различают усилители непрерывных сигналов и усилители импульсных сигналов.

Усилитель имеет входные и выходные зажимы. К входным зажимам подводится электрический сигнал. Для источника входного сигнала сам усилитель представляет некоторое сопротивление, называемое *входным*. На этом сопротивлении расходуется мощность источника сигнала, которую желательно иметь как можно меньше. Этому стараются достигнуть увеличением входного сопротивления усилителя.

К выходным зажимам усилителя присоединяется нагрузка. На ней создается переменное напряжение и выделяется мощность усиленных колебаний

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых. макс}}^2}{2R_{\text{н}}}$$

Для оценки работы усилителя вводится понятие *коэффициента усиления по мощности*

$$K_p = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}.$$

Как правило, одного каскада недостаточно для нужного усиления сигнала. Тогда усилитель составляется из нескольких каскадов. Электрический сигнал, усиленный первым каскадом, подается на вход второго каскада и т. д. Источники питания в большинстве случаев являются общими для всех каскадов усилителя. В радиоприемниках последний выходной каскад обеспечивает нагрузку (громкоговоритель) необходимой мощностью.

Предыдущие каскады обеспечивают предварительное усиление сигнала. Каскады на транзисторах в отличие от ламповых каскадов при отсутствии тока во входной цепи не работают. Для них существенным показателем работы усилителя служит коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ. МАКС}}}{I_{\text{ВХ. МАКС}}}.$$

Для многокаскадного усилителя коэффициент его усиления равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов

$$K_{\text{общ}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3.$$

**Классы усиления.** В зависимости от выбранного режима работы лампы (транзистора) различают три класса усиления (рис. 44).

*Класс усиления А* соответствует режиму работы лампы (транзистора), при котором напряжение смещения на управляющей сетке  $U_c$  выбрано так, что амплитуды усиливаемого сигнала не выходят за пределы прямолинейного участка характеристики. В этом режиме постоянный ток на протяжении всего времени работы усилителя протекает через лампу. Коэффициент полезного действия лампы получается невысоким.

*Класс усиления В* соответствует такому напряжению смещения  $U_c$ , при котором анодный ток проходит только за одну половину периода усиливаемых колебаний. К. п. д. лампы в таком режиме выше, чем в режиме А, но искажения сигнала здесь больше (нарушается исходная форма сигнала).

*Режим В* применяется в тех случаях, когда нужно получить повышенный к. п. д. и малые нелинейные искажения. Если напряжение сигнала больше напряжения смещения

и имеет место заход амплитуды сигнала в область сеточных токов, то такой режим обозначается буквой *B* с индексом 2 — *B*<sub>2</sub>.

Класс усиления *AB* является промежуточным между *A* и *B*. Значения к. п. д. и искажения занимают среднее положение между соответствующими параметрами режимов *A* и *B*. Режимы *B* и *AB* применяются в мощных усилителях.

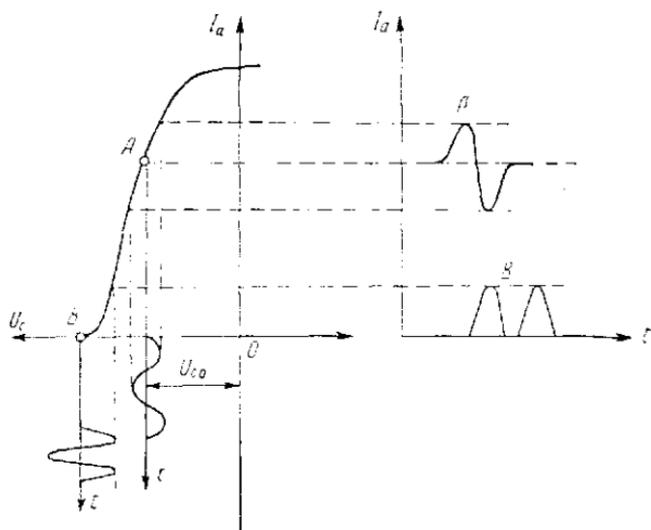


Рис. 44. Классы усиления.

Основное назначение усилителя — усиливать колебания, не искажая их формы. Но в усилителях всегда есть реактивные элементы, сопротивление которых зависит от частоты, а лампы или транзисторы имеют нелинейные характеристики. Поэтому усилитель сам искажает усиливаемый сигнал. Различают частотные, фазовые и нелинейные искажения. Частотные и фазовые искажения оцениваются соответствующими характеристиками (рис. 45). Установлено, что отклонение частотной характеристики в 1—2 дБ на слух не воспринимается, при отклонении в 4—5 дБ ощущаются небольшие искажения, не ухудшающие качество передачи. Хорошие усилители имеют неравномерность частотной характеристики в 4—6 дБ. Фазовые характеристики показывают сдвиг сигнала во времени на входе и выходе. Фазовые характеристики искажаются в усилителях импульсов. Нелинейные искажения снижают качество передач. Они являются следствием нелинейности характеристики лампы или транзистора. Аналитически нелинейные искажения рассматриваются как образова-

ние высших гармоник, которых не было во входном сигнале.

Появление высших гармоник не обнаруживается на слух, когда амплитуда наиболее выраженной из них не превышает 5% от амплитуды основной гармоники. Эта величина и слу-

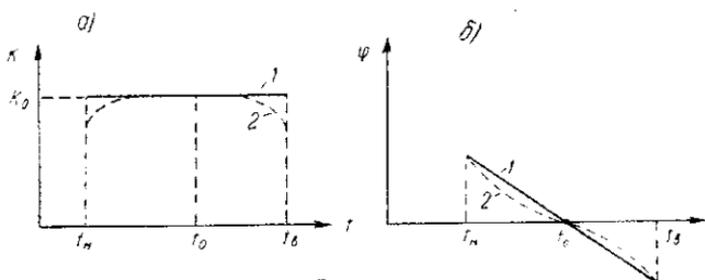


Рис. 45. Характеристики усилителя:  
а) частотная; б) фазовая; 1 — идеальная; 2 — реальная.

жит мерой нелинейных искажений. В усилителях радиовещательных студий допустимая величина нелинейных искажений составляет 1—2%. В усилителях радиовещания, звукового кино и аппаратуры звуковоспроизведения она равна 4—5%. В телефонии — 10—15%. В телевизионных усилителях эти искажения не играют существенной роли и составляют 10—12%.

**Усилители низкой частоты (УНЧ).** УНЧ широко распространены в радиосвязи, звуковом кино, телевидении, проводной связи, автоматике, телемеханике и др. Каждый усилитель характеризуется диапазоном частот (полосой), в пределах которого он может усиливать напряжение или мощность. Разность максимальной и минимальной частот, которые способен усиливать усилитель, называют полосой пропускания усилителя. Она обозначается  $2\Delta f$ :

$$2\Delta f = f_b - f_n.$$

В зависимости от класса радиоприемника диапазон усиливаемых частот УНЧ лежит в пределах 50—12000 гц.

Для характеристики работы усилителя при разных амплитудах колебаний, подведенных к его входу, строят амплитудную характеристику (рис. 46). Обычно УНЧ радиоприемника содержит один или несколько каскадов предварительного усиления и один окончательный каскад.

Каскады предварительного усиления выполняются чаще всего по схемам с  $RC$ -связью. Низкочастотный сигнал от детектора, звукоснимателя или предыдущего каскада усиления поступает в цепь управляющей сетки лампы (рис. 47). Полученный на резисторе  $R_1$  усиленный сигнал через емкость  $C_1$

проходит в цепь управляющей сетки лампы следующего каскада УНЧ. Автоматическое смещение на управляющую сетку лампы подается с резистора  $R_2$ , включенного в цепь катода лампы. Экранирующая сетка лампы получает питание от анодного источника напряжения через ограничивающее со-

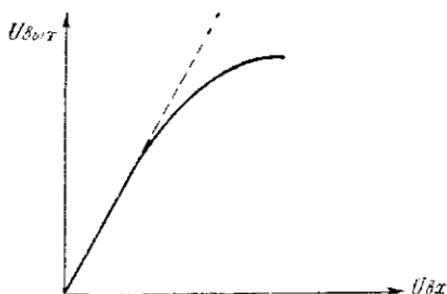


Рис. 46. Амплитудная характеристика УНЧ.

противление  $R_4$ . Конденсатор  $C_4$  шунтирует емкость между второй и первой сетками. Защитная сетка присоединена к катоду. В цепь катода включен резистор  $R_2$ , по которому проходит полный катодный ток  $I_K$ . Создаваемое на нем падение

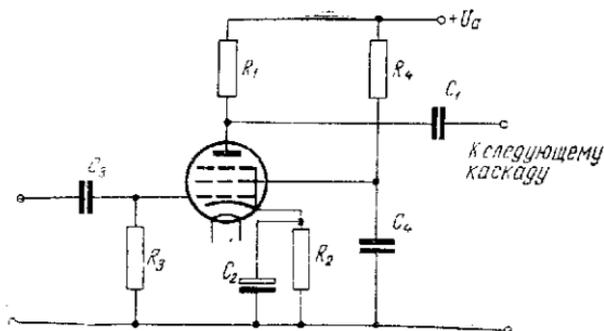


Рис. 47. Схема каскада предварительного усиления.

напряжения  $U_{\text{см}} = I_K \cdot R_2$  служит отрицательным смещением для управляющей сетки. Резистор  $R_2$  шунтируется по переменному току большой емкостью  $C_2$ , которая устраняет отрицательную обратную связь. Переменный (усиленный) катодный ток создает на резисторе  $R_2$  переменное напряжение, которое поступает на сетку в противофазе с напряжением сигнала. Действие сигнала тем самым ослабляется, что равноценно снижению коэффициента усиления. Емкость  $C_2$  за-

мыкает по переменному току участок катодной цепи. Усиленное напряжение снимается с резистора  $R_1$  и через разделительную емкость  $C_1$  поступает в цепь управляющей сетки следующего каскада. Емкость  $C_1$  предотвращает попадание в цепь сетки следующего каскада постоянного анодного напряжения. Через резистор  $R_3$  подается отрицательное напряжение смещения на сетку лампы. Кроме того, резистор  $R_3$  служит для снятия отрицательного заряда с управляющей сетки. При работе лампы электроны, попадающие с катода лампы на управляющую сетку, способны образовать на ней отрицательный заряд, который может запереть лампу.

Следует учесть, что выходные зажимы каскада шунтируются входной емкостью следующего каскада  $C_{вх2}$ , величина которой составляет несколько десятков *пф*. К ней относится междуэлектродная емкость управляющая сетка-катод, емкости между монтажными проводами, деталями и корпусом усилителя. Сюда же относится выходная емкость предыдущей лампы, шунтирующая резистор  $R_1$ . Практически при радиотелефонном приеме влияние  $C_{вх2}$  не проявляется, но при телевизионном приеме с усилением широкой полосы частот (от десятка *гц* до нескольких *Мгц*) влияние  $C_{вх2}$  может быть настолько заметным, что для получения равномерной частотной характеристики приходится брать меньшую величину  $R_1$ , получая меньшее усиление.

**Предоконечные фазоинверсные каскады.** Фазоинверсный каскад применяют в усилителях с двухтактным выходным

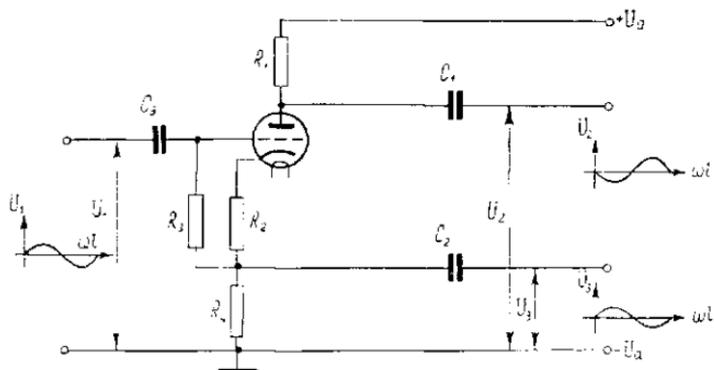


Рис. 48. Схема фазоинвертора с разделенной нагрузкой.

каскадом усиления мощности. Он служит для получения двух одинаковых по величине и противоположных по фазе переменных напряжений, подаваемых на сетки выходных ламп. Широко применяются две схемы фазоинверсного каскада:

трансформаторная и с разделенной нагрузкой. Особенность трансформаторной схемы в том, что в анодную цепь лампы включена первичная обмотка трансформатора, а вторичная обмотка имеет вывод средней точки. Более интересна схема с разделенной нагрузкой (рис. 48). Резистор нагрузки здесь разделен на две части. Одна из них  $R_1$  включена в анодную, а другая  $R_2$  — в катодную цепи. Сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  должны быть одинаковой величины. Полная нагрузка лампы равна их сумме. Резистор автоматического смещения не шунтируется емкостью, поскольку каскад охвачен глубокой отрицательной обратной связью, образуемой резистором  $R_4$ . Лампа для этой схемы выбирается по ее внутреннему сопротивлению  $R_i$ . Сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$  должны быть в 5—10 раз меньше сопротивления сеточного резистора выходных ламп.

**Оконечные каскады УНЧ.** Низкочастотный сигнал от предварительного усилителя поступает в цепь управляющей сетки выходной лампы. В анодную цепь лампы включена первичная обмотка выходного трансформатора. Ко вторичной обмотке подключен один или несколько громкоговорителей. Параллельно первичной обмотке выходного трансформатора включают емкость или цепь из последовательно соединенных емкости и резистора для достижения более равномерного усиления различных частот (рис. 49, а). Величина мощности, которая

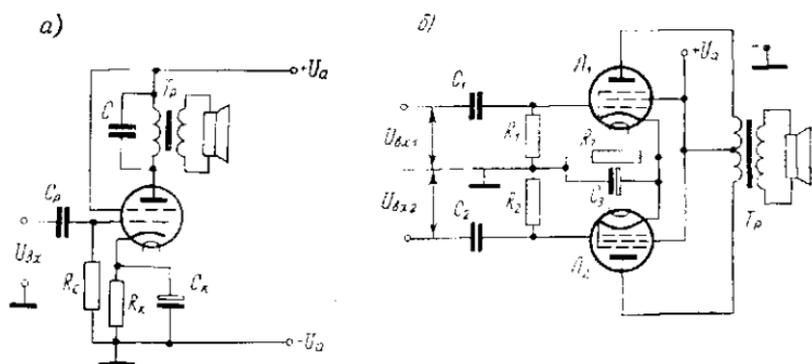


Рис. 49. Оконечные каскады УНЧ:

а) однокатный; б) двухтактный.

выделяется в нагрузке, зависит от соотношения между сопротивлением нагрузки и внутренним сопротивлением лампы. При использовании триодов максимальная мощность достигается при  $R_n \leq (3 \div 4) R_i$ . Для пентодов нагрузка должна составлять лишь 10—15% их собственного сопротивления.

Сопrotивление же динамиков обычно не превышает 20 ом. Поэтому выходная мощность при непосредственном включении динамика в анодную цепь лампы будет очень мала. Через динамик при непосредственном включении будут протекать переменная и постоянная составляющие анодного тока. Это нежелательно. Для увеличения сопротивления нагрузки (звуковой катушки) ее подключают к лампе через выходной трансформатор. Другими словами, в анодную цепь лампы благодаря трансформатору оказывается включенным сопротивление в  $\frac{1}{K^2}$  раз больше, чем сопротивление звуковой катушки громкоговорителя. Здесь  $K$  — коэффициент трансформации. Он равен  $\frac{W_2}{W_1}$ .

**Двухтактные оконечные каскады.** Их применяют: 1) когда требуется выходная мощность большая, чем может дать однопламповый оконечный каскад; 2) когда нужно получить высокое качество воспроизведения передачи или звукозаписи (с малыми нелинейными искажениями); 3) когда нужно уменьшить потребление мощности оконечным каскадом (большой к. п. д.). Применение двухтактного каскада позволяет уменьшить габариты выходного трансформатора. Такие схемы имеют сетевые приемники первого и высшего классов, батарейные приемники второго класса. В таких схемах работают две лампы — мощные пентоды или лучевые тетроды (рис. 49, б). Аноды ламп присоединены к началу и концу первичной обмотки выходного трансформатора  $Tr$ . Эта обмотка имеет вывод средней точки, куда включен положительный полюс источника анодного питания. Напряжения на экранирующие сетки обеих ламп каскада подают от этого же источника, а смещение на управляющие сетки ламп осуществляют через резистор  $R_3$ , включенный в катодную цепь ламп.

### Лабораторное оборудование

Звуковой генератор ЗГ-10.  
 Электронный осциллограф С1-1.  
 Усилитель низкой частоты.  
 Электронный вольтметр МВЛ-2М.  
 Громкоговоритель или магазин сопротивлений.

### Экспериментальная часть

1. Снять амплитудную характеристику УНЧ (рис. 50, а) при  $f_c = \text{const}$ :
  - а) собрать блок-схему (рис. 50, б);
  - б) изменяя величину входного сигнала, электронным вольтметром измерить значения выходного сигнала и результаты измерений записать в табл. 18,  $f_c = 10000$  гц;

- в) произвести аналогичные измерения для значений частот входного сигнала 5000, 1000, 500, 300 и 100 гц;  
 г) построить амплитудные характеристики

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}}) \text{ при } f_r = \text{const.}$$

2. Используя собранную схему, снять частотную характеристику УНЧ при  $R_{\text{н}} = \text{const}$  и  $U_{\text{вх}} = \text{const}$ :

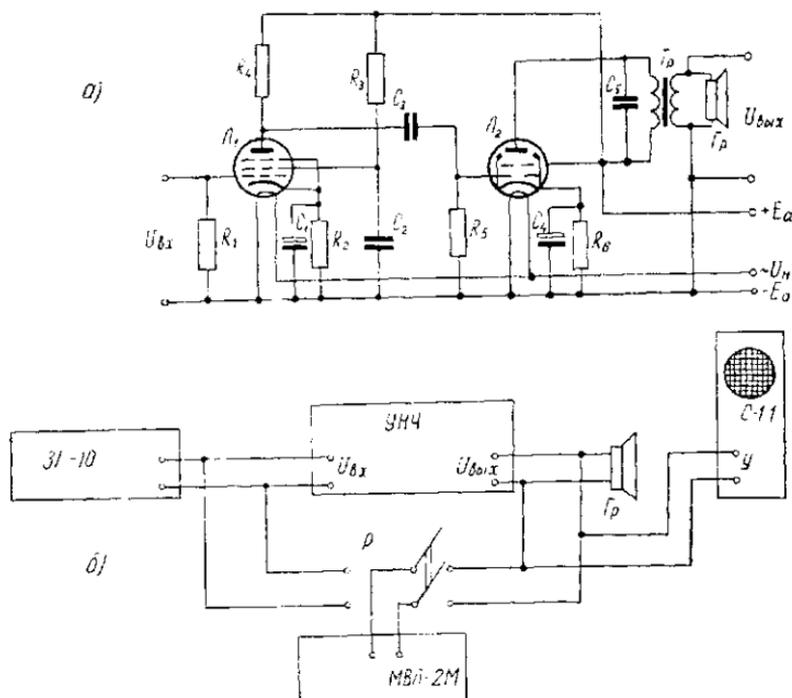


Рис. 50. Схемы исследования УНЧ:  
 а) принципиальная; б) блок-схема.

- а) установив частоту генератора 400 гц, подобрать подводимое к УНЧ напряжение такой величины, чтобы на выходе получить нормальную мощность; напряжение на выходе

$$U_{\text{нор}} = 0,316 \sqrt{P_{\text{вых}} Z_{\text{н}}}$$

где  $P_{\text{вых}}$  — номинальная выходная мощность при коэффициенте нелинейных искажений 0,1;

$Z_{\text{н}}$  — полное сопротивление катушки громкоговорителя.

По вольтметру определить необходимое входное напряжение и поддерживать его в течение опыта постоянным;

- б) изменяя частоту входного сигнала от 20 до 20000 гц, измерить значения выходного сигнала электронным вольтметром;  
 в) изменяя частоту входного сигнала, измерить соответствующие



## РАБОТА 12

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Цель работы

1. Изучить принципиальную схему транзисторного УНЧ с непосредственной связью
2. Снять и исследовать характеристики усилителя.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Усилитель низкой частоты на транзисторах аналогично ламповому содержит один или несколько каскадов предварительного усиления и оконечный каскад.

Каскады предварительного усиления выполняются по схеме с  $RC$ -связью. Рассмотрим схему каскада усилителя (рис. 51).

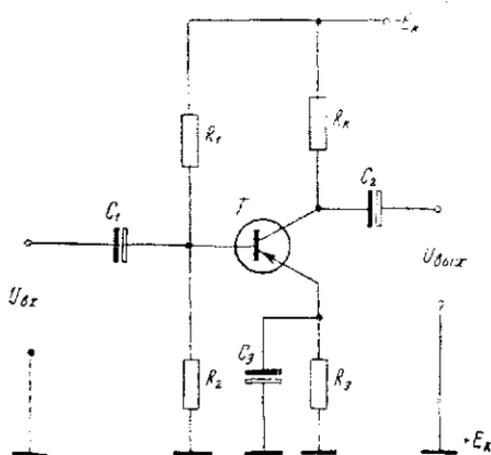


Рис. 51. Схема каскада транзисторного УНЧ.

Входной сигнал поступает в цепь базы транзистора (схема с общим эмиттером). Получаемый на резисторе  $R_к$  усиленный сигнал через разделительный конденсатор  $C_2$  проходит в цепь базы транзистора следующего каскада. Смещение

на базу транзистора подают от общего источника питания усилителя через делитель напряжения  $R_1R_2$  (отрицательное напряжение смещения равно десятым долям вольта). Смещение в цепи базы равно падению напряжения на резисторе  $R_2$  и достаточно стабильное.

При изменении температуры существенно изменяются параметры транзисторов. Для их стабилизации в цепь эмиттера включают резистор  $R_3$ , на котором создается дополнительное смещение между базой и эмиттером, противоположное напряжению смещения, выделенному на резисторе  $R_2$ . Положение рабочей точки на характеристике транзистора зависит от соотношения сопротивлений резисторов  $R_1, R_2, R_3$ . Величина тока базы, определяющего рабочую точку, зависит от напряжения  $U_{см(бэ)}$ .

Если ток эмиттера возрастет, то падение напряжения на резисторе  $R_3$  увеличится, а отрицательное смещение на базе уменьшится, что приведет к снижению токов эмиттера и коллектора. Обратная связь по переменному току устраняется подключением к резистору  $R_3$  конденсатора большой емкости  $C_3 (> 10 \text{ мкф})$ . Для того чтобы по постоянному току база не соединялась с эмиттером через источник входного сигнала, последний включен через разделительный конденсатор  $C_1$ .

Более распространены схемы УНЧ с переходными трансформаторами, которые позволяют хорошо согласовывать кас-

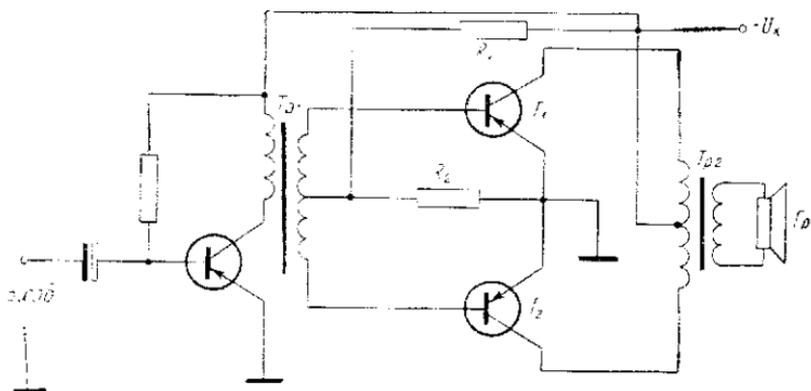


Рис. 52. УНЧ с трансформаторной связью между каскадами и двухтактным выходом.

кады и, следовательно, дают наибольший коэффициент усиления по мощности. Они часто используются между предоконечным и окончательным двухтактным каскадами усилителя (рис. 52). При таком способе связи резистор в цепи коллектора и разделительный конденсатор отсутствуют, а между

выводом коллектора и минусом источника включают первичную обмотку переходного трансформатора  $Tr_1$ . С вторичной обмотки трансформатора напряжение подается на базы транзисторов оконечного каскада. Применение резистора  $R_3$  и конденсатора  $C_3$  в схеме необязательно.

Часто вместо входных фазированных трансформаторов применяют специальные фазопереорачивающие схемы на транзисторах — фазоинверсные каскады. *Фазоинверсным* называется каскад, создающий два напряжения одинаковой амплитуды, сдвинутые по фазе на  $180^\circ$ . Такой каскад обычно

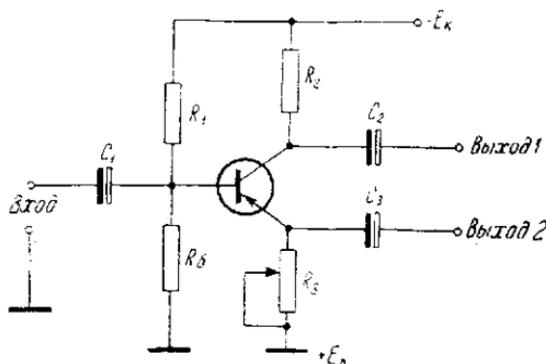


Рис. 53. Схема фазоинверсного каскада.

предшествует двухтактному оконечному каскаду. Широко распространена схема с разделенной нагрузкой, т. е. схема, в которой два равных нагрузочных резистора  $R_2$  и  $R_3$  включены в цепи эмиттера и коллектора, а управляющее входное напряжение подается на базу и положительный полюс источника (рис. 53).

Сопротивление резистора  $R_3$  подбирают в процессе регулировки усилителя.

Оконечные каскады УНЧ служат для усиления мощности и выполняются по однотактной и двухтактной схемам. Однотактные (простые) схемы используются главным образом в малогабаритных приемниках с выходной мощностью 50—100 мвт. При значительной разнице сопротивлений громкоговорителя и нагрузки каскада в коллекторную цепь транзистора включают согласующий выходной трансформатор. Первичная обмотка его для более равномерного усиления различных частот шунтируется звеном, состоящим из резистора и конденсатора.

Транзисторы в оконечных каскадах используются в разнообразных двухтактных схемах. В двухтактной схеме коллекторы транзисторов присоединены к началу и концу первич-

ной обмотки выходного трансформатора. К среднему витку этой обмотки подключен источник питания. Один транзистор с половиной первичной обмотки трансформатора и другими деталями схемы образует плечо двухтактного каскада. Низкочастотный сигнал на вход двухтактного каскада подается в противофазе от фазирующего трансформатора  $Tr_1$ .

В УНЧ на транзисторах обычно между каскадами используется емкостная или трансформаторная связь.

### Лабораторное оборудование

Усилитель низкой частоты.  
 Звуковой генератор ГЗ-33.  
 Электронный осциллограф С1-1.  
 Электронный милливольтметр МВЛ-2М.  
 Громкоговоритель или магазин сопротивлений.

### Экспериментальная часть

- Изучить схему УНЧ (рис. 54, а).
- Снять амплитудную характеристику усилителя при  $f_c = \text{const}$  и  $R_H = \text{const}$ :
  - собрать блок-схему исследования усилителя (рис. 54, б);
  - установить частоту генератора 10000  $\mu\text{ц}$ ;
  - изменяя величину входного напряжения, измерить значения выходного напряжения электронным вольтметром и результаты измерений занести в табл. 20;
  - аналогичным образом произвести измерения для частот входного сигнала 5000, 3000, 1000, 500 и 100  $\mu\text{ц}$ ;
  - построить амплитудные характеристики усилителя

$$U_{\text{вых}} = \Phi(U_{\text{вх}}) \text{ при } f_c = \text{const}, R_H = \text{const}.$$

- Используя собранную схему, снять частотную характеристику усилителя при  $R_H = \text{const}$  и  $U_{\text{вх}} = \text{const}$ :
  - изменяя частоту входного сигнала от 20 до 20000  $\mu\text{ц}$  при постоянном входном сигнале и нагрузке, измерить значения выходного сигнала электронным вольтметром и для каждого случая определить коэффициент усиления

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}};$$

- данные измерений занести в табл. 21;
- построить частотную характеристику усилителя

$$K = \Phi_1(f_c) \text{ при } R_H = \text{const}, U_{\text{вх}} = \text{const}.$$

- Определить чувствительность усилителя.
- Определить коэффициент усиления по напряжению и мощности:

$$K_U = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}; \quad K_P = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}.$$

## Содержание отчета

1. Принципиальная схема исследуемого усилителя.
2. Блок-схема снятия характеристик.
3. Необходимые графики, расчеты и таблицы.

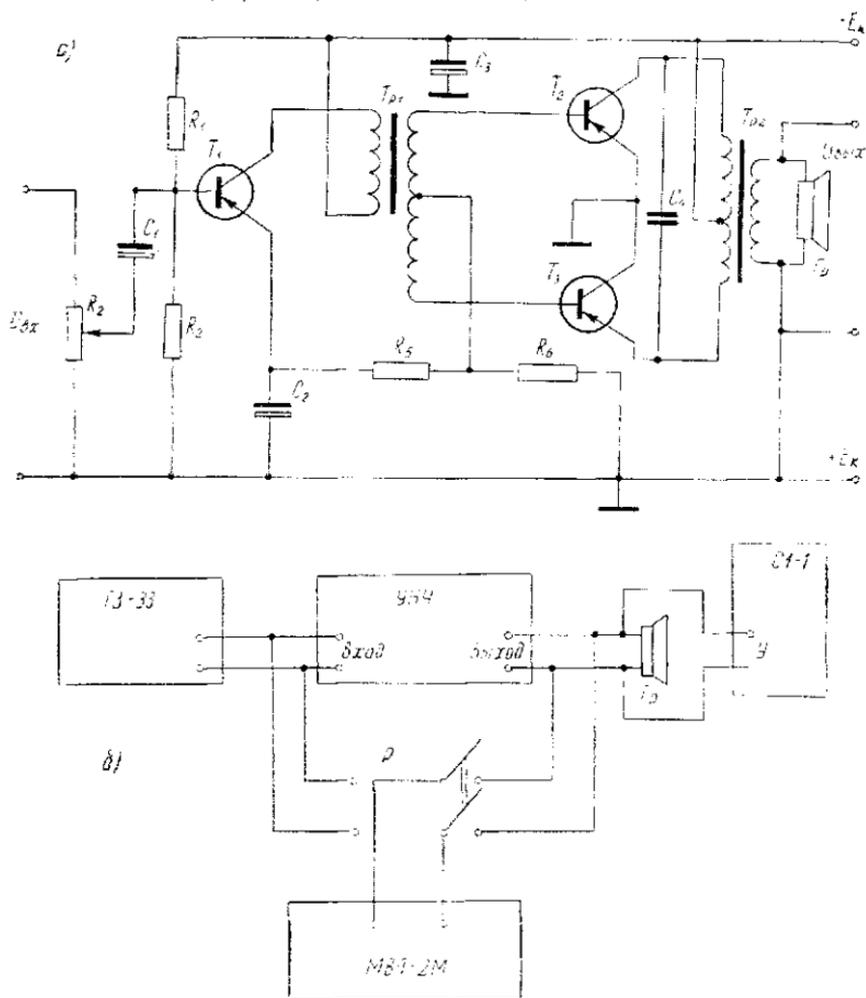


Рис. 54. Схемы исследования усилителя:  
а) принципиальная УНЧ; б) блок-схема.

4. Перечень используемых измерительных приборов с указанием их паспортных данных.
5. Вывод по работе.



## РАБОТА 13

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЛАМПОВОГО МУЛЬТИВИБРАТОРА

Цель работы

1. Изучить работу схемы мультивибратора.
2. Научиться исследовать схемы мультивибраторов.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Ламповый мультивибратор.** Генераторы колебаний используются в радиопередатчиках, радиоприемниках, телевизорах, индукционных печах, ультразвуковых приборах, автоматике и других радиотехнических устройствах, где необходимо возбуждать переменные э. д. с. или токи с заданным законом изменения во времени, например синусоидальные, прямоугольные, пилообразные и др. Генераторы являются преобразователями энергии постоянного тока в энергию переменного тока заданной частоты. Рассмотрим работу самовозбуждающегося генератора импульсов — *мультивибратора*. Мультивибратор позволяет получить импульсы напряжения по форме близкие к прямоугольным. Схема мультивибратора представляет двухкаскадный усилитель на резисторах, у которого выход одного каскада соединен со входом другого. Соединение может быть различным, но чаще применяется схема с анодной связью (рис. 55), в которой анодная цепь каждой лампы соединена с сеткой другой лампы. Если  $R_{a1} = R_{a2}$ ;  $C_{p1} = C_{p2}$ ;  $R_{c1} = R_{c2}$ , то такая схема называется *симметричным мультивибратором*.

Наличие в схеме сильной положительной обратной связи, а также отсутствие в ней частотно-избирательных цепей вызывает колебания, значительно отличающиеся от гармонических. Сильная обратная связь приводит к тому, что начальное состояние равновесия (в момент включения схемы) очень неустойчиво. Малейшее изменение анодного тока любой из ламп вызывает лавинный процесс, который приводит систему к одному из двух возможных состояний равновесия.

В период заряда одного из конденсаторов и разряда другого ток пропускает одна из ламп, а вторая заперта. По достижении критического режима процессы развиваются в противоположном направлении.

В момент включения источника питания через лампы начинают проходить токи. Конденсаторы  $C_{p1}$  и  $C_{p2}$  заряжаются. Напряжения на элементах схемы имеют определенные значения. Мультивибратор находится в неустойчивом состоянии. Допустим, ток лампы  $L_1$  возрос (по сравнению с  $L_2$ ), тогда

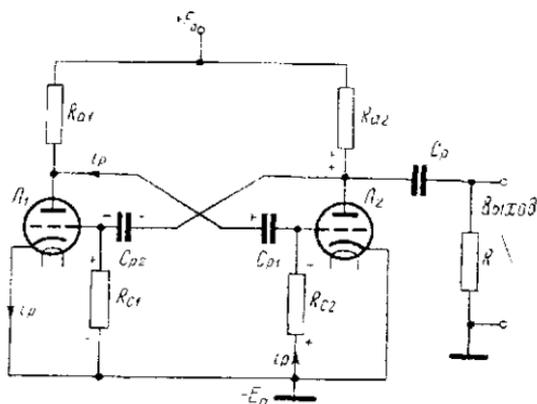


Рис. 55. Схема лампового мультивибратора.

анодное напряжение этой лампы уменьшится ( $U_{a1} = E_a - I_{a1} \times R_{a1}$ ). Конденсатор  $C_{p1}$  начинает разряжаться через лампу  $L_1$  и резистор  $R_{c2}$ , так как его потенциал остался прежним, а потенциал анода лампы  $L_1$  уменьшился. При протекании разрядного тока через резистор  $R_{c2}$  на нем падает напряжение, минус которого приложен к сетке лампы  $L_2$  и лампа запирается еще больше. Анодный ток ее резко уменьшается, а напряжение на аноде растет ( $U_{a2} = E_a - I_{a2} \cdot R_{a2}$ ).

Конденсатор  $C_{p2}$  будет заряжаться по цепи: резистор  $R_{a2}$ , конденсатор  $C_{p2}$  и параллельная цепь из резистора  $R_{a1}$  и сопротивления промежутка сетка — катод первой лампы, которое очень мало. На сетке лампы  $L_1$  наблюдается всплеск положительного напряжения, который полностью открывает лампу  $L_1$  и запирает лампу  $L_2$ . Описанный процесс длится доли микросекунды.

Выше мы говорили, что конденсатор  $C_{p1}$  разряжается, запирая лампу  $L_2$ . Эта лампа остается запертой, пока  $C_{p1}$  не разрядится до напряжения отпирания лампы. Тогда в лампе  $L_2$  появляется анодный ток, и схема опрокидывается. Теперь разряжается конденсатор  $C_{p2}$ , а заряжается конденсатор  $C_{p1}$ , запирается лампа  $L_1$  и т. д. Процесс повторяется периодически, его частота может быть от доли герца до десятков

килогерц. На резисторах  $R_{a1}$  и  $R_{a2}$  получаются прямоугольные импульсы напряжения, амплитуда которых зависит от сопротивлений резисторов, а также от  $E_a$ . Длительность импульсов зависит от времени заряда и разряда конденсаторов.

Мультивибратор позволяет получить импульсы с длительностью в десятки микросекунд.

**Резисторно-емкостные мультивибраторы.** Наиболее распространенная схема  $RC$ -мультивибратора представлена на рис. 56. В этой схеме коллектор одного транзистора соединен

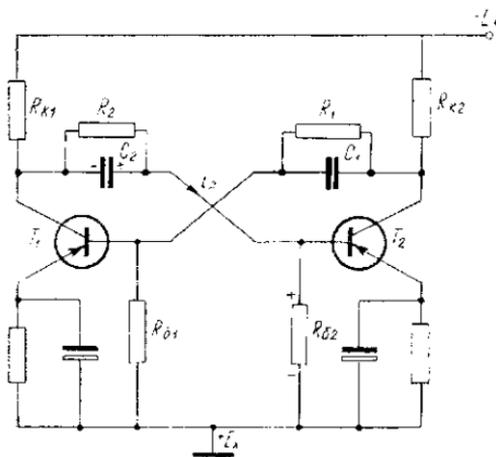


Рис. 56. Схема  $RC$ -мультивибратора на транзисторах.

с базой другого обратной связью  $RC$ . Резисторы в цепях эмиттера служат для стабилизации рабочего режима транзисторов. Резисторы связи могут включаться как до резистора нагрузки, так и после него.

Принцип действия схемы такой же, как у лампового мультивибратора. Если через транзистор  $T_2$  течет ток, то транзистор  $T_1$  заперт. При этом конденсатор  $C_1$  заряжен положительно относительно базы  $T_1$ . Он разряжается через  $T_2$  и резистор  $R_{b1}$ . Когда потенциал базы  $T_1$  будет равен нулю, через транзистор потечет коллекторный ток и отрицательный потенциал на коллекторе  $T_1$  уменьшится. Одновременно через конденсатор  $C_2$  на базу транзистора  $T_2$  прикладывается положительный потенциал, который начнет закрывать  $T_2$ , уменьшая ток. Конденсатор  $C_2$  разряжается через  $R_{b2}$  и  $T_1$ , поддерживая положительный потенциал на базе  $T_2$ . Транзистор  $T_2$  закрывается, а  $T_1$  полностью открывается. Это происходит, пока конденсатор  $C_2$  не разрядится, сняв положительный потенциал с базы  $T_2$  и т. д.

**Резисторно-индуктивные мультивибраторы.** *RL*-мультивибраторы (рис. 57) используются для получения прямоугольных колебаний большой мощности (в преобразователях постоянного напряжения). Сердечник трансформатора у них должен

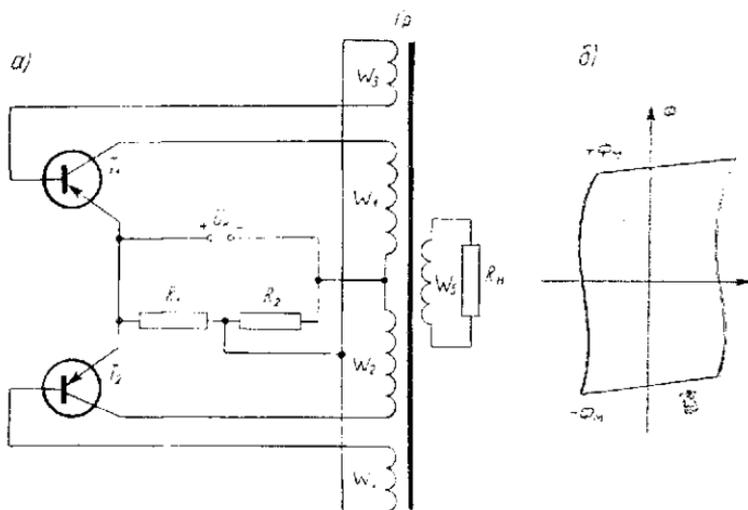


Рис. 57. *RL*-мультивибратор прямоугольных импульсов: а) принципиальная схема; б) схема петли гистерезиса.

иметь прямоугольную петлю гистерезиса, высокое значение индукции насыщения и малую коэрцитивную силу. Наличие индуктивной обратной связи обуславливает поочередное открытие и закрытие транзисторов, отчего ток попеременно протекает от источника питания  $U_K$  через транзисторы  $T_1$  и  $T_2$  и обмотки  $W_1$  и  $W_2$ . Допустим, что через транзистор  $T_1$  протекает ток по цепи: эмиттер  $T_1$ , его коллектор и обмотка  $W_1$ . Тогда в обмотке  $W_3$  индуцируется э. д. с., приложенная минусом к базе  $T_1$  (положительная обратная связь). В обмотке же  $W_4$  индуцируется э. д. с., которая дает плюс на базу  $T_2$  (при правильном включении концов обмоток  $W_3$  и  $W_4$ ) и, естественно, транзистор  $T_2$  будет заперт. Но э. д. с. в обмотках наводятся, пока не наступит насыщение сердечника трансформатора. В этот момент изменение магнитного потока прекратится и, следовательно, прекратится индуцирование э. д. с. в обмотках  $W_3$  и  $W_4$  (рис. 57, б). Поэтому отрицательный потенциал снимается с обмотки  $W_3$  и базы  $T_1$ ; транзистор  $T_1$  закрывается и его ток уменьшается, т. е. меняется его направление в обмотке  $W_1$ . Как только ток в  $W_1$  изменит направление, несколько изменится и магнитный поток, что приведет к наведенно э. д. с. в обмотке  $W_4$ , минус которой будет приложен

к базе  $T_2$ . Транзистор  $T_2$  открывается и через его и обмотку  $W_2$  течет коллекторный ток. В обмотках  $W_3$  и  $W_4$  наводятся э. д. с., причем минус обмотки  $W_4$  еще больше открывает  $T_2$ , а плюс обмотки  $W_3$  полностью закрывает транзистор  $T_1$ . В результате ток, проходящий через  $T_2$ , увеличивается, а ток через  $T_1$  полностью прекращается. Этот процесс длится до отрицательного насыщения сердечника, после чего начинается следующий период колебания. В схеме резисторы  $R_1$  и  $R_2$  образуют цепь делителя напряжения с низким общим сопротивлением, которая подает смещение на транзисторы.

### Лабораторное оборудование

Схема мультивибратора.

Осциллограф ИО-4 или ЭО-6М.

Источник питания (постоянное напряжение 250 в и переменное — 6,3 в).

Соединительные провода.

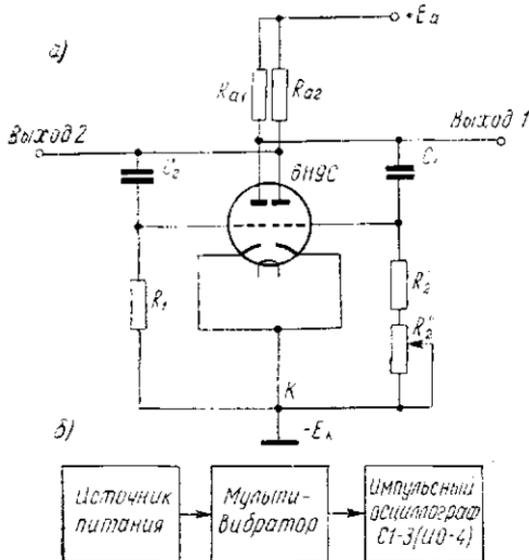


Рис. 58. Схемы исследования мультивибратора:

а) принципиальная; б) блок-схема исследования.

### Экспериментальная часть

1. Изучить работу принципиальной схемы мультивибратора (рис. 58, а).
2. Исследовать схему мультивибратора:
  - а) собрать блок-схему исследования (рис. 58, б);



## РАБОТА 14

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТРИГГЕРА НА ТРАНЗИСТОРАХ

Цель работы

1. Изучить принципиальную схему статического триггера на транзисторах с коллекторно-базовыми связями.
2. Научиться исследовать работу триггера.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Триггеры* — это усилители с положительной обратной связью, в которых анодный ток от минимального значения до полного возрастает скачком. Схема триггера имеет два устойчивых состояния равновесия и относится к числу спусковых схем, которые скачкообразно переходят из одного равновесного состояния в другое. Ламповые схемы триггеров выполняются на двойных триодах (6Н8С, 6Н9С, 6П1П, 6Н2П, 6П15П), реже — на пентодах. Триггеры широко используются в вычислительной технике, выполняя функции электронного реле. Они позволяют просто записать нуль (например, левая лампа открыта, а правая — закрыта) и единицу (левая лампа закрыта, а правая лампа открыта). Схема из одного состояния в другое переводится действием внешних импульсов одной полярности (отрицательной полярности для ламп и положительной — для транзисторов), поступающих на вход схемы от общего источника импульсов через разделительные диоды, которые устраняют влияние источника питания на триггер. Такой запуск триггера называют *счетным*. Для улучшения процесса срабатывания резисторы  $R_1$  и  $R_2$  шунтируют конденсаторами  $C_1$  и  $C_2$  (рис. 59). Схема, выведшая из начального состояния действием импульса входного напряжения, не возвращается в исходное состояние самостоятельно, а требует для этого второго импульса. Сетка лампы  $L_1$  через резистор  $R_2$  соединена с анодом лампы  $L_2$ , а сетка  $L_2$  соединена с анодом лампы  $L_1$  через резистор  $R_1$ . Подобное включение обеспечивает взаимную обратную связь между лампами, при которой в случае увеличения анодного тока одной лампы, а значит, и увеличения падения напряжения на аноде, одновременно уменьшается положительный потенциал на сетке

другой лампы. При этом допускается, что схема триггера симметрична, т. е. лампы  $\mathcal{L}_1$  и  $\mathcal{L}_2$  однотипны:  $R_1 = R_2$ ;  $R_{c1} = R_{c2}$  и  $R_{a1} = R_{a2}$ . Рассмотрим случай, когда лампа  $\mathcal{L}_1$  открыта, а  $\mathcal{L}_2$  закрыта. Предположим, что при этих условиях на вход схемы подается отрицательный импульс. Появившись на

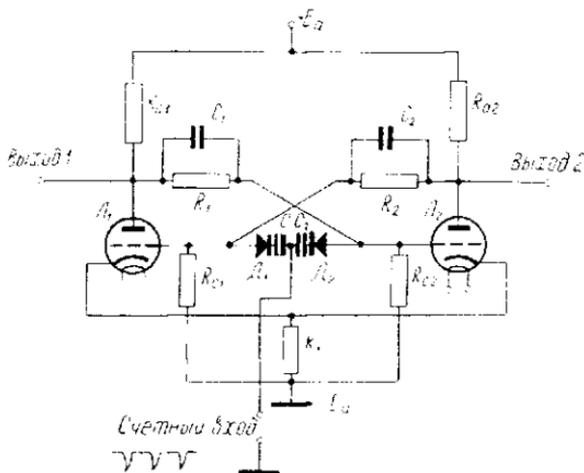


Рис. 59. Схема лампового триггера.

сетке  $\mathcal{L}_1$ , он уменьшает ток через нее. Уменьшение тока вызывает увеличение напряжения на аноде  $\mathcal{L}_1$ , что приводит к увеличению положительного потенциала на сетке  $\mathcal{L}_2$ . Лампа  $\mathcal{L}_2$  приоткрывается, а анодное напряжение на ней падает. Уменьшение напряжения на аноде  $\mathcal{L}_2$  вызывает уменьшение напряжения на сетке  $\mathcal{L}_1$ , поэтому лампа  $\mathcal{L}_1$  запирается, а ее анодное напряжение растет. Рост анодного напряжения  $\mathcal{L}_1$  приводит к увеличению тока лампы  $\mathcal{L}_2$  и уменьшению ее напряжения. Анодное напряжение  $\mathcal{L}_2$  уменьшается, пока лампа  $\mathcal{L}_1$  не закроется, а лампа  $\mathcal{L}_2$  полностью не откроется. Этот процесс повторится в обратном порядке при следующем отрицательном импульсе.

В настоящее время различные конструкции триггерных реле позволяют переводить схему из одного устойчивого состояния в другое за время от нескольких микросекунд до долей микросекунды.

Вызывает интерес использование переключающих схем на транзисторах при включении последних по схеме с общим эмиттером. Эти схемы переводятся из состояния *включено* в состояние *выключено* или, наоборот, последовательно поступающими импульсами.

Схема симметричного триггера (рис. 60) состоит из двух усилительных каскадов, работающих в ключевом режиме и

соединенных через делитель. Обратная связь подана с выхода усилителя (коллектор  $T_2$ ) на вход (база  $T_1$ ). Триггер срабатывает при подаче положительного пускового импульса на базу открытого транзистора. Диод, присоединенный к базе закрытого транзистора, имеет большее обратное смещение.

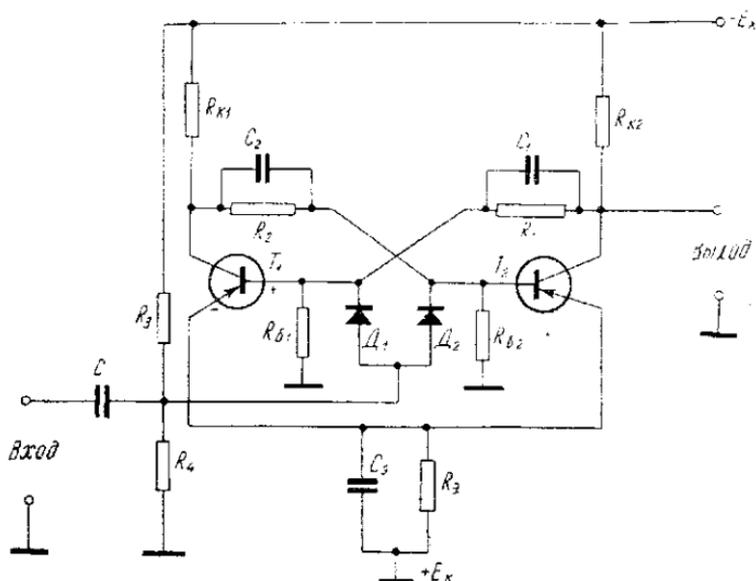


Рис. 60. Схема триггера на транзисторах.

чем диод, присоединенный к открытому. Большое смещение препятствует прохождению пускового импульса через этот диод. Обратное напряжение на диодах задается через делитель  $R_3$  и  $R_4$ . Например, если транзистор  $T_1$  заперт, то между его базой и эмиттером приложена разность потенциалов (2—4 в) постоянного смещения с полярностью плюс на базе, а минус на эмиттере. Эта разность потенциалов будет обратной для  $D_1$  и для положительных запускающих импульсов, амплитуда которых не превышает уровень запираения, диод закрыт. Диод  $D_2$  и транзистор  $T_2$  открыты, разность потенциалов между его базой и эмиттером близка к нулю. Положительные импульсы, попадая на базу  $T_2$ , запирают его, и схема опрокидывается, т. е. переходит в другое положение равновесия.

Обычно для запуска сигнал подают на базу, так как это дает более широкие пределы изменения рабочего режима и большую чувствительность; запуск через эмиттер или коллектор применяется реже. Эмиттерный резистор в насы-

щепном триггере обеспечивает отрицательную обратную связь и улучшает стабильность.

При использовании в схемах плоскостных транзисторов низкочастотного типа параллельно базовому резистору ставится конденсатор, увеличивающий быстродействие и разрешающую способность (в случае высокочастотных транзисторов конденсатор не требуется).

Рассмотрим подробно работу схемы при счетном запуске триггера через диоды на базы. Положим транзистор  $T_1$  закрыт, а  $T_2$  открыт. Положительный входной импульс через диод  $D_2$  запирает открытый транзистор  $T_2$ , поэтому на его нагрузке  $R_{1,2}$  в коллекторной цепи возникает отрицательный импульс. Импульс через конденсатор связи  $C_1$  подается на базу  $T_1$  и транзистор открывается.

Ток, протекающий через  $T_1$ , вызывает падение напряжения на  $R_{1,1}$ , которое передается как положительный импульс на базу  $T_2$  и усиливает действие входного импульса. В результате схема быстро опрокидывается. Следующий положительный импульс вызывает запираание транзистора  $T_1$  и т. д. Важным показателем триггера является его быстродействие, т. е. четкое срабатывание при поступлении сигналов. Для повышения быстродействия применяют малонерционные транзисторы, устанавливают ограничительные диоды, недопускающие глубокого насыщения транзисторов, а также стремятся уменьшить сопротивление используемых в схеме резисторов.

В последнее время для построения переключающих устройств применяют туннельные диоды, схемы на которых обладают высоким быстродействием и весьма стабильны (амплитуда выходных импульсов у них невелика).

### Лабораторное оборудование

Импульсный осциллограф.  
Два миллиамперметра на 5 мА.  
Генератор импульсов.  
Электронный вольтметр.  
Соединительные провода.

### Экспериментальная часть

1. Изучить работу схемы триггера (рис. 61).
2. Исследовать работу триггера в статическом режиме:
  - а) собрать блок-схему исследования триггера (рис. 62);
  - б) вынуть перемычки и на их место включить миллиамперметры;
  - в) подключить выход генератора на «Вход 2» триггера и увеличивать выходное напряжение импульса, пока триггер не установится в положение «0» ( $T_1$  — закрыт); время импульса  $t_{и} = 2 \div 6$  мксек;
  - г) измерить коллекторные токи и напряжения, а также амплитуды

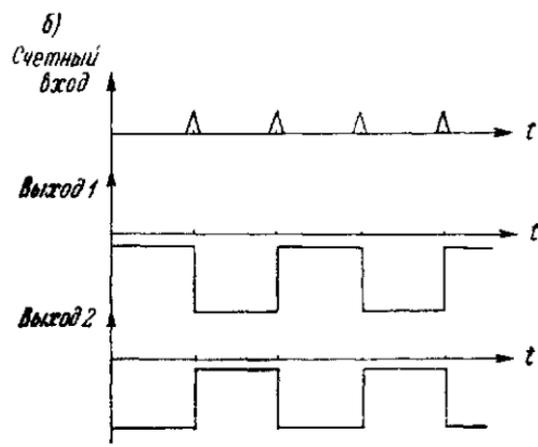
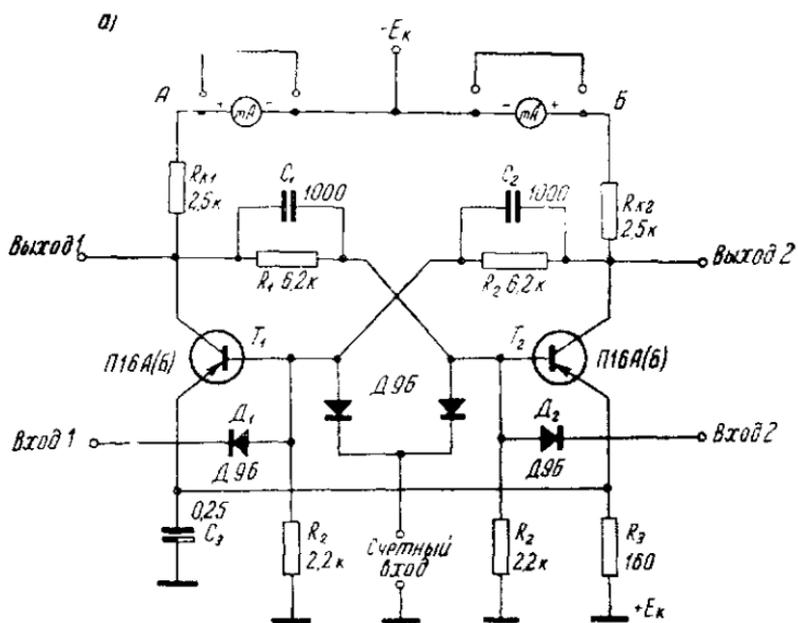


Рис. 61. Схема исследования триггера:  
 а) принципиальная схема; б) диаграммы входного и выходных импульсов.

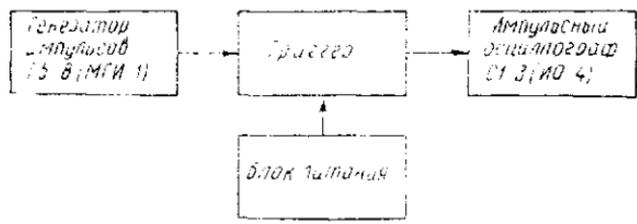


Рис. 62. Блок-схема исследования триггера.



## РАБОТА 15

### ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

#### Цель работы

1. Изучить назначение, устройство и схему электронного осциллографа С1-1
2. Овладеть методом измерения величины неизвестного тока и напряжения при помощи осциллографа.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Блок-схема.** Электронный осциллограф получил в практике радиоизмерений широкое распространение. *Осциллографом* называют прибор, с помощью которого можно наблюдать или фотографировать форму кривой напряжения и тока в исследуемых цепях низких и высоких частот. Осциллограф также используется для измерения напряжения, тока, частоты, угла сдвига фаз и др.

Рассмотрим блок-схему осциллографа С1-1 (ЭО-7), основные элементы которой являются общими и для других типов осциллографов. Блок-схема состоит из следующих узлов (рис. 63):

1) электронно-лучевой трубки; 2) входного attenuатора; 3) усилителя вертикального отклонения; 4) усилителя горизонтального отклонения; 5) генератора непрерывной развертки; 6) блока питания; 7) электронного стабилизатора напряжения; 8) цепи синхронизации для получения устойчивого неподвижного изображения исследуемого сигнала на экране трубки.

Два исследуемых напряжения, приложенные каждое к соответствующим пластинам, образуют на экране кривую в прямоугольных координатах, показывающую соотношение между двумя напряжениями. Если к горизонтальным пластинам подключить генератор временной развертки, а на вход вертикальных пластин непосредственно или через усилитель подать исследуемое напряжение, то получим кривую изменения исследуемого напряжения во времени. Если оба отклоняющих напряжения имеют одинаковые или кратные частоты, то на экране образуется неподвижное изображение. Если оба напряжения синусоидальны, то изображения получатся в виде различных фигур Лиссажу.

Рассмотрим принципиальную схему осциллографа (рис. 64).  
**Входная цепь вертикального усилителя.** Вертикальный вход осциллографа имеет входное сопротивление 2 Мом и емкость 30 пф. Низкоомный потенциометр  $R_7$  (50 ком) в катодном повторителе левого триода  $L_1$  благодаря применению катодного повторителя, допускает регулировку исследуемого сигнала без замет-

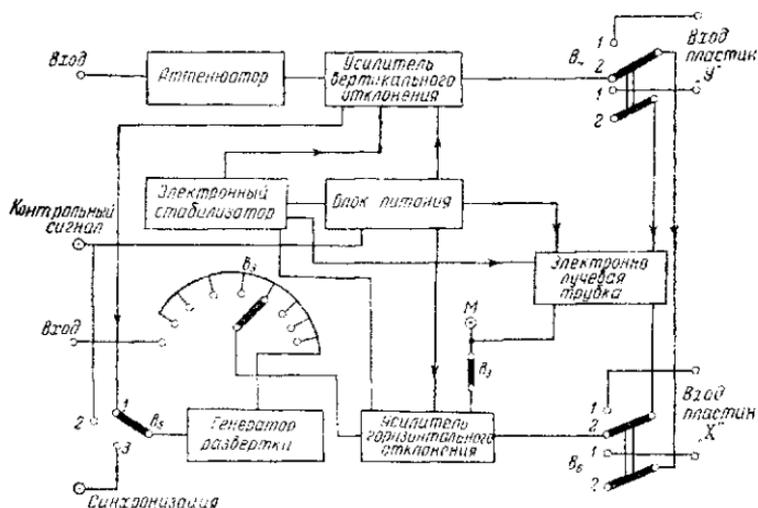


Рис. 63. Блок-схема электронного осциллографа С1-1.

ных частотных искажений. Сетка катодного повторителя (левый триод  $L_1$ ) соединяется через разделительный конденсатор  $C_2$  непосредственно с входом. Большое сопротивление катодного резистора  $R_5$  (56к) и подсоединение его к отрицательному зажиму источника питания (300в) через резистор  $R_6$  дают возможность подавать на сетку катодного повторителя значительные потенциалы без перегрузки лампы. На входе вертикального усилителя имеется 3-ступенчатый аттенуатор с отношением ослабления 1 : 1; 1 : 10; 1 : 100. В положении 1 : 100 входное напряжение может достигать 400 в, в других положениях аттенуатора оно соответственно меньше.

**Вертикальный усилитель.** Напряжение сигнала снимается с резистора  $R_7$  и поступает на сетку правого триода  $L_1$ , на конденсатор  $C_8$  и на левый триод  $L_2$ . Оба триода усиливают исследуемое напряжение. Уменьшение усиления на высоких частотах, вызываемое паразитными емкостями лампы и проводов, компенсируется катушками индуктивности  $L_1$  и  $L_2$ , включенными в анодные цепи. Уменьшение усиления на низких частотах, вызываемое переходными конденсаторами  $C_3$  и  $C_{11}$ , компенсируется соответствующим подбором сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов развязок. Подбирая

одновременно  $C_7R_8C_{10}R_{15}C_9R_{10}$ , получают хорошую низко-частотную характеристику усилителя.

С анодной нагрузки  $R_{14}$  левого триода лампы  $\mathcal{L}_2$  через конденсатор  $C_{11}$  усиленный сигнал поступит на сетку правого триода  $\mathcal{L}_2$ , работающего по схеме катодного повторителя. Частью катодной нагрузки катодного повторителя является потенциометр  $R_{18}$ , служащий регулятором вертикальной установки луча. Также с катодной нагрузки снимается напряжение для синхронизации генератора развертки. Резисторы  $R_{12}$  и  $R_{17}$  являются резисторами утечки сеток  $\mathcal{L}_2$ . Смещение для левого триода  $\mathcal{L}_2$  получается при падении напряжения на  $R_{13}$ . Между катодом правого триода  $\mathcal{L}_2$  и движком потенциометра  $R_{18}$  включена емкость  $C_{12}$ , компенсирующая завал высокой частоты при перемещении движка. С потенциометра  $R_{18}$  напряжение подается на сетку оконечного каскада усилителя, собранного на лампах  $\mathcal{L}_3$  и  $\mathcal{L}_4$  по парафазной схеме. В аноды этих ламп включены корректирующие индуктивности  $L_3$  и  $L_4$ . Резистор  $R_{51}$  является гасящим в цепи экранных сеток ламп  $\mathcal{L}_3$  и  $\mathcal{L}_4$ , а резисторы  $R_{57}$  и  $R_{58}$  являются анодными нагрузками усилителя. С анодов парафазного усилителя напряжение сигнала поступает на вертикальные пластины через двухполюсный переключатель  $B_2$ , когда он находится в нижнем положении.

**Горизонтальный усилитель.** На входе горизонтального усилителя стоит катодный повторитель (левый триод лампы  $\mathcal{L}_6$ ). С него напряжение подается на следующий катодный повторитель (правый триод  $\mathcal{L}_6$ ). С катодной нагрузки триода  $\mathcal{L}_6$  (потенциометр  $R_{45}$ ) напряжение подается на управляющую сетку оконечного усилителя, собранного по парафазной схеме на лампах  $\mathcal{L}_7$  и  $\mathcal{L}_8$ . С анодов этих ламп напряжение развертки подается через двухполюсный переключатель  $B_4$  на горизонтальные пластины трубки. В схеме усилителя обозначены:  $L_5$ ,  $L_6$  — корректирующие индуктивности;  $R_{59}$ ,  $R_{60}$  — анодные нагрузки усилителя;  $R_{49}$  — гасящий резистор экранных сеток;  $C_{31}$  — корректирующая емкость.

Максимальное входное напряжение не должно превышать 25 в, так как здесь отсутствует аттенюатор. Усилитель подключается к внешнему источнику сигнала, т. е. отключается от генератора развертки установкой переключателя диапазонов развертки в положение «Выкл.».

**Генератор развертки.** Если к горизонтально отклоняющим пластинам трубки приложено напряжение, изменяющееся пропорционально времени (напряжение пилообразной формы), а исследуемое напряжение приложено к вертикальным отклоняющим пластинам, то полученная результирующая кривая покажет изменение исследуемого сигнала во времени. Если пилообразное напряжение синхронизировать с исследу-

дваемым напряжением так, чтобы они начинались в одной и той же части периода, то результирующая кривая будет неподвижной и доступной для детального исследования. Напряжение генератора осциллографа имеет форму пилы, возрастающая часть которой линейна во времени. Генератор развертки работает на тиратроне ТГ1-0,1/0,3. Если к схеме приложено напряжение  $E_a$ , то конденсатор  $C_{26}$  заряжается со скоростью, определяемой постоянной времени цепи  $(R_{38} + R_{39} + R_{40} + R_{41}) \cdot C_{26}$ . Когда заряд конденсатора  $C_{26}$  достигнет величины напряжения зажигания тиратрона, то он быстро разрядится до напряжения гашения тиратрона. После этого цикл повторяется. Генератор генерирует колебания частотой от 2 до 50000  $\mu\text{ц}$  на восьми диапазонах; каждому диапазону соответствует определенная величина емкости конденсатора. Блок состоит из 8 конденсаторов  $C_{25} - C_{32}$ , включаемых в цепь генератора переключателем диапазонов развертки. Точная величина частоты развертки устанавливается плавным регулятором частоты развертки  $R_{41}$ . Напряжение генератора развертки имеет амплитуду порядка 25 в, поэтому его необходимо усилить перед подачей на отклоняющие горизонтальные пластины трубки.

Если к сетке тиратрона приложить напряжение сигнала, частота которого равна или кратна частоте развертки, то пилообразное напряжение развертки окажется синхронизированным с частотой сигнала и изображение на экране будет неподвижным.

Минимальное напряжение синхронизации составляет в зависимости от частоты 0,05—0,1 в.

**Блок питания.** Осциллограф питается от сети переменного тока с напряжением 110, 127 или 220 в и частотой 40—60  $\mu\text{ц}$ , потребляя мощность порядка 120 в $\cdot$ а. Блок питания состоит из трех отдельных выпрямителей, питающихся от общего силового трансформатора. Трубка питается от кенотронов  $L_{13}$  и  $L_{14}$ .

Отрицательное напряжение, выпрямленное кенотроном  $L_{14}$  (около 1250 в) и сглаженное в резисторно-емкостном фильтре  $R_{33}C_{19}C_{20}$ , подается на делитель напряжения  $R_{29}R_{30}R_{31}R_{32}$ . На модулятор трубки через развязывающий резистор  $R_{27}$  поступает полное отрицательное напряжение. На этот же электрод через конденсатор  $C_{15}$  подается напряжение, модулирующее яркость луча. Напряжение питания на катод трубки снимается с потенциометра  $R_{29}$ . Яркость луча регулируется изменением разности потенциалов между модулятором и катодом. Когда отрицательный потенциал на модуляторе относительно катода увеличивается, яркость луча уменьшается вплоть до полного его исчезновения. На фокусирующий анод (первый анод) напряжение подается с потенциометра  $R_{31}$ . Фокусиру-

ющий анод работает в качестве электронной линзы. Второй анод питается от стабилизированного источника питания через делитель напряжения  $R_{54}R_{55}$ . Выпрямленное положительное напряжение снимается с кенотрона  $\mathcal{L}_{13}$  и подается на третий анод. Конденсаторы  $C_{16}, C_{17}, C_{18}$  — блокировочные. Так как к катоду трубки приложено отрицательное напряжение свыше 1000 в, а к третьему аноду приложено напряжение 1500 в, то результирующее напряжение между катодом и третьим анодом трубки равно примерно 2500 в. Лампа  $\mathcal{L}_{15}$  через двухзвенный резисторно-емкостный фильтр  $R_{61}R_{62}C_{37}C_{38}C_{39}$  подает положительное напряжение 300 в на парафазные усилители  $\mathcal{L}_3\mathcal{L}_4$  и  $\mathcal{L}_7\mathcal{L}_8$  и генератор развертки  $\mathcal{L}_5$ . Кенотрон  $\mathcal{L}_{15}$  питает электронный стабилизатор. Кенотрон  $\mathcal{L}_{16}$ , работающий в однополупериодной схеме, дает отрицательное напряжение (300в), которое через резисторно-емкостный фильтр  $R_{56}C_{40}C_{41}$  поступает на катоды повторители.

**Стабилизатор напряжения.** Поскольку усилители осциллографа имеют большой коэффициент усиления, то нормальные колебания напряжения питания вызывали бы значительные перемещения изображения по экрану трубки. Для устранения этого аноды предварительных каскадов усилителя питают напряжением, стабилизированным электронным стабилизатором. Этот стабилизатор достаточно хорошо стабилизирует напряжение при нормальных колебаниях сети и изменениях нагрузки усилителей. Электронный стабилизатор состоит из лампы  $\mathcal{L}_9$ , работающей в качестве регулируемого резистора, усилительной лампы  $\mathcal{L}_{10}$  и газового стабилизатора  $\mathcal{L}_{11}$ . Электронный стабилизатор дает напряжение 155 в, которое подается на предварительные каскады усилителей. Резистор анодной нагрузки  $R_{52}$  усилительной лампы  $\mathcal{L}_{10}$  включен между сеткой и катодом лампы  $\mathcal{L}_9$ . Анодный ток регулирующей лампы  $\mathcal{L}_{10}$  создает на этом резисторе падение напряжения, которое служит одновременно отрицательным смещением регулируемой лампы  $\mathcal{L}_9$ . Потенциал катода лампы  $\mathcal{L}_{10}$  стабилизирован газовым стабилизатором  $\mathcal{L}_{11}$ . Часть измененного напряжения питания на выходе стабилизатора через потенциометр  $R_{51}$  передается сетке лампы  $\mathcal{L}_{10}$ , которая усиливает эти изменения, сдвигает по фазе на  $180^\circ$  и подает на сетку лампы  $\mathcal{L}_9$ . Вследствие этого при увеличении напряжения питания на входе стабилизатора сетка лампы  $\mathcal{L}_9$  получает отрицательный перепад напряжения. Сопротивление лампы растет, напряжение на входе стабилизатора уменьшается. При уменьшении напряжения питания происходит обратное. Для большей стабилизации при быстрых изменениях напряжения питания потенциометр  $R_{51}$  шунтирован конденсатором  $C_{36}$ . Движок потенциометра должен быть установлен так, чтобы стабилизированное напряжение на катоде лампы  $\mathcal{L}_9$  равнялось точно 155 в.

**Органы управления и их назначение.** На лицевой панели расположены следующие органы управления.

1. Выключатель сети питания  $B_7$ . 2. Регулятор яркости луча  $R_{29}$ . 3. Регулятор фокусировки  $R_{31}$ . 4. Выключатель луча  $B_3$ . 5. Вертикальная установка луча  $R_{18}$ . 6. Горизонтальная установка луча  $R_{45}$ . 7. Плавный регулятор частоты  $R_{41}$ . 8. Регулятор вертикального усилителя  $R_7$ . 9. Регулятор горизонтального усилителя  $R_{44}$ . 10. Контрольный сигнал переменного тока (для испытания). 11. Переключатель диапазонов развертки  $B_{6a}$ . Установка этого переключателя определяет диапазон плавного регулирования частоты. Цифры, указывающие диапазоны, следующие: 2, 7, 30, 130, 500, 2к, 7к, 25к, 50к. Если ручка переключателя установлена на черту между 7 и 30, то диапазон имеет частоты от 7 до 30 гц. При установке переключателя в положение «Выкл.» горизонтальный вход подключается к горизонтальному усилителю, а генератор развертки выключается. 12. Переключатель синхронизации  $B_5$ . Переключатель подключает сигнал для синхронизации частоты развертки с исследуемым напряжением. В положении переключателя «Внешн.» внешнее синхронизирующее напряжение подключается к генератору развертки. Это применяется, когда напряжение синхронизации должно отличаться от исследуемого сигнала или когда вертикальным усилителем не пользуются. Минимальное напряжение синхронизации на входе «Внешн.», достаточное для стабильной работы генератора, составляет 0,1 в при синусоидальной форме его.

В положении «Внутр.» генератор развертки синхронизируется сигналом, проходящим через вертикальный усилитель. Переключение синхронизации на «Сеть» позволяет синхронизировать развертку с частотой сети, питающей осциллограф.

### Лабораторное оборудование

Электронный осциллограф С1-1.  
Трансформатор  $Tp. 220/24$  в.  
Лабораторный автотрансформатор ЛАТР, 2 а.  
Вольтметр, 10 в.  
Двухполосный рубильник.  
Источник переменного напряжения, 220 в.  
Миллиамперметр, 300 ма.  
Реостат.  
Шунт.

### Экспериментальная часть

1. Изучить блок-схему электронного осциллографа С1-1 и занести ее в отчет (рис. 63).

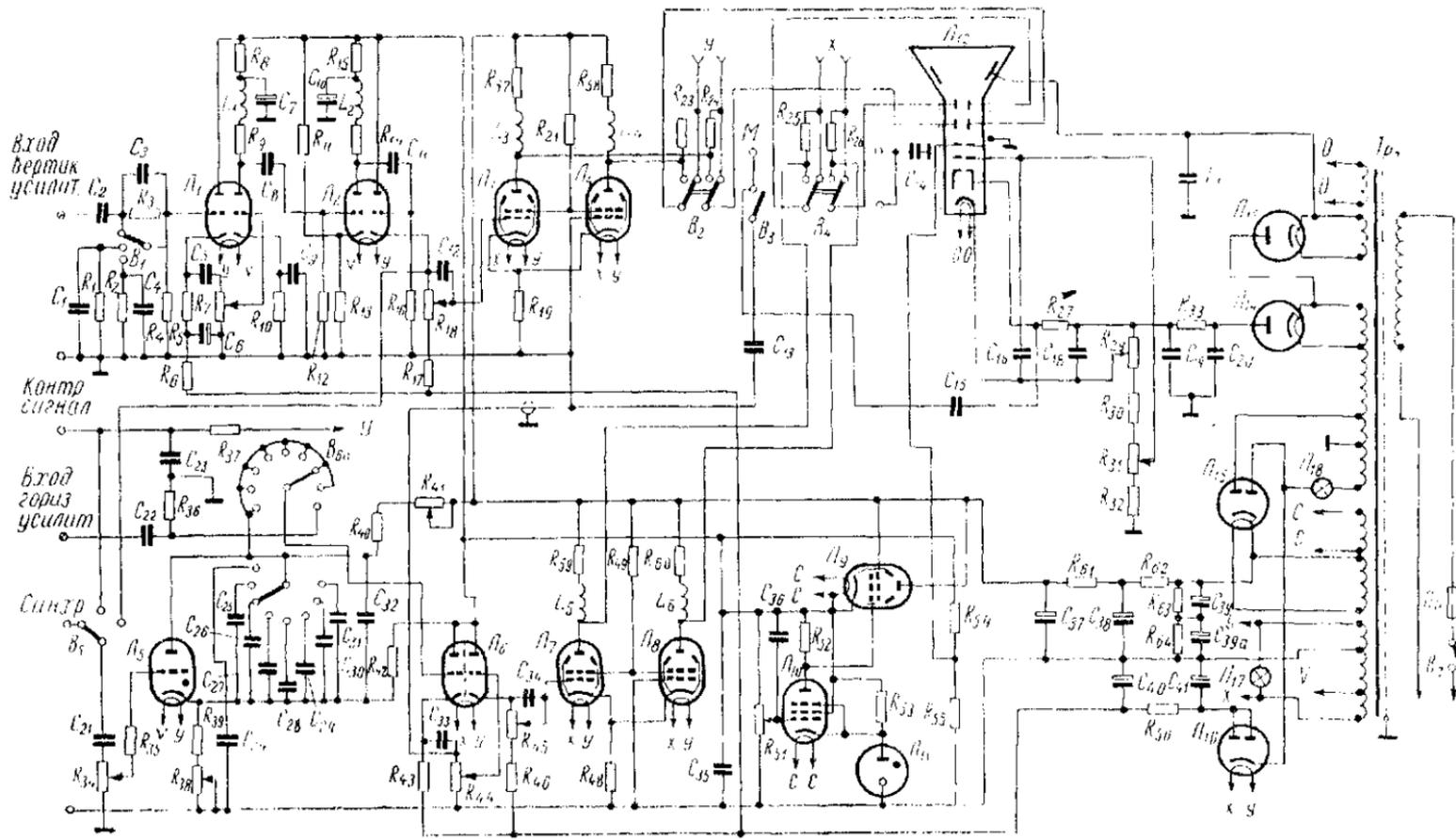


Рис. 64. Принципиальная схема осциллографа С1-1.

2. Используя осциллограф и его принципиальную схему (рис. 64):
  - а) изучить следующие элементы: электронно-лучевую трубку, вертикальный и горизонтальный усилители, генератор развертки, схему синхронизации, блок питания и стабилизатор напряжения, органы управления;
  - б) вычертить принципиальную схему одного из каскадов осциллографа (по указанию преподавателя);
  - в) включить осциллограф и посмотреть его работу.
3. Определить форму и величину неизвестного напряжения:
  - а) собрать схему (рис. 65);

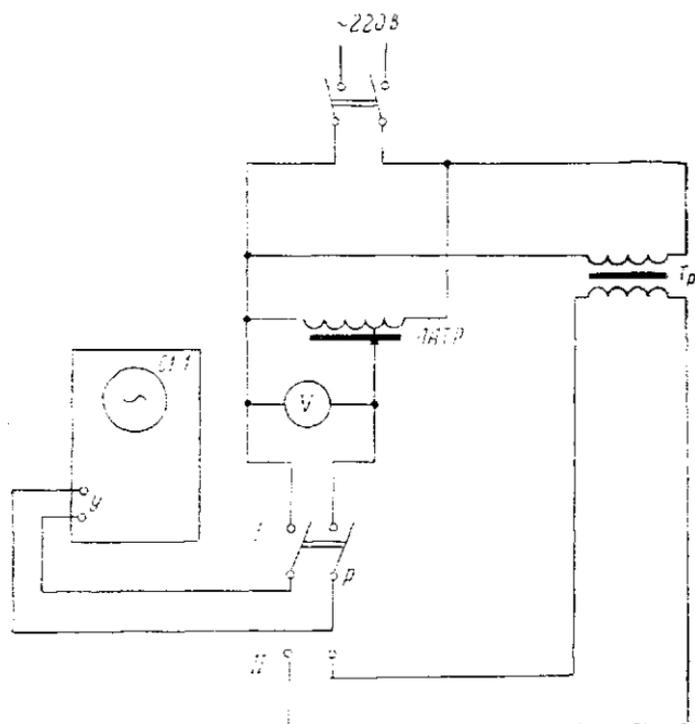


Рис. 65. Схема измерения величины неизвестного напряжения.

- б) установить ручки управления осциллографа в следующие положения: «Амплитуда синхронизации» — в нулевое положение; «Яркость», «Ось Y», «Ось X», «Частота плавно», «Усиление Y», «Усиление X» — в среднее положение; «Ослабление» — в положение 1:100; «Синхронизация», «От сети», «Диапазоны частот» — в положение «30»; «Фокус» — в левое положение;
- в) включить осциллограф ручкой «Сеть» и после минутного прогрева включить ручку «Луч»;
- г) установить ЛАТР на минимальное напряжение и включить сетевой рубильник;
- д) ручками «Фокус», «Яркость», «Ось Y», «Ось X», «Усиление X» добиться четкой горизонтальной линии в центре экрана;

- е) установить на ЛАТР напряжение 10 в и поставить переключатель «Р» в положение I;
- ж) повернуть «Усиление Y» вправо на 10—15° и, манипулируя ручками «Частота плавно», «Усиление Y» и «Усиление X», добиться появления на экране четко выраженной синусоиды;
- з) ручкой «Усиление Y» установить амплитуду синусоиды 1 см при напряжении 10 в;

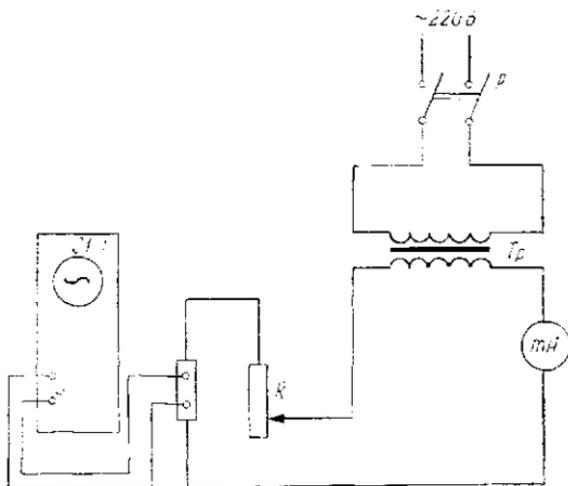


Рис. 66. Схема измерения величины неизвестного тока.

- и) не нарушая регулировки осциллографа, перекинуть рубильник в положение II и измерить амплитуду синусоиды на экране, т. е. величину неизвестного напряжения.
- 4. Определить форму и величину неизвестного тока:
  - а) собрать схему (рис. 66);
  - б) включить сетевой рубильник, установить ток 0,1 а и измерить амплитуду синусоиды на экране С1-1;
  - в) увеличить реостатом ток до 0,2 а и снова измерить амплитуду синусоиды.

### Содержание отчета

1. Блок-схема осциллографа С1-1.
2. Принципиальная схема одного из каскадов осциллографа.
3. Технические данные осциллографа.
4. Перечень ламп, используемых в осциллографе и их назначение.
5. Краткое описание работы осциллографа.
6. Назначение всех органов управления на лицевой панели С1-1.
7. Электрические схемы измерения тока и напряжения.
8. Перечень используемых приборов.
9. Вывод по работе.

## РАБОТА 16

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ЛАМПОВЫХ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Цель работы

1. Изучить принципиальную схему лампового приемника ТПС-54-С.
2. Изучить параметры радиоприемников.
3. Осладеть методом измерения чувствительности и избирательности радиоприемника.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** Радиоприемным устройством называется совокупность элементов, предназначенных для приема электромагнитных волн радиотехнического диапазона и преобразования их в колебания звуковые, телевизионные и др.

Радиоприемное устройство содержит три основных элемента: антенну, радиоприемник и воспроизводящее устройство.

Воспроизводящим устройством в зависимости от назначения могут быть телефон, громкоговоритель, телеграфный аппарат, электронно-лучевая трубка, фототелеграфный аппарат и др. Радиоприемники делятся на широкополосные, предназначенные для приема программы радиовещания или телевидения, и профессиональные, предназначенные для работы на линиях радиосвязи, в устройствах высокочастотной связи, радиолокационных станциях, установках телемеханики и т. п.

По способу модуляции различают радиоприемники с амплитудной, частотной, фазовой и импульсной модуляцией.

**Основные параметры радиоприемников.** *Номинальная выходная мощность* — это максимальная мощность низкой частоты, которая может быть получена на выходе приемника при заданной величине нелинейных искажений и частоте модуляции 400 гц. Нормальная мощность равна  $0,1 P_{ном}$ .

*Чувствительность приемника* (с антенного входа) называется величина напряжения, которая при 30% модуляции на частоте 400 гц (для приемников с амплитудной модуляцией) или при отклонении частоты в  $\pm 15$  кгц на частоте модуляции 1000 гц (для приемников с частотной модуляцией) создает на выходе приемника нормальное напряжение (мощность) при превышении сигнала над помехой на 20 дб.

*Избирательность приемника* характеризует его способность выделять сигналы принимаемой станции (ослаблять сигналы мешающих радиостанций).

*Полоса пропускаемых частот* — это совокупность низких частот, передаваемых с определенными нормами на частотные искажения.

**Блок-схемы радиоприемников.** Существует три принципа построения схем радиоприемников.

1. Без усиления принятых колебаний — детекторные приемники.

2. С усилением колебаний без изменения частоты — приемники прямого усиления.

3. С усилением колебаний при помощи вспомогательной высокой частоты — супергетеродины.

Приемник прямого усиления состоит из следующих основных элементов: а) входного устройства, т. е. колебательного контура, настраиваемого на частоту принимаемого сигнала; б) усилителя высокой частоты, содержащего колебательные контуры, настроенные на частоту принимаемого сигнала; в) детектора, преобразующего модулированное высокочастотное напряжение в напряжение звуковой частоты; г) усилителя низкой частоты, позволяющего использовать громкоговорители в качестве воспроизводящего устройства.

Наиболее совершенными являются *супергетеродинные приемники*. По сравнению с приемниками прямого усиления они имеют более высокую чувствительность и избирательность. Недостатком приемника прямого усиления является изменение вида его частотной характеристики и коэффициента усиления при перестройке колебательных контуров входного устройства и УВЧ с одной частоты на другую. Если  $f_0$  — частота принимаемых колебаний, то полоса пропускания контура с добротностью  $Q$  равна

$$2\Delta f = \frac{f_0}{Q}, \text{ где } Q = \text{const.}$$

Выходит, полоса пропускания зависит от диапазона принимаемых волн (частот). Чем выше резонансная частота контура, тем шире его резонансная кривая. Поэтому на средних, промежуточных и коротких волнах контуры пропускают более широкую полосу частот, чем необходимо для приема сигнала, т. е. наряду с сигналами нужного передатчика через них проходят посторонние колебания — помехи. Чтобы повысить остроту резонанса колебательных контуров, необходимо понизить частоту радиосигналов при сохранении закона их модуляции. Для этого в схеме супергетеродина добавляется преобразователь сигнала высокой частоты в промежуточную и каскады усилителя промежуточной частоты (УПЧ). Они включены между УВЧ и детектором.

Современные ламповые приемники в основном строятся по супергетеродинной схеме. Принцип супергетеродинного приема заключается в том, что колебания высокой частоты принятого сигнала преобразуются в колебания промежуточной частоты, значение которой для данного приемника выбирается определенным, независимо от частоты сигнала. Промежуточная частота все же является высокой частотой, но в большинстве случаев она ниже частоты принимаемых сигналов. Особенность супергетеродинов проявляется в постоянстве промежуточной частоты во всем диапазоне принимаемых частот. Благодаря постоянству УПЧ ее усилитель и вся последующая схема приемника работают в фиксированных условиях, которые могут быть выбраны наилучшим образом. Супергетеродинные приемники отличаются высокой избирательностью приема, высокой и постоянной чувствительностью, повышенной устойчивостью. Частоты сигнала преобразуются в промежуточную частоту методом биений, суть которого заключается в следующем: два колебания с различными частотами складываются и появляется новое более сложное колебание. Для получения биений генерируются вспомогательные колебания, которые складываются с принимаемыми. Промежуточная частота в супергетеродинных приемниках выбирается обычно в пределах 110—130, 450—470 или 550—570 кГц (иногда 1100 или 1600 кГц).

**Блок-схема супергетеродинного приемника.** Схема (рис. 67) включает входное устройство, усилитель высокой частоты, преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, детектор, усилитель низкой частоты и блок питания.

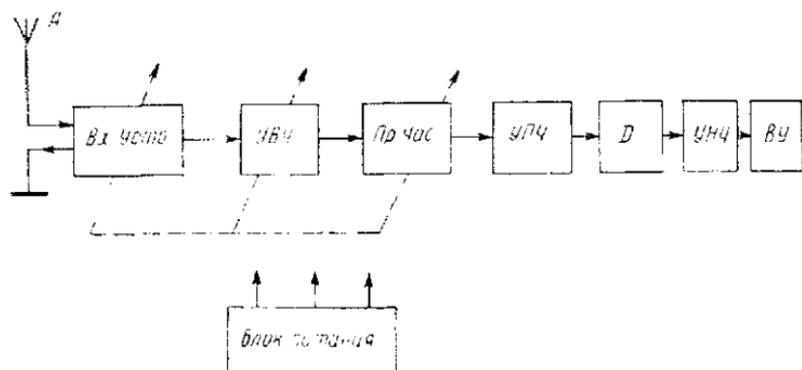


Рис. 67. Блок-схема супергетеродинного радиоприемника.

сты (УПЧ), детектор, усилитель низкой частоты и блок питания.

Модулированные колебания высокой частоты с антенны через входной контур поступают в усилитель высокой частоты, который обеспечивает предварительную избирательность (поэтому УВЧ часто называют предварительным селектором или

преселектором). От УВЧ колебания подводятся к преобразователю частоты, состоящему из смесителя (первого детектора) и гетеродина. Гетеродин — это маломощный генератор, создающий колебания вспомогательной частоты. Эти колебания подаются на смеситель и складываются в нем с колебаниями сигнала (смешиваются). Колебания разностной частоты выделяются в контуре смесителя, усиливаются в УПЧ и поступают на детектор, в котором они преобразуются в колебания звуковой частоты. Далее колебания звуковой частоты усиливаются в УПЧ и поступают в громкоговоритель. Входной контур, контур УВЧ и контур гетеродина настраиваются блоком конденсаторов переменной емкости. Рассмотрим элементы блок-схемы приемника.

1. *Входное устройство* состоит из резонансного контура, настраиваемого на частоту принимаемого сигнала, и элемента связи антенны с этим контуром. Входное устройство повышает избирательность и ослабляет помехи, характерные для супергетеродинного приема. Связь антенны с колебательным контуром может быть непосредственной, емкостной, индуктивной и комбинированной (рис. 68). Все виды связи имеют положительные и отрицательные стороны и могут использоваться отдельно или в сочетании между собой. В некоторых простых приемниках вместо колебательного контура включается резистор сопротивлением 0,1—0,47 Мом. Антенна подключается к резистору через конденсатор емкостью 100—470 пф. Входные

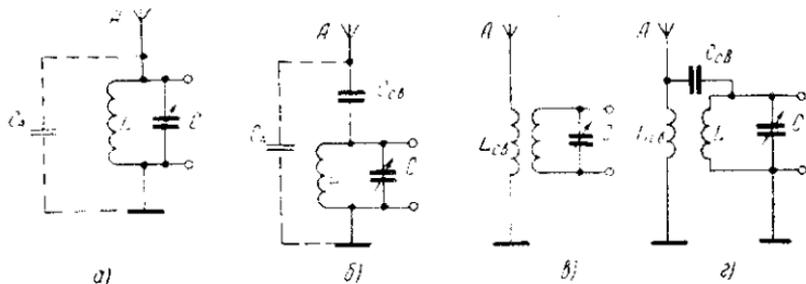


Рис. 68. Виды связи антенны с входным контуром:  
 а) непосредственная; б) емкостная; в) индуктивная; г) комбинированная.

контуров выделяют напряжение колебаний принимаемого радиопередатчика и подают его на управляющую сетку первой лампы приемника. Применяются две схемы входных цепей: с одиночным настраиваемым контуром и с двумя контурами, образующими полосовой фильтр обычно с внутренней емкостной связью.

Во входных цепях супергетеродинных приемников применяются фильтры, ослабляющие помехи, частоты которых равны или близки промежуточной частоте приемника. Фильтр представляет резонансный контур, настроенный на промежуточную частоту (фильтр-пробка). В некоторых приемниках фильтр-пробка включается в катодную цепь первой лампы.

2. Усилители высокой частоты усиливают колебания только одной определенной высокой частоты или некоторой сравнительно узкой полосы высоких частот. Это достигается применением настроенных в резонанс колебательных контуров. Поэтому УВЧ называют еще резонансными.

3. Преобразователем частоты называется каскад, в котором совмещены функции гетеродина и смесителя. Смесителем же называется каскад, в котором производится только смешение напряжений частоты гетеродина и сигнала. В этом случае имеется совершенно независимый генератор ВЧ на отдельной лампе (гетеродин). При отдельном гетеродине работа приемника характеризуется более высокими показателями стабильности частоты гетеродина и меньшим влиянием настройки контура УВЧ на частоту гетеродина. В современных радиоприемниках преобразовательные каскады выполняются на комби-

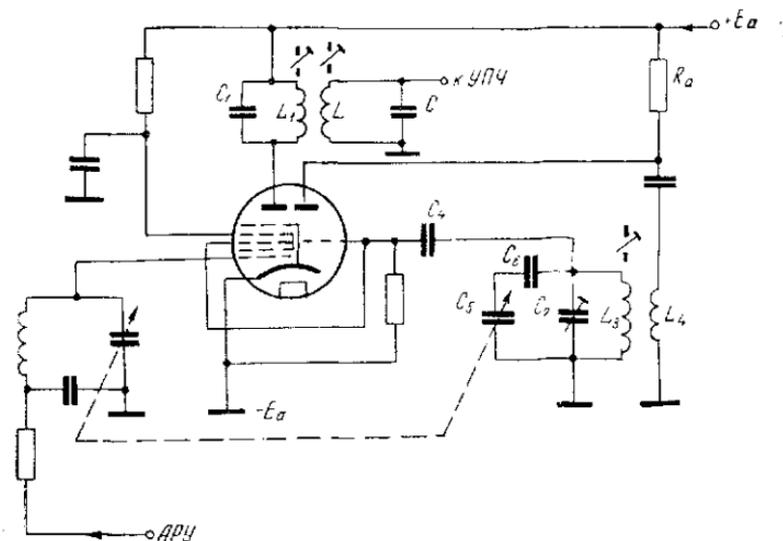


Рис. 69. Схема преобразователя частоты на комбинированной лампе.

нированной лампе 6ИП (рис.69). Лампа состоит из двух ламп, объединенных в одном баллоне. Левая — геттодная часть — является смесителем, правая — триодная часть — гетеродином. Принимаемый сигнал поступает на первую сетку геттода, а сигнал от гетеродина напряжением 5—15 в поступает на тре-

тью сетку гептода. В результате на электронный поток лампы воздействуют колебания с частотой сигнала и гетеродина. Анодный ток лампы будет содержать составляющую промежуточной частоты, которая выделяется колебательным контуром  $L_1C_1$  и далее усиливается УПЧ. Колебательный контур гетеродина состоит из индуктивности  $L_3$  и емкостей  $C_5, C_6, C_7$ . Индуктивность  $L_4$  служит катушкой обратной связи гетеродина. Частота колебаний гетеродина должна отличаться от частоты сигнала на величину промежуточной частоты.

Таким образом, в любой точке диапазона частота настройки контура гетеродина отличается от частоты настройки входной цепи и контуров УВЧ на величину промежуточной частоты. Настройка приемника производится блоком конденсаторов переменной емкости. Эти конденсаторы, входящие в контуры высокой частоты и гетеродина, должны иметь одинаковые начальную и конечную емкости и одинаковый закон изменения емкости во всех секциях. Конденсатор  $C_6$ , включенный последовательно с конденсатором переменной емкости  $C_5$ , уменьшает максимальную емкость контура, а конденсатор  $C_7$  увеличивает начальную емкость  $C_5$ . Подбором емкостей  $C_6$  и  $C_7$  и индуктивности контура  $L_3$  добиваются сопряжения в трех точках диапазона — в начале, середине и конце. Это обеспечивает достаточно точное сопряжение и в остальных точках диапазона. Плохое сопряжение снижает усиление приемника и приводит к неравномерной чувствительности по диапазону. В современных радиовещательных приемниках в качестве нагрузки смесительного каскада часто используются многосвязные фильтры сосредоточенной избирательности. Применение таких фильтров увеличивает избирательность по промежуточной частоте и приводит к ослаблению приема по соседнему каналу.

4. *Усилитель промежуточной частоты (УПЧ)* определяет избирательность и чувствительность супергетеродинного приемника и поэтому требует тщательной настройки. В широкополосных приемниках промежуточная частота берется равной 465 кГц. Необходимо отметить, что эта промежуточная частота находится в диапазоне 420–520 кГц, где нет радиовещательных станций. Для получения хорошей избирательности на промежуточной частоте 465 кГц контуры УПЧ должны иметь высокую добротность. Подстройка индуктивности в таких контурах осуществляется сердечниками из магнитодиэлектриков. Чтобы смена ламп усилителя не приводила к заметной расстройке контуров, в них применяются слюдяные или керамические конденсаторы постоянной емкости (не меньше 120 пф).

Для получения хорошей частотной характеристики при сохранении высокой избирательности часто используют не однопольные контуры, а полосовые фильтры. В УПЧ обычно применяются высокочастотные пентоды с удлиненной анодно-сеточ-

ной характеристикой, в которых усиление регулируется изменением смещения на управляющей сетке. Такая регулировка осуществляется автоматически в зависимости от напряжения принимаемого сигнала (АРУ).

В современных радиоприемниках регулируется полоса пропускания. Регулировка повышает избирательность и чувствительность за счет сужения полосы пропускания.

Регулировка полосы пропускания чаще осуществляется изменением связи между колебательными контурами в двухконтурных или многоконтурных полосовых фильтрах промежуточной частоты (изменением расстояния между катушками или угла между осями катушек; подключением к одной из катушек дополнительных витков, связанных с другой катушкой).

5. *Детектор и автоматическая регулировка усиления (АРУ).* На выходе УПЧ получаем высокочастотные модулированные колебания. Для выделения модулирующего напряжения низкой частоты (полезной информации) служит детектор. Наиболее широко используется детектор, который обеспечивает наименьшие искажения и позволяет просто осуществить автоматическую регулировку усиления (рис. 70).

Модулированные колебания с вторичного контура фильтра промежуточной частоты (ФПЧ) выпрямляются на диоде. Колебания низкой частоты выделяются на резисторе нагрузки

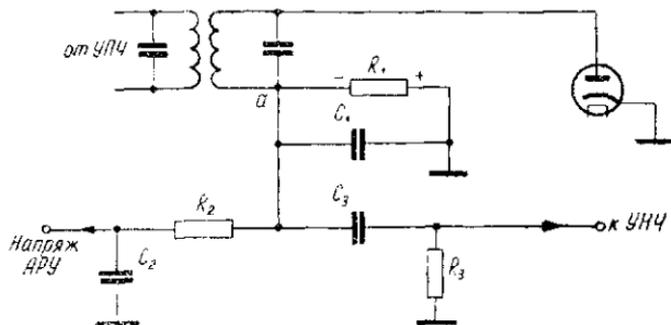


Рис. 70. Схема диодного детектора и АРУ.

детектора  $R_1$ , шунтированном (для составляющей промежуточной частоты) конденсатором  $C_1$ .

Напряжение низкой частоты, снимаемое с резистора  $R_1$ , подается через переходный конденсатор  $C_2$  на сетку лампы первого каскада УНЧ. Детектор осуществляет АРУ, для того чтобы получить на выходе приемника более или менее постоянную громкость, независимо от величины принимаемого сигнала. АРУ осуществляется изменением смещения на сетках ламп УВЧ и УПЧ, а иногда и преобразователя. Пульсации напря-

жения низкой частоты на нагрузке детектора (точка *a* на схеме) сглаживаются фильтром с большой постоянной времени  $C_2R_2$ . При этом образуется отрицательное напряжение смещения. С увеличением напряжения сигнала усиливается и отрицательное смещение на сетках регулируемых ламп. Это уменьшает их усиление и, следовательно, уменьшает выпрямленное напряжение на нагрузке детектора. Таким образом АРУ стремится поддержать напряжение на резисторе  $R_1$ , и тем самым на выходе приемника, постоянным. В приемниках высокого класса напряжение на выходе изменяется в два-четыре раза, на входе же — в 1000 раз. Недостаток рассмотренной схемы в том, что даже при слабых сигналах АРУ стремится уменьшать или увеличивать усиление. Для устранения этого применяется так называемая задержанная АРУ, которая действует только тогда, когда напряжение сигнала достигает определенного уровня — напряжения задержки.

В диодных детекторах используются двойные диоды 6Х2П, 6Х6С и диодные части ламп 6Г2, 6Г3П, 6Г7, 6Б8С либо полупроводниковые точечные диоды Д2А, Д2Е и др. Схема детектора на полупроводниковом диоде представлена на рис. 71.

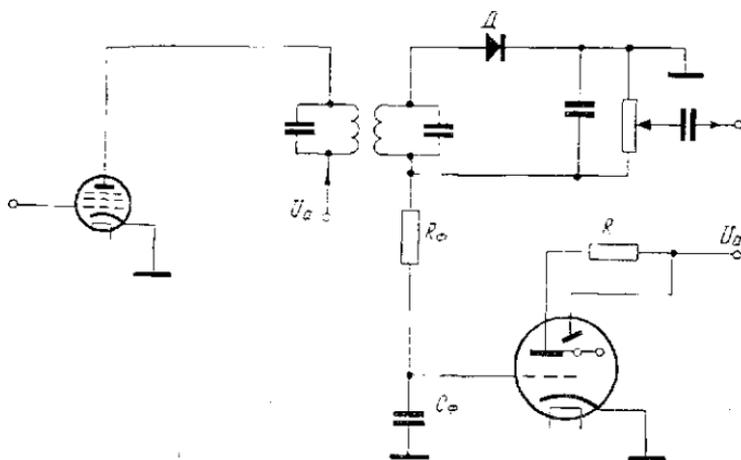


Рис. 71. Схема полупроводникового детектора и индикатора настройки.

Частотно-модулированные колебания преобразуются в амплитудно-модулированные с тем же законом модуляции, и далее — в звуковые. Первая задача — преобразование ЧМ колебаний в АМ колебания — решается с помощью линейных цепей (комбинаций колебательных контуров), вторая — с помощью диодов. В качестве схемы ЧМ детектора используется схема дробного детектора. Дробный детектор удовлетворительно работает при малом сигнале, эффективно подавляет паразитную

амплитудную модуляцию и позволяет снимать напряжение для АРУ. Существует два основных варианта дробного детектора: симметричный и несимметричный. Дробный детектор выполняет функции ограничителя, конвертора модуляции и амплитудного детектора. В схеме применены два последовательно включенных диода, которые проводят ток в течение одного полупериода (рис. 72). Резисторы нагрузки  $R_1$  и  $R_2$  шунтированы

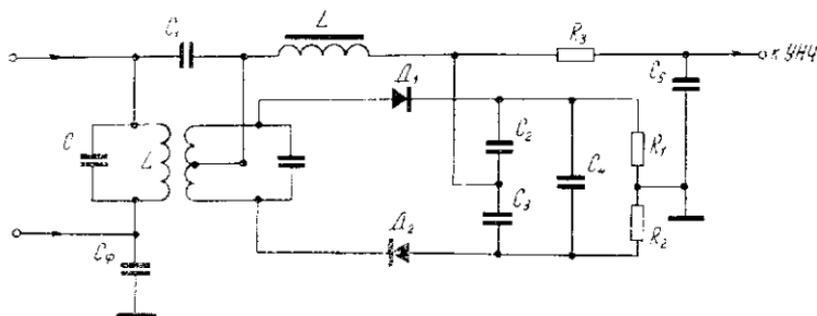


Рис. 72. Схема частотного детектора.

конденсатором  $C_4$  большой емкости. Конденсаторы небольшой емкости  $C_2$  и  $C_3$ , сопротивление которых для звуковой частоты велико, имеют средний вывод; с этого вывода и со среднего вывода резисторов  $R_1$  и  $R_2$  снимается выходное напряжение звуковой частоты через высокочастотный фильтр  $R_3C_5$ .

Пусть принимаемый сигнал имеет паразитную амплитудную модуляцию. Выпрямленное диодами напряжение, выделяемое на резисторах  $R_1$  и  $R_2$ , должно было бы пульсировать с частотой паразитной модуляции. Однако этого не происходит, так как конденсатор  $C_4$  не успевает изменять напряжение со звуковой частотой из-за большой величины емкости, т. е. не успевает заряжаться. Это и есть так называемое *амплитудное ограничение*, т. е. постоянство амплитуды напряжения. При наличии ЧМ сигнала изменяются амплитуды напряжения на диодах: на одном возрастает, на другом падает, и наоборот. Соответственно выпрямленные напряжения на конденсаторах  $C_2$  и  $C_3$  тоже изменяются со звуковой частотой, но их сумма остается постоянной и равной напряжению на конденсаторе  $C_4$ . Происходит перераспределение напряжения между конденсаторами  $C_2$  и  $C_3$ , т. е. величина отношения напряжений  $U_{C_2}$  к  $U_{C_3}$  изменяется в такт с частотной модуляцией. Переменное напряжение между средней точкой конденсаторов и корпусом снимается на вход УНЧ.

6. *Индикатор настройки.* В приемниках высшего, первого и второго классов, имеющих эффективные АРУ, применяются электронные индикаторы точной и бесшумной настройки типа

6Е5С, 6Е1П. Управляющая сетка индикатора подключена через фильтр  $R_{\Phi} C_{\Phi}$  к нагрузке детектора. Этот фильтр сглаживает низкочастотное напряжение. При точной настройке на принимаемую станцию отрицательное напряжение на сетке невелико (или равно нулю) и теневого сектора на экране индикатора имеет максимальный угол раствора.

При точной настройке напряжение на сетке максимальное и тевовой сектор на экране индикатора превращается в тонкую линию (см. рис. 71).

**Приемник ТПС-54С** (рис. 73) представляет десятиламповый супергетеродин. Он имеет один каскад усиления высокой частоты и два каскада усиления промежуточной частоты на лампах 6К3. В качестве смесителя используется лампа 6А7 ( $L_2$ ). Приемник имеет отдельный гетеродин на лампе 6А7 ( $L_7$ ). В качестве усилителя звуковой частоты, выпрямителя смещения индикатора настройки и детектора использована лампа 6Б8С ( $L_5$ ). Другая лампа 6Б8С ( $L_8$ ) используется как усилитель АРУ. В оконечном каскаде применена лампа 6П6С ( $L_6$ ). В качестве выпрямителя блока питания используется лампа 6Ц5С ( $L_{10}$ ).

В антенне индуцируется э. д. с. высокой частоты, которая через обмотки антенных катушек  $L_1, L_8, L_6, L_{10}, L_{12}, L_{14}$  подается на соответствующие катушки колебательного контура  $L_5, L_7, L_9, L_{11}, L_{13}, L_{15}$  входного устройства. При настройке колебательного контура в резонанс (при помощи первой секции строенного конденсатора  $C_{14}$ ) он выделяет колебания требуемой частоты, которые, проходя через разделительный конденсатор  $C_{13}$ , поступают на сетку лампы  $L_1$  УВЧ. Усиленные колебания поступают в соответствующий контур цепи сеток смесителя  $L_2$  через специальные катушки связи. Контур на требуемую частоту настраивается второй секцией строенного конденсатора  $C_{46}$ . С сеточного контура через конденсатор  $C_{47}$  колебания поступают на управляющую сетку смесителя. Лампа  $L_2$  имеет связь с гетеродином через емкость  $C_{48}$ , благодаря чему током лампы смесителя одновременно управляют колебания принимаемого сигнала и колебания гетеродина. В результате в анодной цепи смесителя на специально настроенном контуре, состоящем из индуктивности  $L_{36}$  и емкости  $C_{51}$ , выделяется промежуточная частота 465 кГц. Гетеродин собран по трехточечной схеме на лампе, соединенной триодом. Колебательные контуры гетеродина настраиваются на заданную частоту 3-й секцией строенного конденсатора  $C_{30}$ . Для достижения сопряжения в контурах гетеродина включены выравнивающие конденсаторы (седдинги)  $C_{17}, C_{20}, C_{22}, C_{25}, C_{28}$ . Емкости  $C_{31}, C_{12}, C_{45}$  включаются последовательно с емкостями  $C_{14}, C_{30}, C_{46}$  и уменьшают перекрытие поддиапазонов, что дает возможность получить полурастянутые коротковолновые под-

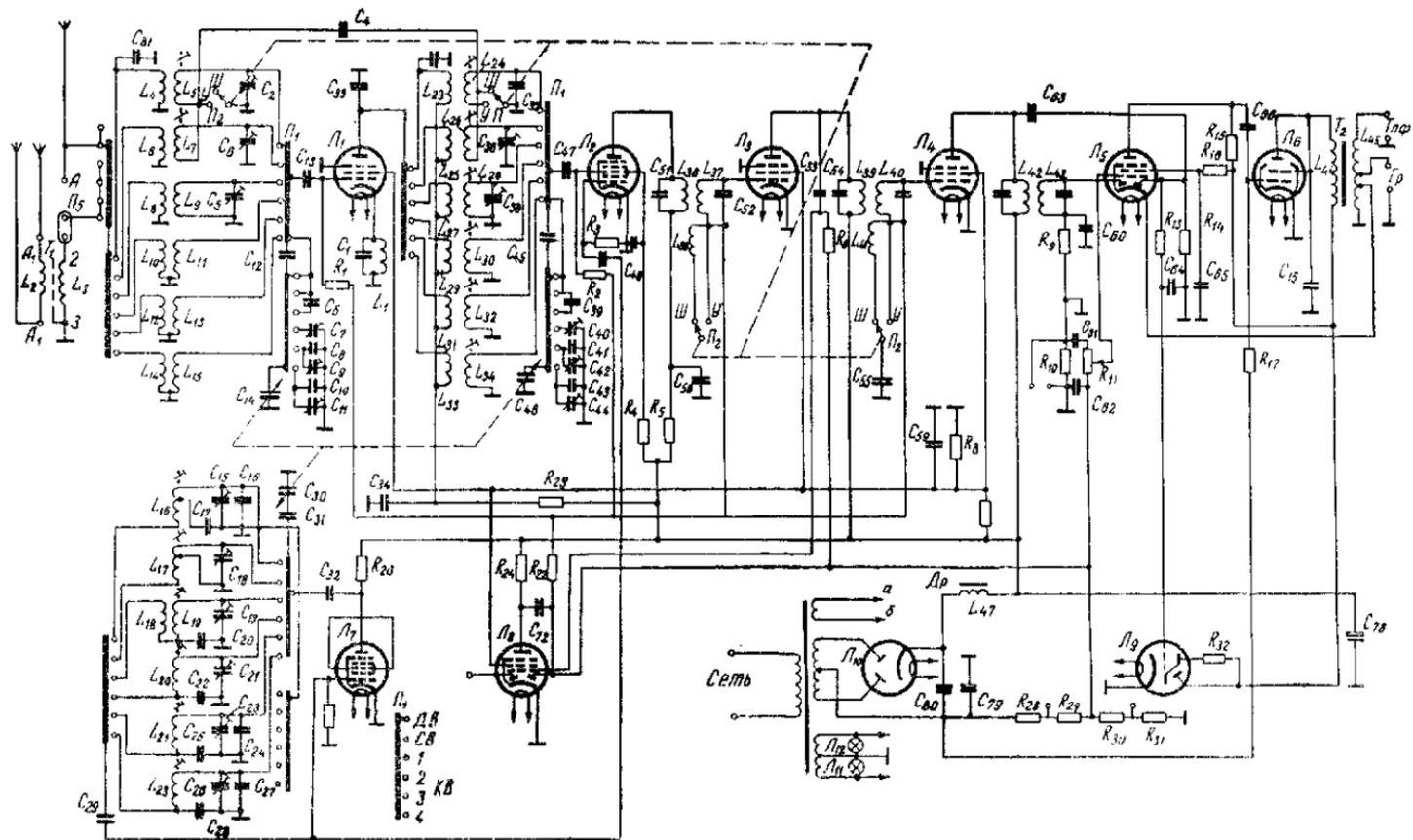


Рис. 73. Принципиальная схема приемника ТПС-54С.

диапазоны. Выравнивание начальных емкостей контуров гетеродина осуществляется подстроечными конденсаторами  $C_{15}$ ,  $C_{18}$ ,  $C_{19}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{23}$ ,  $C_{26}$ . В анодную цепь смесителя включен фильтр промежуточной частоты (ФПЧ). Второй контур фильтра подключается к сетке лампы  $L_3$  первого УПЧ. Второй каскад УПЧ работает на лампе  $L_4$ . В анодных цепях УПЧ стоят фильтры промежуточной частоты. Связь в ФПЧ индуктивная и имеет две степени связи. Узкой полосе соответствует меньшая связь, широкой полосе соответствует большая связь. Усиленный сигнал промежуточной частоты подводится со второго контура ФПЧ фильтра к детектору (левый диод лампы  $L_5$ ), а с первого контура фильтра к выпрямителю смещения (правый диод  $L_5$ ) оптического индикатора настройки. Напряжение звуковой частоты, получаемое на нагрузке детектора  $R_9$ ,  $R_{10}$  в результате детектирования, через конденсатор  $C_{61}$  поступает на ручной регулятор громкости  $R_{11}$ , с которого подается на управляющую сетку лампы  $L_5$ .

Усиленное напряжение звуковой частоты выделяется на анодной нагрузке  $R_{15}$  лампы  $L_5$  и через переходной конденсатор  $C_{66}$  подается на управляющую сетку лампы  $L_6$  выходного каскада. В цепь анода лампы  $L_6$  включена первичная обмотка выходного трансформатора, вторичная обмотка трансформатора подключается к гнездам «телефон» и «громкоговоритель». В схеме применена АРУ. Детектор и усилитель АРУ выполнены на лампе 6Б8С ( $L_8$ ). Колебания промежуточной частоты подаются для усиления с первого контура второго фильтра промежуточной частоты на управляющую сетку лампы  $L_8$ . Усиленные колебания промежуточной частоты выделяются на резисторе  $R_{24}$  и через конденсатор  $C_{72}$  идут на детектор, откуда выпрямленное напряжение подается на сетки ламп  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ . Напряжение задержки АРУ снимается с делителя, состоящего из резисторов  $R_{28}$ ,  $R_{29}$ ,  $R_{30}$ ,  $R_{31}$ . С этого же делителя снимаются напряжения смещения на управляющие сетки ламп  $L_1$ — $L_6$ . Для выравнивания частотной характеристики применена отрицательная обратная связь, напряжение которой снимается с части выходного трансформатора. Анодные и экранные цепи ламп приемника питаются от двухполупериодного выпрямителя, собранного на лампе 6П5С ( $L_{10}$ ). Для фильтрации выпрямленного напряжения служит фильтр, состоящий из конденсаторов  $C_{78}$ ,  $C_{79}$ ,  $C_{80}$  и дросселя  $L_{47}$ .

*Избирательность* характеризует уменьшение чувствительности приемника на какой-либо частоте по сравнению с чувствительностью на частоте принимаемого сигнала (резонансной частоте приемника). Поэтому схема измерения избирательности определяется частотой настройки генератора сигналов. Если он настроен в резонанс с приемником — это *измерение чувствительности*; если же он расстроен на  $\pm 10$  кГц относительно

резонансной частоты приемника — это измерение избирательности по соседнему каналу, а если он настроен на частоту, выше резонансной частоты приемника на удвоенную промежуточную, — это измерение избирательности по симметричному каналу. Если генератор настроен на промежуточную частоту приемника, — это измерение избирательности на промежуточной частоте.

Отношение чувствительности приемника при расстройке к его чувствительности на резонансной частоте, выраженное в децибелах, покажет ослабление приема по соседнему каналу.

### Лабораторное оборудование

Генератор стандартных сигналов ГСС-6.

Радиоприемник ТПС-54С.

Электронный вольтметр МВЛ-2М.

Электронный осциллограф С1-1.

Конденсатор емкостью 250 пф.

Резистор сопротивлением 250 ом.

### Экспериментальная часть

1. Изучить принципиальную схему лампового супергетеродинного приемника ТПС-54С (рис. 73):

- вычертить блок-схему супергетеродинного радиоприемника ТПС-54С;
- используя действующий приемник и его принципиальную схему, изучить следующие элементы: входное устройство и его связь с антенной; схему УВЧ, преобразователя частоты и УПЧ; схему детектора и АРУ; схему индикатора настройки; схему связи детекторного каскада с УНЧ; схемы усилителей напряжения и мощности низкой частоты; схему выхода приемника;

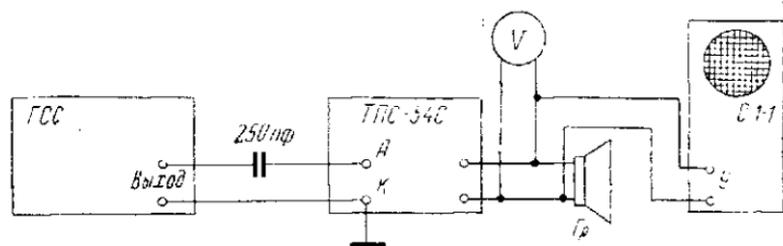


Рис. 74. Блок-схема измерения чувствительности и избирательности приемника.

- вычертить принципиальную схему преобразователя частоты приемника и указать назначение всех ее элементов;
- включить радиоприемник и прослушать его работу.

Примечание. При изучении элементов схемы приемника необходимо также изучить типы ламп, их назначение, цоколевку и режим работы.

2. Измерить чувствительность приемника;

- собрать схему (рис. 74), помня, что генератор сигналов подключают

к антенному гнезду на ДВ и СВ через конденсатор емкостью 250 пф, а на КВ — через резистор 250 ом;

- б) включить генератор стандартных сигналов (ГСС) и приемник и установить частоту модуляции генератора 400 гц при глубине модуляции 30%. Регуляторы тембра и полосы пропускания установить в положение, соответствующее наиболее узкой полосе пропускания;
- в) при включенной модуляции необходимо подобрать такую величину сигнала ГСС, которая дает на выходе приемника нормальное напряжение т. е. напряжение, соответствующее нормальной мощности  $P_{\text{норм}} = 0,1 \cdot P_{\text{ном}}$ .

**Примечание.** При включенной модуляции напряжение шумов должно быть в 10 раз меньше напряжения полезного сигнала. Это соотношение достигается подбором величины сигнала ГСС и положения регулятора громкости приемника. Для облегчения поиска требуемого положения регуляторов рекомендуется после настройки приемника и ГСС в резонанс выключить модуляцию и регулятором громкости установить выходное напряжение шумов, равное  $0,1 U_{\text{норм}}$ . Затем, включив модуляцию ГСС, надо подобрать величину сигнала ГСС, соответствующую  $U_{\text{норм}}$  на выходе. После этого надо снова выключить модуляцию и уточнить положение регулятора громкости.

Приемник необходимо настраивать на частоту сигнала по максимальному напряжению на выходе или по оптическому индикатору настройки. Так как чувствительность меняется по поддиапазонам и в пределах каждого поддиапазона, то ее надо измерять в трех точках, причем две крайние точки должны находиться на расстоянии 10—20% от начала и конца градуировки каждого поддиапазона (третья точка выбирается посередине).

Чувствительность приемника определяется перемножением числа микровольт, отсчитанных на шкале плавного аттенюатора, на коэффициент, указанный стрелкой переключателя выходного напряжения ГСС;

- г) результаты измерения занести в табл. 25;
  - д) по полученным результатам вычертить график зависимости чувствительности от несущей частоты в логарифмическом масштабе (рис. 75);
  - е) по полученным кривым отдельных поддиапазонов проанализировать характер чувствительности — минимальная, максимальная, провалы и т. д.
3. Оценить избирательность приемника.

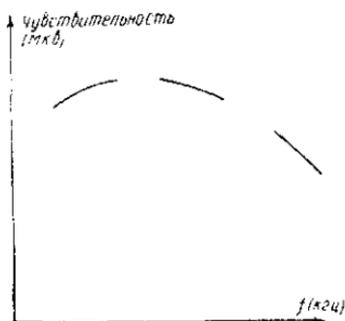


Рис. 75. Характеристика чувствительности приемника.

### Содержание отчета

1. Блок-схема приемника ТПС-54С.
2. Принципиальная схема одного из каскадов приемника ТПС-54С.
3. Блок-схема измерения чувствительности и избирательности приемника.
4. Необходимые графики, расчетные данные и таблицы.
5. Паспортные данные радиоизмерительных приборов.
6. Перечень ламп, назначение, доколеска их и режим работы.
7. Вывод по работе.

Таблица 25

Поддиапазон приемника	Частота настройки, кгц		$U_{вх. мкв}$	$U_{ввых. в}$
	макс.			
I - ДВ	макс.			
	средн.			
	мин.			
II - СВ	макс.			
	средн.			
	мин.			
III - КВ	макс.			
	средн.			
	мин.			

## РАБОТА 17

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ТРАНЗИСТОРНЫХ РАДИОПРИЕМНИКОВ

#### Цель работы

1. Изучить принципиальные схемы транзисторных радиоприемников прямого усиления и супергетеродинного.
2. Изучить параметры и характеристики радиоприемников.
3. Овладеть методом технического измерения основных качественных показателей радиоприемников — чувствительности и избирательности.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Блок-схема радиоприемника на транзисторах** аналогична схеме лампового радиоприемника и включает те же элементы.

В транзисторных радиоприемниках широко используются внутренние антенны направленного действия (магнитные). *Магнитная антенна*, так же как и рамочная, обладает направленными свойствами, что позволяет осуществлять пространственную избирательность приемника. Магнитная антенна представляет стержень диаметром 6—8 мм, длиной 100—150 мм из ферромагнитного материала с высокой магнитной проницаемостью  $\mu = 400-1000$ , чаще всего феррита (ф-600, ф-1000).

Катушка *входного устройства* (контура) наматывается непосредственно на стержень антенны. Введение катушки во входной колебательный контур позволяет проводить радиоприем без подключения внешней антенны. Антенна выполняется так, чтобы ее можно было поворачивать. Малогабаритный приемник поворачивают вместе с антенной. В транзисторных приемниках магнитная антенна связана с входным устройством или через катушку индуктивности (рис. 76, а) или через автотрансформатор (рис. 76, б). Катушка связи наматывается на бумажном кольце, которое может передвигаться по стержню антенны. Для приема дальних радиостанций предусматривается возможность подключения внешней антенны. Входной контур связывают с внешней антенной через емкость  $C_1$  или применяют комбинированную связь  $C_1 L_A$ . В портативных приемниках катушки поддиапазонов средних и длинных волн входного контура располагают непосредственно на ферритовом стержне, причем для ослабления влияния неработающей сск-

цин их обычно разносят друг от друга, помещая у концов стержня.

Усилитель высокой частоты может быть резонансным или аперриодическим. Аперриодический каскад УВЧ позволяет повысить чувствительность приемника. Нагрузкой в его коллекторной цепи могут быть резистор, дроссель или трансформатор.

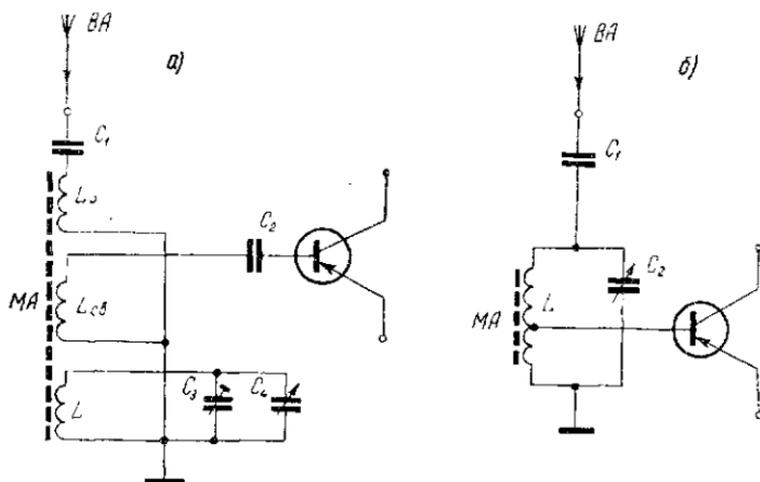


Рис. 76. Схемы связи входных устройств с антенной:  
а) индуктивная связь; б) автотрансформаторная связь.

тор. Обмотки дросселей и трансформаторов наматываются на ферритовое кольцо. Схема усилителя с трансформатором позволяет лучше согласовывать выход предыдущего каскада с входом последующего.

Аперриодические усилители часто используются в приемниках прямого усиления. На рис. 77 показана схема резонансного УВЧ с общим эмиттером и автотрансформаторной связью между каскадами. Автотрансформаторная и трансформаторная связи используются, чтобы уменьшить шунтирующее действие входного сопротивления транзистора на контур предыдущего каскада. Для уменьшения влияния выходного сопротивления транзистора на контур применяют полное включение контура в цепь коллектора. Напряжение с части контура первого каскада снимается через разделительный конденсатор  $C_p$  на базу транзистора второго каскада. Смещение на базу транзистора подается через делитель напряжения на резисторах  $R_1$  и  $R_2$ . Эмиттерная стабилизация рабочей точки транзистора осуществляется резистором  $R_3$ . Для устранения обратной связи по переменному току резистор  $R_3$  шунтирован конденсатором  $C_3$ .

Преобразование частоты можно осуществить на одном или

на двух транзисторах. Преобразователи на двух транзисторах просты в налаживании и работают устойчиво. Они применяются в сложных транзисторных приемниках, содержащих коротковолновый диапазон. Схема подобного преобразователя показана на рис. 78. Транзистор  $T_1$  является смесителем. На-

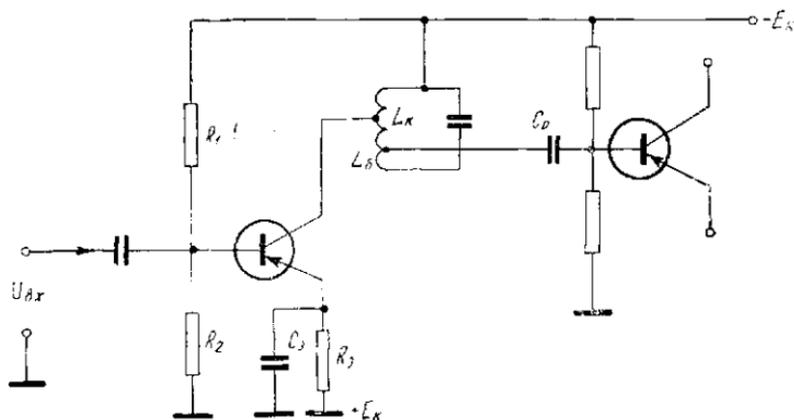


Рис. 77. Схема резонансного УВЧ.

грузкой в его коллекторной цепи служит резонансный контур, настроенный на промежуточную частоту. С этого контура сигнал через индуктивную связь подается на усилитель промежуточной частоты. Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  служат для выбора и стабилизации рабочего режима транзистора. На базу  $T_1$  через индуктивную связь  $L_2$  и разделительный конденсатор  $C_6$  поступает входной сигнал из контура  $C_1 L_1$ . Таким образом относительно входного сигнала транзистор  $T_1$  включен по схеме с общим эмиттером. Гетеродин собран на транзисторе  $T_2$ . Колебания частоты гетеродина из контура  $C_2 L_3$  через конденсатор  $C_7$  посредством автотрансформаторной связи поступают в цепь эмиттера смесительного транзистора  $T_1$ . Таким образом, относительно сигнала гетеродина транзистор  $T_1$  включен по схеме с общей базой. В схеме осуществлено неполное включение контура в цепь базы транзистора  $T_2$ . Автотрансформаторная обратная связь вводится в цепь эмиттера  $T_2$  через конденсатор  $C_9$ . Резисторы  $R_4$ ,  $R_5$  и  $R_6$  служат для выбора и стабилизации рабочего режима транзистора  $T_2$ . Резистор  $R_7$  и конденсатор  $C_{11}$  образуют развязывающий фильтр в цепи коллектора.

В простых транзисторных приемниках преобразователь частоты выполняют на одном транзисторе, который осуществляет функции гетеродина и смесителя. Типичная схема преобразователя на одном транзисторе приведена на рис. 79. Контур гетеродина здесь составлен из катушки  $L_3$  и конденсато-

ра  $C_2$ . Положительная обратная связь создается катушкой  $L_4$  в цепи коллектора. Контур промежуточной частоты  $L_5 C_8$ , включенный последовательно с катушкой обратной связи  $L_1$ , на работу гетеродина не влияет, так как для частоты гетероди-

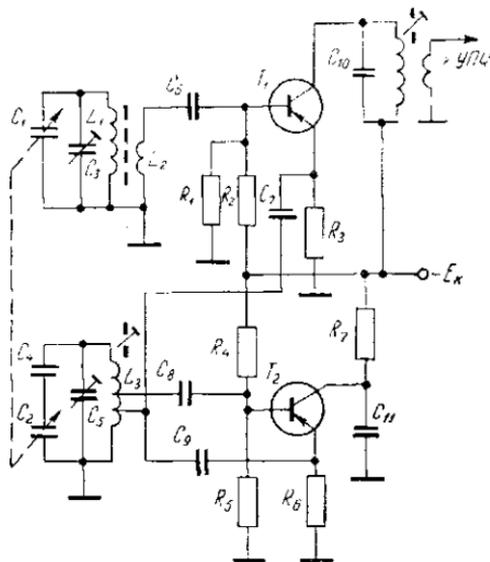


Рис. 78. Схема преобразователя частоты на двух транзисторах.

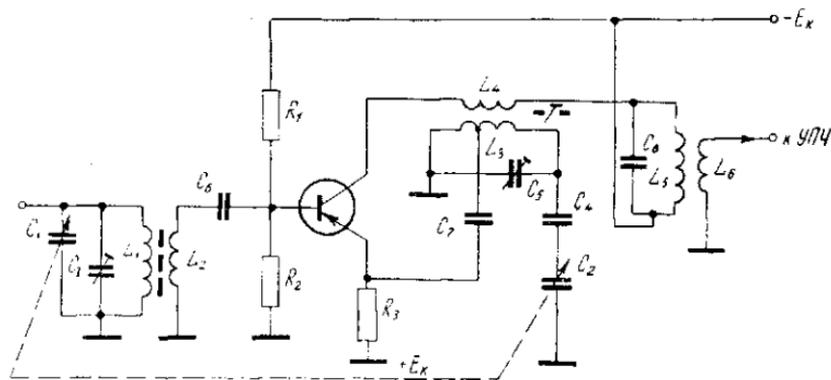


Рис. 79. Схема преобразователя частоты на одном транзисторе.

на его сопротивление ничтожно. Гетеродин работает по схеме с общей базой и индуктивной обратной связью, так как относительно его сигнала база соединена с корпусом через элементы  $C_3$  и  $L_2$ . Для сигнала станции транзистор включен по схеме

с общим эмиттером, т. е. его эмиттер соединен с корпусом через конденсатор  $C_7$  и часть витков контурной катушки  $L_3$ . Сигнал принимаемой станции из контура  $C_1 L_1$  поступает на базу транзистора через катушку индуктивности  $L_2$ . Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  служат для выбора и стабилизации рабочего режима транзистора, а конденсатор  $C_6$  предотвращает замыкание источника постоянного напряжения на корпус.

*Усилитель промежуточной частоты* может быть выполнен как с одиночными контурами, так и с полосовыми фильтрами. В радиоловительских транзисторных приемниках преимущественно используются усилители с одиночными контурами. Промежуточная частота в таких приемниках выбирается, как правило, 110 кГц. Число каскадов усиления промежуточной частоты определяется главным образом необходимой чувствительностью приемника.

**Детектированием** называется процесс преобразования модулированных колебаний входного сигнала в колебания звуковой частоты. В зависимости от вида модуляции различают детектирование амплитудное, частотное, фазовое и др. В супергетеродинных приемниках детектируются колебания промежуточной частоты, а в приемниках прямого усилителя — колебания высокой частоты.

Рассмотрим схемы амплитудных диодного, базового, коллекторного и эмиттерного детекторов.

Схема *диодного детектора* приведена на рис. 80, а. Модулированные колебания входного сигнала поступают на детектор (полупроводниковый диод), обладающий свойствами односторонней проводимости. После выпрямления в цепи с диодом протекает пульсирующий ток  $i_d$ , состоящий из постоянной составляющей, переменной составляющей промежуточной частоты и составляющей звуковой частоты (рис. 80, б). Переменная составляющая промежуточной частоты замыкается через фильтр  $C_2 R_1 C_3$  и на резистор  $R_2$  не попадает. Постоянная составляющая и составляющая звуковой частоты проходят через резистор  $R_2$ , образуя на нем падение напряжения. Конденсатор  $C_4$  пропускает к УНЧ составляющую звуковой частоты и не пропускает постоянную составляющую. Поэтому он должен иметь большую емкость. Конденсатор такой емкости для токов звуковой частоты представляет малое сопротивление. В качестве детекторов выгодно использовать транзисторы, которые, кроме детектирования, выполняют функции усиления сигнала звуковой частоты.

На рис. 81, а изображена схема базового детектора, который обладает большой чувствительностью. Резистор  $R_1$ , включенный в цепь базы, является нагрузкой диодного детектора, в качестве которого работает промежуток база — эмиттер. На резисторе  $R_1$  выделяются постоянная составляющая и напря-

жение звуковой частоты, которые оказываются приложенными к базе транзистора и усиливаются им. Составляющая промежуточной частоты замыкается через конденсатор  $C_1$  и падения напряжения на резисторе  $R_1$  не образует.

Усиленная составляющая звуковой частоты, создающая падение напряжения на  $R_1$ , проходит через конденсатор  $C_2$  к следующему каскаду УНЧ.

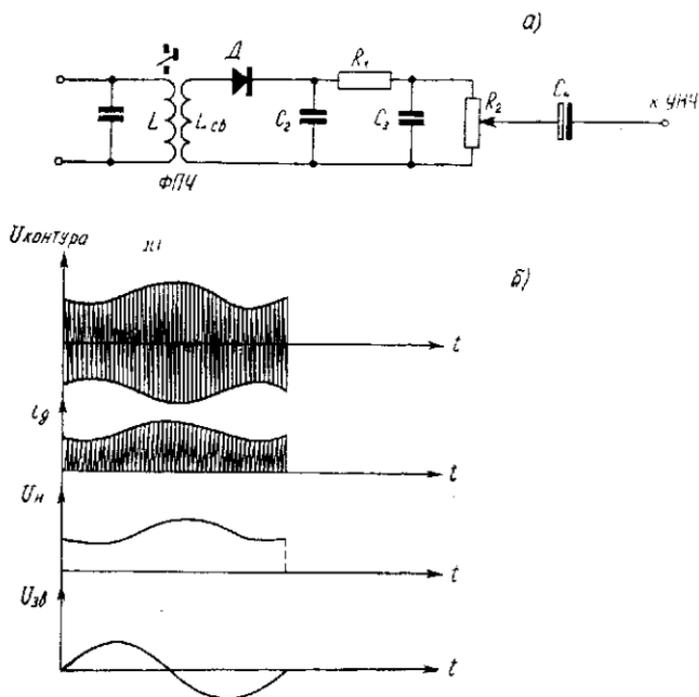


Рис. 80. Диодное детектирование:  
а) схема; б) графики токов и напряжений.

В транзисторных приемниках чаще используются схемы *коллекторных* детекторов (рис. 81, б). Число витков катушки связи  $L_{св}$  должно быть в 5–10 раз меньше числа витков контурной катушки  $L_k$ . Составляющая ПЧ в схеме замыкается через конденсатор  $C_1$ .

Схема *эмиттерного* детектора (рис. 81, в) находит применение в любительских супергетеродинных приемниках высокого качества.

Сигнал промежуточной частоты поступает в цепь база — эмиттер через конденсатор  $C_э$  и резистор  $R_э$ . Напряжение звуковой частоты снимается с резистора  $R_э$  и подается через конденсатор  $C_ф$  к УНЧ. Схема имеет большое входное сопротивление, что является ее достоинством.

**Автоматическая регулировка усиления** выравнивает слы-

шимость и устраняет перегрузки приемника при слишком сильных сигналах. В ряде радиоприемников АРУ осуществляется изменением коэффициента усиления первого каскада УПЧ. Эффективность работы АРУ определяется величиной сопротивления резистора фильтра. При уменьшении сопротивления

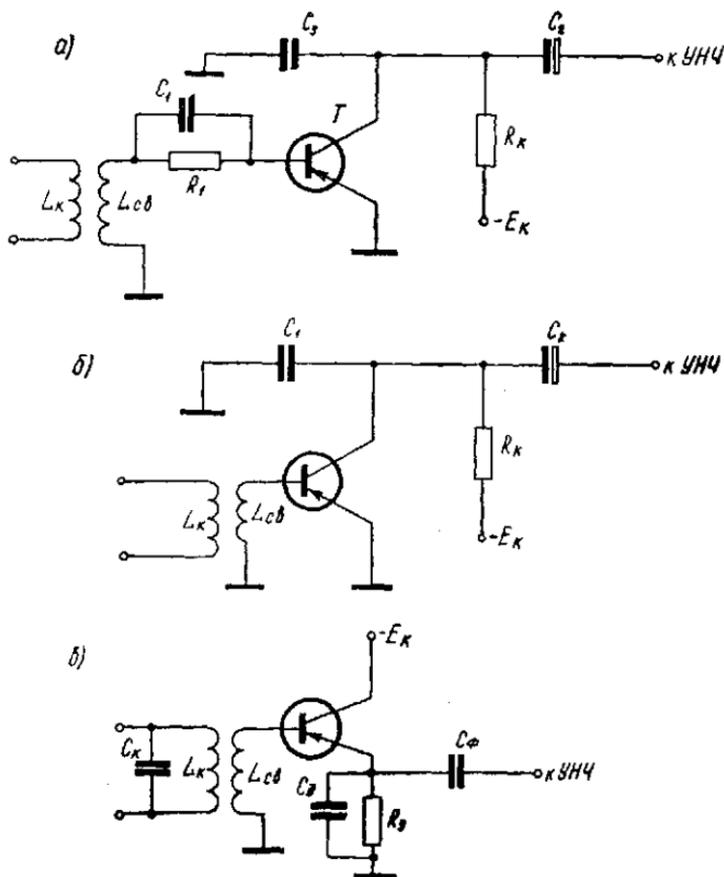


Рис. 81. Схемы детекторов на транзисторах:  
 а) базового; б) коллекторного; в) эмиттерного.

глубина регулировки АРУ возрастает. Постоянное напряжение АРУ подается через фильтр на базу транзистора УПЧ и влияет на его усиление, т. е. изменяет напряжение смещения базы транзистора. Чем сильнее входной сигнал, тем больше постоянное напряжение после детектора, тем больший положительный потенциал подается на базу транзистора и тем меньше усиление. Фильтр не допускает на базу транзистора напряжения звуковой частоты.

В транзисторных приемниках в качестве *индикатора настройки* используют микроамперметр на 100–500 мкА, включенный в эмиттерную цепь транзистора УПЧ (рис. 82). При настройке приемника на радиостанцию ток транзистора уменьшается и соответственно показания прибора будут минимальными.

Схемы усилителей низкой частоты рассмотрены подробно в предыдущих работах.

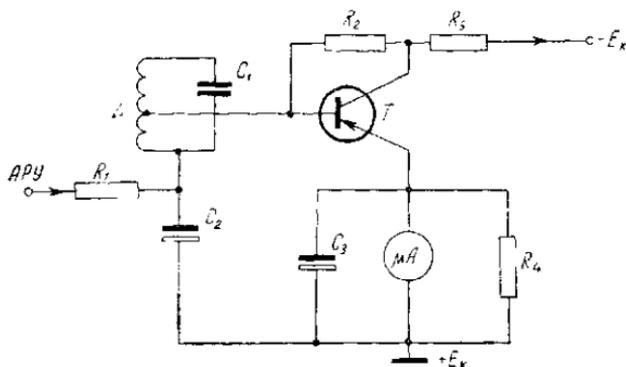


Рис. 82. Схема включения индикатора настройки транзисторного приемника.

**Радиоприемник прямого усиления.** Радиоприемник (рис. 83) имеет один длинноволновый диапазон (150–415 кГц). В схеме использовано каскодное включение транзисторов  $T_1$

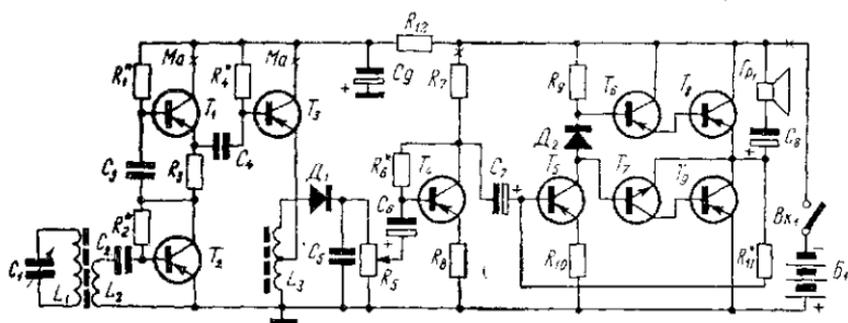


Рис. 83. Принципиальная схема приемника прямого усиления.

и  $T_2$  в усилителе высокой частоты. Такое включение позволяет резко увеличить коэффициент усиления УВЧ, значительно снизить собственные шумы приемника и повысить его чувствительность до 2 мВ/м. Согласование выходного сопротивления высокочастотного каскада с сопротивлением диодного детектора осуществляется при помощи эмиттерного повторителя

(транзистор  $T_3$ ). Усилитель низкой частоты выполнен по бестрансформаторной двухтактной схеме, которая включает два каскада усиления напряжения (транзисторы  $T_4$  и  $T_5$ ). Для повышения входного сопротивления и термостабилизации в эмиттеры транзисторов включены резисторы  $R_8$  и  $R_{10}$  обратной связи по току. Диод  $D_2$ , включенный в прямом направлении, служит для термостабилизации выходного каскада. Выходной каскад имеет четыре транзистора: три с проводимостью  $p-n-p$  и один с проводимостью  $n-p-n$ . Конденсатор  $C_8$  предохраняет выходные транзисторы от замыкания. Нагрузкой усилителя является низкоомный динамический громкоговоритель.

**Принципиальная схема супергетеродинного радиоприемника.** Приемник (рис. 84) выполнен на десяти транзисторах и предназначен для работы в средневолновом диапазоне частот (520—1600 кГц). Чувствительность приемника при приеме на магнитную антенну около 1 мВ/м.

Входной сигнал с катушки связи  $L_2$  подается на базу смесителя ( $T_1$ ), а сигнал гетеродина (транзистор  $T_2$ ) — в цепь эмиттера этого же транзистора. Нагрузкой смесителя служит фильтр сосредоточенной селекции, состоящей из контуров  $L_5C_6$ ,  $L_6C_7$ ,  $L_7C_8$ . Напряжение АРУ с коллектора транзистора  $T_6$ , выполняющего функции детектора и усилителя постоянного тока системы АРУ, подается в цепь базы транзистора  $T_3$  на делитель  $R_{10}R_{12}$ . Эмиттер транзистора  $T_3$  подключен к делителю  $R_{11}R_{14}$ . Система АРУ работает следующим образом: при увеличении напряжения входного сигнала отрицательное напряжение на коллекторе транзистора  $T_6$  уменьшается и соответственно уменьшаются напряжение на базе транзистора  $T_3$  и его коллекторный ток вплоть до заштрихания транзистора. После заштрихания  $T_3$  сигнал на вход следующего каскада проходит через емкость база — коллектор этого транзистора и паразитные емкости монтажа, затухая в 50—100 раз. Система АРУ обеспечивает изменение выходного сигнала не более 6 дБ при изменении входного сигнала на 60 дБ.

Транзистор  $T_4$  работает аперриодическим усилителем промежуточной частоты. Последний каскад УПЧ на транзисторе  $T_5$  нагружен на широкополосный контур  $L_8C_{26}$ . В детекторном каскаде применена схема эмиттерного повторителя, обеспечивающая малые нелинейные искажения, высокое входное и низкое выходное сопротивления. Как усилитель постоянного тока системы АРУ, транзистор  $T_6$  работает в схеме с общим эмиттером.

УНЧ имеет два предварительных каскада на транзисторах  $T_7$  и  $T_8$  и оконечный каскад, выполненный по бестрансформаторной схеме на транзисторах разной проводимости  $T_9$  и  $T_{10}$ . Параллельная отрицательная обратная связь по напряжению.

подаваемая с громкоговорителя через резистор  $R_{34}$  на базу  $T_8$ , уменьшает нелинейные искажения и выравнивает частотную характеристику УНЧ. В радиоприемнике использован стандартный блок конденсаторов переменной емкости на 12—495 пф и громкоговоритель типа 0,5 ГД-14. Катушки  $L_1, L_2$  магнитной антенны намотаны на стержне марки Ф-600.

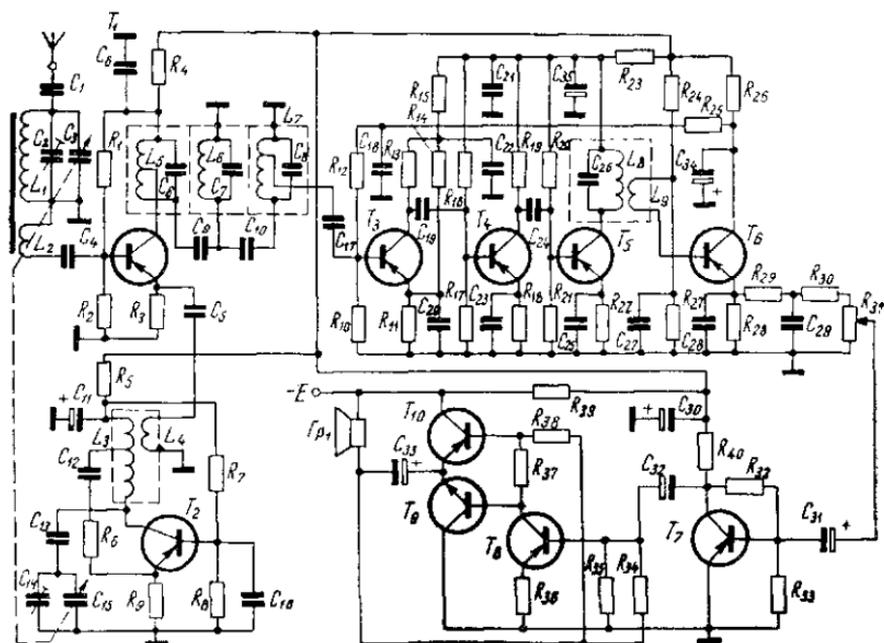


Рис. 84. Принципиальная схема супергетеродинного радиоприемника.

**Чувствительность радиоприемника.** Чувствительность характеризует способность приемника воспринимать энергию слабых радиосигналов, усиливать ее и воспроизводить передаваемые сообщения с определенной громкостью. Величина энергии полезного сигнала, поступающего на вход приемника, зависит от напряженности электромагнитного поля радиостанции, которую она создает на месте приема, и параметров приемной антенны. Свойства антенны воспринимать энергию радиоволн зависят от ее типа и геометрических размеров и оцениваются действующей длиной антенны  $h_d$  в метрах. Величина э. д. с., наводимой полем в приемной антенне, определяется произведением напряженности поля на действующую длину

$$e_A = E \cdot h_d.$$

Радиоволны представляют электромагнитные колебания радиочастотного диапазона. Антенны, реагирующие на элек-

трическую составляющую поля, называются *электрическими*, а антенны, воспринимающие магнитную составляющую поля, — *магнитными*. Электрическими являются антенны: вертикальная штыревая, проволочные Г- и Т-образные и др. Примером магнитной антенны может служить обычная рамочная антенна, представляющая катушку индуктивности с определенным количеством витков провода, намотанного на изолированном каркасе. Действующая длина рамочной антенны прямо пропорциональна площади поперечного сечения катушки, количеству витков, магнитной проницаемости среды внутри катушки и обратно пропорциональна длине волны. Для улучшения приемных свойств этой антенны увеличивают ее размеры, количество витков, или вводят внутрь катушки сердечник из феррита. Собственная действующая длина рамочных и ферритовых антенн невелика и исчисляется несколькими миллиметрами. Величина  $h_d$  магнитных антенн значительно повышается при настройке их конденсатором переменной емкости в резонанс с частотой принимаемого сигнала. Собственная  $h_d$  ненастроенной магнитной антенны, используемой в любительских транзисторных приемниках, равна 3–8 м. При точной настройке на принимаемую волну  $h_d$  увеличивается в среднем в 50–100 раз и равна 0,15–0,8 м. Действующая длина ферритовой антенны в несколько раз превосходит ее геометрические размеры (0,1 м), а это очень удобно в портативных приемниках. Величина э. д. с., наведенной в приемной антенне, исчисляется тысячными или миллионными долями вольта. Кроме того, часть энергии теряется на входе до поступления в усилитель, так как входное сопротивление усилителя на транзисторах в сотни раз меньше резонансного сопротивления контура. Поэтому напряжение на входе усилителя в 100–200 раз меньше напряженности поля.

Чувствительность стационарного приемника с внешней антенной характеризуется величиной напряжения на его входе, при котором выходная мощность приемника составляет 50 мвт.

Чувствительность портативных и карманных приемников с магнитной антенной оценивается величиной напряженности поля, которая позволяет получить на выходе приемника мощность 5 мвт.

Минимальные значения чувствительности стационарных и портативных приемников различных классов в диапазонах ДВ и СВ находятся в пределах: для стационарных приемников 50–300 мкв, для портативных — 0,7–3,0 мв/м, любительских — 5–50 мв/м.

Для нормальной работы детектора на его входе напряжение должно быть не менее 30–50 мв.

**Избирательность приемника.** Избирательностью приемника называется его способность выделить сигнал нужной радио-

станции из множества сигналов. При плохой избирательности приемник даже с высокой чувствительностью окажется непригодным, так как он будет принимать сигналы сразу нескольких радиостанций, расположенных близко по частоте. Частоты радиостанций располагаются через 10 кГц, а полоса частот, занимаемых радиопередатчиком, обычно составляет около 9 кГц. Значит, наиболее близкие и опасные помехи создают радиостанции, работающие в соседнем канале, т. е. отстоящие по частоте на 10 кГц. При ослаблении мешающих сигналов в 10 раз соседняя радиостанция прослушивается еще достаточно хорошо, а при ослаблении в 100 раз она практически не мешает приему. Избирательность приемника зависит от количества резонансных контуров.

Оценку избирательности приемника производят по той же схеме, что и измерение чувствительности. Определив чувствительность приемника и заметив уровень выходного напряжения по электронному вольтметру, перестраивают сигнал-генератор на 10 кГц выше или ниже по частоте и увеличивают его выходное напряжение до получения на выходе приемника того же значения напряжения, что и при измерении чувствительности. Модуляция при этом должна составлять 30%. Отношение напряжения на выходе сигнал-генератора при перестройке его на 10 кГц к напряжению на его выходе на основной частоте и будет характеризовать избирательность приемника. Затем ГСС перестраивают на 10 кГц в другую сторону и производят аналогичное измерение. Величина избирательности обычно выражается в децибелах. Величина ослабления при расстройке на 10 кГц равна

$$d = 20 \lg \frac{U_{\text{расст}}}{U_{\text{сиг}}},$$

где  $d$  — ослабление мешающей станции, дБ;

$U_{\text{расст}}$  — напряжение на выходе ГСС в случае расстройки  $\pm 10$  кГц, мкв;

$U_{\text{сиг}}$  — напряжение на выходе ГСС в случае приема основной станции, мкв.

В супергетеродинных приемниках возможны помехи от радиостанций, частота которых равна либо промежуточной, либо удвоенной промежуточной частоте (помехи по зеркальному каналу). Ослабление этих помех называется избирательностью по зеркальному каналу и по промежуточной частоте. В этом случае ГСС настраивается на частоты:  $f_c + 2f_{\text{п.ч}}$  и  $f_{\text{д.ч}}$ . При этом выходное напряжение ГСС увеличивают в 100—1000 раз, добиваясь максимального выходного напряжения приемника, а затем устанавливают величину выходного напряжения приемника, как при измерении чувствительности.

Величина выходного напряжения определяется электронным вольтметром, подключенным к звуковой катушке громкоговорителя. Мощность рассчитывается по формуле

$$P = 1000 \frac{U^2}{R_n} \text{ мвт.}$$

Искажения контролируются по осциллографу (по форме синусоиды) или по качеству звуковоспроизведения; более точно — измерителем нелинейности искажений (ИНИ).

### Лабораторное оборудование

Электронный осциллограф С1-1.

Генератор стандартных сигналов ГСС-6.

Рамка (380×380, ∅ 4—5 мм).

Резистор сопротивлением 80 Ом.

Приемник прямого усиления.

Электронный вольтметр МВЛ-2М.

Принципиальные схемы приемников прямого усиления и супергетеродина.

### Экспериментальная часть

1. Изучить принципиальную схему приемника прямого усиления (рис. 83):
  - а) вычертить принципиальную схему приемника прямого усиления;
  - б) практически изучить элементы схемы приемника: входное устройство, УВЧ, детектор и УНЧ;
  - в) включить радиоприемник и настроить его на частоту сигнала передатчика.
2. Используя действующий макет и принципиальную схему супергетеродина приемника:
  - а) изучить следующие элементы: входное устройство и его связь с антенной, схему преобразователя частоты, схему УПЧ, схему детектора и АРУ, схему предварительного усилителя низкой частоты, схему усилителя мощности низкой частоты, схему выхода приемника;
  - б) вычертить принципиальную схему одного из каскадов приемника по указанию преподавателя и указать назначение всех его элементов;
  - в) вычертить блок-схему приемника;
  - г) включить радиоприемник и прослушать его работу.

**Примечание.** При изучении элементов схем приемников необходимо также изучить типы транзисторов и диодов, их назначение и режим работы.

3. Измерить чувствительность радиоприемника с магнитной антенной:
  - а) собрать блок-схему (рис. 85);
  - б) включить сигнал-генератор и установить уровень несущей частоты при выключенной модуляции по шкале прибора «Уровень несущей» (обычно 1 в);
  - в) включить внутреннюю модуляцию и по шкале прибора «Глубина модуляции» установить ее 30% при частоте модулированного сигнала 400 гц;

г) подать сигнал от ГСС на рамку, образующую магнитное поле, и ориентировать ферритовую антенну приемника на максимум громкости.

Примечание. Сигнал от ГСС необходимо увеличивать до тех пор, пока вольтметр на выходе приемника не покажет напряжение, соответствующее выходной мощности 5 мвт (нормальное напряжение). Регулятор громкости должен стоять в положении максимальной громкости. При этом уро-

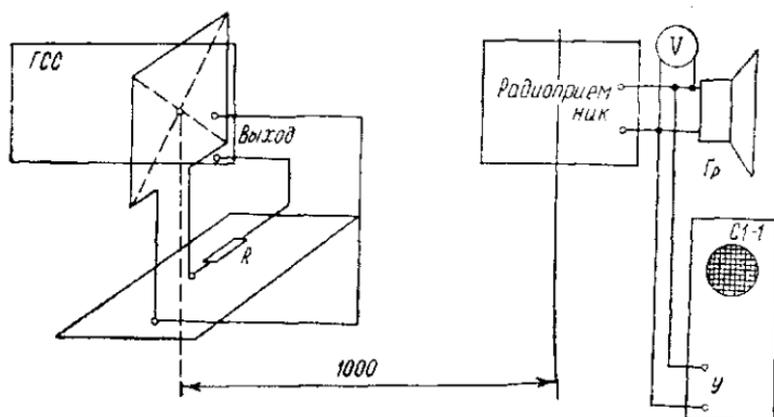


Рис. 85. Блок-схема измерения чувствительности и избирательности приемника с магнитной антенной.

вень собственных шумов приемника должен быть ниже уровня принимаемых сигналов не менее чем в 10 раз. Чтобы определить уровень шума на выходе приемника, следует выключить модуляцию ГСС и измерить напряжение шумов на выходе приемника, которое должно быть в 10 раз меньше максимального выходного напряжения. Если это условие не выполняется, т. е. шум чрезмерно большой, необходимо уменьшить его регулятором громкости. Потом включить модуляцию ГСС и измерить чувствительность по показанию ГСС ( $\mu\text{кВ/м}$  или  $\text{мВ/м}$ ).

4. Оценить избирательность приемника.

### Содержание отчета

1. Принципиальная схема приемника прямого усиления и назначение всех ее элементов.
2. Принципиальная схема преобразователя частоты (или другого каскада) и назначение всех ее элементов.
3. Блок-схемы приемников прямого усиления и супергетеродина.
4. Блок-схема измерения чувствительности и избирательности.
5. Необходимые графики, расчетные данные и таблицы.
6. Паспортные данные радиоизмерительных приборов.
7. Перечень транзисторов и диодов.

## РАБОТА 18

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Цель работы

1. Изучить элементы принципиальной схемы телевизионного радиоприемника.
2. Ознакомиться со схемой и органами управления телевизора Авангард-55.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Блок-схема телевизионного радиопередающего устройства.** Телевидение занимается передачей на расстояние изображений с помощью радиометодов. Для передачи изображения используют инерцию светового ощущения, присущую человеческому глазу. В СССР изображение передается амплитудно-модулированными сигналами, а звуковое сопровождение — частотно-модулированными. Для передачи изображения его преобразуют в электрический сигнал с помощью электронно-лучевой трубки-иконоскопа, использующей оптические и электронные принципы (рис. 86). Этот сигнал, усиленный видеопередателем, модулирует несущую частоту генератора передатчика. Модулированные по амплитуде колебания несущей частоты изображения усиливаются в усилителе мощности и через схему сложения поступают в передающую антенну.

Помимо сигналов изображения, передатчик посылает специальные импульсы для гашения электронного луча при обратном его ходе и синхронизирующие сигналы для согласования движения электронного луча в передающей и приемной трубках.

Поэтому передающее устройство имеет специальный каскад, который вырабатывает импульсы гашения и синхронизации по строкам и кадрам. Этот каскад называется *синхрогенератором*. Таким образом, несущая частота оказывается промодулированной по амплитуде сложным комплексным сигналом, включающим рассматриваемые импульсы. Одновременно, независимым частотно-модулированным передатчиком, работающим на частоте, превышающей несущую частоту изображения

в любом канале на  $6,5 \text{ МГц}$ , сигнал звукового сопровождения изображения передается в схему сложения и на антенну.

Для передачи этого комплексного сигнала нужны антенны, равномерно излучающие в горизонтальной плоскости при достаточном сжатии диаграммы излучения в вертикальной плоскости. Антенна должна быть широкополосной, чтобы на метровых волнах (первые три канала) пропустить телевизионный спектр, составляющий до 10% от несущей частоты. Телевизионные антенны, которые устанавливаются на высоких башнях, должны быть механически прочными и заземлены на металл башни для стекания грозových разрядов. Этим требованиям в значительной мере удовлетворяет ненаправленная турникетная антенна. Основой этой антенны служит симметричный горизонтальный полуволновой вибратор с низким волновым сопротивлением.

Передача телевизионных изображений с высокой четкостью возможна только на ультракоротких волнах. Эти волны распространяются прямолинейно и сильно поглощаются землей.

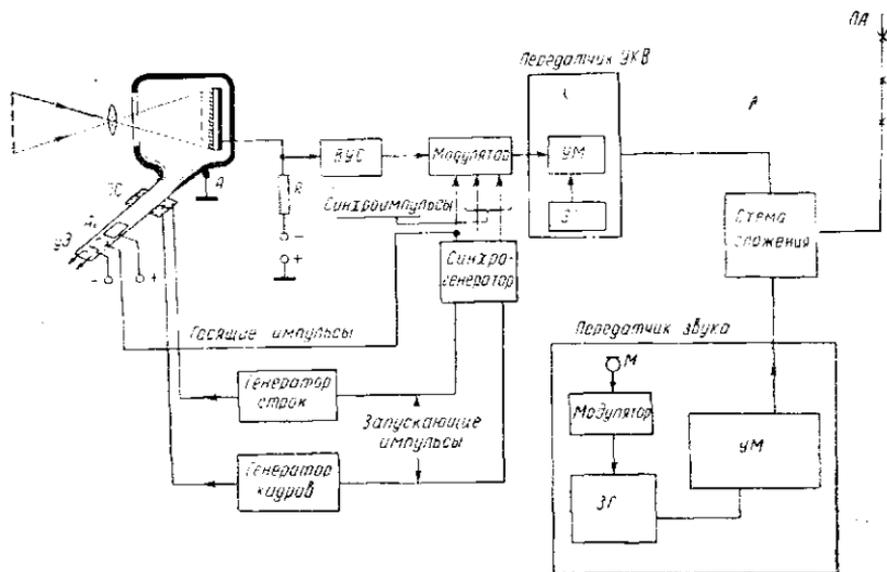


Рис. 86. Блок-схема телевизионного радиопередающего устройства.

Расстояние устойчивой передачи телепрограмм зависит от высоты расположения антенны передающего телецентра и приемной. Уверенный прием телепередач возможен в радиусе 70—100 км от телецентра при условии высоко поднятой и направленной точно на телецентр приемной антенны. Применяя высокие и сложные многоэлементные антенны и антенные усили-

тели, можно осуществить прием телепередач на расстояние до 150—200 км.

**Блок-схема телевизионного радиоприемного устройства.** Прием сигналов изображения и звука производится на общую приемную антенну. Простейшими наружными приемными антеннами являются вибраторы: горизонтальный полуволновой и петлевой (рис. 87, а, б). Вблизи передающих станций прием

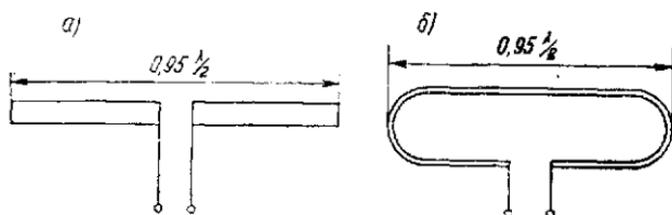


Рис. 87. Простейшие приемные телевизионные антенны:  
а) полуволновой вибратор; б) петлевой вибратор.

возможен и на комнатную антенну, имеющую V-образную форму. Оптимальная длина и расположение лучей зависят от влияния окружающих предметов и подбираются экспериментально. С помощью антенны на вход телевизора поступает модулированный по амплитуде сигнал несущей частоты изображения и модулированный по частоте сигнал несущей частоты звукового сопровождения. Каждый из 12 телевизионных каналов имеет свою несущую частоту сигналов изображения и звукового сопровождения. Например, для первого канала несущие частоты равны  $f_{н.из} = 49,75$  Мгц и  $f_{н.з.с} = 56,25$  Мгц, для шестого канала  $f_{н.из} = 175,25$  Мгц и  $f_{н.з.с} = 181,75$  Мгц. Полезная информация сигнала изображения содержится в огибающей сигнала. Полезная информация звука содержится в изменении частоты несущей звука, т. е. в девиации (отклонении) частоты  $\pm 75$  кГц.

Таким образом, при приеме сигналов одного телевизионного передатчика на входе телевизора будут два высокочастотных сигнала. Если же в данной местности работает несколько телепередатчиков, то количество сигналов, поступающих в телевизор, соответственно увеличивается. Следовательно, телевизионный приемник должен выделить из смеси сигналов только сигналы избранной телезрителем программы, усилить их на высокой частоте, преобразовать высокую частоту в промежуточную, усилить на промежуточной частоте, преобразовать промежуточную частоту в низкую и подать их на воспроизводящие устройства — кинескоп и громкоговоритель. Прежде чем попасть в кинескоп, сигнал изображения усиливается на низкой частоте, а сигнал звукового сопровождения после амплитудного детектора очищается от сигнала изображения в канале звукового сопровождения, усиливается на промежуточной частоте,

детектируется, усиливается на низкой частоте и поступает в громкоговоритель.

Телевизионные приемники в основном выполняются по супергетеродинной схеме (рис. 88). Сигналы изображения и звука, принятые антенной, усиливаются усилителем высокой частоты, выполненным на лампе 6Н24П (6Н14П или 6Н3П), и

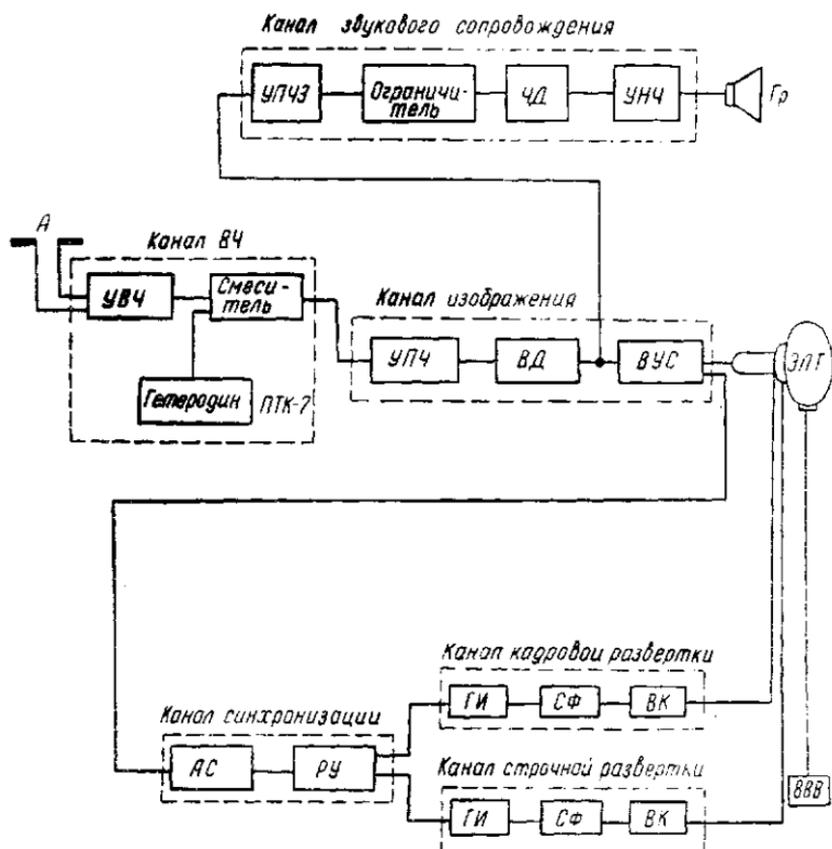


Рис. 88. Блок-схема телевизионного приемного устройства.

поступают на преобразователь частоты (лампа 6ФП или 6Н3П), где преобразуются в сигналы промежуточной частоты звука и изображения. Гетеродин выполнен на триодной части лампы 6ФП. Смесителем является пентодная часть лампы 6ФП. Эта часть приемника, называемая каналом *высокой частоты*, выделяется в отдельный высокочастотный блок, снабженный переключателем для 5 или 12 телевизионных программ (блок ППП или ПТК).

После блока ПТК сигналы поступают в канал изображения, состоящий из усилителя промежуточной частоты, видеодетек-

тора и видеусилителя. Усилитель промежуточной частоты выполняют на лампах 6Ж4П, 6Ж5П, 6К13П и др. Он должен иметь не менее трех каскадов усиления. После усиления на промежуточной частоте сигналы детектируются видеодетектором, собранным на полупроводниковых диодах типа Д-301, Д2В и др. Затем сигналы усиливаются каскадами видеусилителя (на лампах 6Ж4П, 6Ж5П, 6П15П и др.) и подаются на катод кинескопа для модуляции электронного луча, поступающего на экран. На выходе видеодетектора выделяется сигнал разностной частоты 6,5 Мгц, содержащий звуковой сигнал (разность между промежуточными частотами звука и изображения). Этот сигнал поступает в канал звукового сопровождения на двухкаскадный усилитель промежуточной частоты звука (УПЧЗ), выполняемый, как правило, на лампах типа 6Ж1П.

Второй каскад УПЧЗ работает в режиме амплитудного ограничения за счет пониженных напряжений на электродах лампы. Нагрузкой этого каскада является контур частотного детектора, выполненного на диодах типа Д2В и др. С выхода частотного детектора сигнал звуковой частоты поступает на усилитель низкой частоты (лампы 6Ф5П, 6П14П и др.) и далее на громкоговоритель.

На выходе видеусилителя сигнал изображения содержит усиленные гасящие и синхронизирующие импульсы. На амплитудном селекторе (пентодная часть лампы 6Ф1П) они выделяются и поступают на усилитель-ограничитель кадровых и строчных синхроимпульсов (триодная часть лампы 6Ф1П).

В разделительном устройстве синхроимпульсы разделяются на кадровые и строчные (временная селекция), поступают на соответствующие генераторы разверток и синхронизируют их запуск с генераторами передающей трубки. Задающий генератор строчной развертки выполняют обычно на лампе 6Н1П, а его усилитель мощности (выходной каскад) — на лампе 6П3С или 6П36С. На выходе усилителя мощности стоит выходной автотрансформатор типа ТВС, который согласует низкоомную нагрузку (отклоняющие катушки) с внутренним сопротивлением выходной лампы. Частота строчной развертки равна 15625 гц. Отклоняющие катушки и трансформатор схемы строчной развертки вместе с паразитными емкостями образуют паразитный колебательный контур, создающий дополнительные вредные колебания. Для гашения их в схему развертки включают мощный диод 6Д14П, 6Ц10П или 6Д20П. В выходной ступени развертки может применяться стабилизация изображения по горизонтали при помощи варистора СП-1-1-1300.

Генератором кадровой развертки обычно служит триодная часть лампы 6Ф5П, а усилителем — пентодная часть этой же лампы или лампа 6П14П. Выработанное блокинг-генератором импульсов напряжение частоты 50 гц преобразуется ступенью

формирования в пилообразно-импульсное с помощью зарядно-разрядной цепи  $RC$ , добавляемой к блокинг-генератору. Как и в схеме строчной развертки для гашения паразитных колебаний небольшие резисторы включаются параллельно отклоняющим катушкам. Кадровые отклоняющие катушки (низкоомная нагрузка) согласуются с выходной лампой через выходной кадровый трансформатор (ТВК).

Чтобы уменьшить импульсы напряжения обратного хода на аноде лампы, параллельно первичной обмотке выходного трансформатора, включают варистор или цепь  $RC$ . Стабилизация размера изображения по вертикали осуществляется терморезистором, включенным последовательно кадровым катушкам, и варистором типа СП-1-1-670. Схема ключевой АРУ выполняется на триодной части лампы 6Ф4П. В схеме применяют автоматическую подстройку частоты гетеродина (на лампе 6Ж5П).

Блок питания выполняют по двухмостовой схеме на диодах Д226. Выпрямитель обеспечивает под нагрузкой напряжения 150, 250 и 265 в, необходимые для питания анодных и экранных цепей ламп. Анод кинескопа питается возникающими в строчном автотрансформаторе во время обратного хода развертки, импульсами высокого напряжения 8--16 кВ, которые выпрямляются высоковольтным кенотроном 1Ц1П или 1Ц2П.

**Особенности схем телевизоров на транзисторах.** Применение полупроводниковых приборов в телевизионных приемниках позволяет значительно уменьшить габариты и вес телевизоров, в десятки раз снизить потребляемую ими мощность, а также увеличить гарантийный срок службы телевизоров.

Телевизоры «Спутник-2» на кинескопе 25ЛК1Б и «Спутник-3» на кинескопе 43ЛК6Б насчитывают до 30 транзисторов, 7 диодов и ряд селеновых столбов. Из общей потребляемой мощности около 30% расходуется на подогрев катода кинескопа, УВЧ, смеситель и гетеродин таких телевизоров (ПТК) выполняют на транзисторах П403, П411 и др. Регулировка контрастности осуществляется изменением смещения транзистора УВЧ. В УВЧ, смесителе и УПЧ применена схема с общей базой. УПЧ выполняют на четырех транзисторах типа П403 и др. Видеодетектором служит диод Д2Е. УПЧ звука собирают на двух транзисторах типа П403. Дробный детектор выполняют на диодах Д2Е. Усилитель низкой частоты обычно выполнен на четырех транзисторах типа П13 и П203 по схеме с общим эмиттером. Первый каскад видеосуилителя собирают на транзисторе П403, а оконечный — на транзисторе П503. Частотная характеристика видеосуилителя корректируется включением резисторов и конденсаторов в эмиттерные цепи.

Для согласования выхода видеодетектора со входом первого

каскада видеоусилителя применяют схему эмиттерного повторителя на транзисторе П403.

Селектором синхриимпульсов служит диод Д2Е. Усилители строчных и кадровых синхриимпульсов выполняют на двух каскадах транзисторов П403. Первый каскад обычно служит для согласования выхода селектора со входом усилителя и поэтому выполняется по схеме с общим коллектором. В выходном усилителе строк используют транзистор П210, включенный по схеме с общим эмиттером. Выход усилителя соединяют с отклоняющими катушками без согласующего трансформатора.

В качестве демпфера используют диод Д303. Для интенсификации работы выходного усилителя строк применяют предварительный усилитель на транзисторе П203. В канале кадровой развертки применяют транзисторы П13 и П203. Телевизор питается напряжением 12 в от аккумулятора или выпрямителя. Для получения высокого напряжения используют схему преобразователя на транзисторе П203 с умножением напряжения.

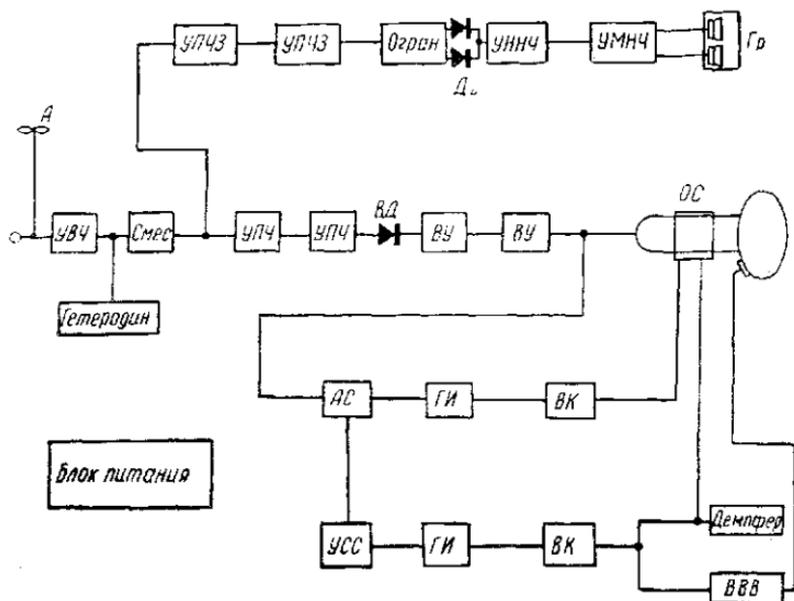


Рис. 89. Блок-схема телевизора «Авангард-55».

**Телевизор «Авангард-55».** Телевизор предназначен для приема пяти программ (от частот 49,75 до 93,25 Мгц), а также УКВ широкоэмитательных станций, работающих с частотной модуляцией в диапазоне 64—73 Мгц.

Переход с одной программы на другую и на ЧМ осуществляется путем поворота ручки переключателя телевизионных программ «ПТП-3». В телевизоре применен кинескоп 31ЛК2Б.

Телевизор выполнен по супергетеродинной схеме на 18 лампах (рис. 89). УВЧ, смеситель и гетеродин являются общими для каналов изображения и звукового сопровождения. После преобразователя каналы изображения и звука разделяются на два (двухканальная схема). Номинальные значения промежуточных частот: канала изображения — 34,25 МГц и звукового сопровождения — 27,75 МГц.

Канал звукового сопровождения включает три каскада усиления промежуточной частоты, частотный детектор и двухкаскадный УНЧ. Канал изображения имеет два каскада усиления промежуточной части, видеодетектор и два каскада видеоусилителя. Канал синхронизации состоит из амплитудного селектора и усилителя строчных синхросигналов. Канал развертки включает генераторы кадров и строк, а также их усилители. Лампа 1Ц1С является высоковольтным выпрямителем, а 6Ц4П — демпферным диодом паразитных колебаний в схеме строчной развертки.

## Лабораторное оборудование

Телевизионный радиоприемник «Авангард-55».  
Принципиальная схема телевизора.

## Экспериментальная часть

1. Используя телевизор и его принципиальную схему (рис. 89), изучить следующие элементы: канал высокой частоты; канал изображения; канал звукового сопровождения; канал разверток; блок питания.
2. Вычертить принципиальную схему одного из каналов приемника и указать назначение всех ее элементов (по указанию преподавателя).
3. Вычертить структурную схему телевизора.
4. Включить телевизор и просмотреть его работу.

Примечание. При изучении элементов принципиальной схемы телевизора необходимо также изучить типы ламп и диодов, их назначение, цоколевку и режим работы.

## Содержание отчета

1. Структурная схема телевизора.
2. Принципиальная схема одного из каналов телевизора.
3. Паспортные данные телевизора.
4. Перечень ламп и диодов, их назначение, цоколевка и режим работы.

## РАБОТА 19

### ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗНЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

#### Цель работы

Ознакомиться с принципиальной схемой УКВ радиостанции 24Р1 («Чиж») и научиться пользоваться ею.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Радиостанция 24Р1** (рис. 90, см. вкладку) является переносной, симплексной, телефонной, ультракоротковолновой с кварцевой стабилизацией частоты, с частотной модуляцией. Она предназначена для осуществления беспосредственной связи в радиолинии или в сети из нескольких радиостанций. Дальность связи не менее 2 км.

Станция настроена на одну из фиксированных частот в диапазоне 33—46 Мгц с интервалами между рабочими частотами не менее 50 кгц. Промежуточная частота приемника равна 1880 кгц. Станция питается от кадмиево-никелевых аккумуляторов КНП-6 напряжением 2,4 в. Приемник составлен из следующих каскадов: входного контура, двухкаскадного УВЧ, смесителя, гетеродина (кварцевый генератор), трехкаскадного УПЧ, ограничителя, дискриминатора, двухкаскадного УНЧ. В состав передатчика входят каскады: возбудитель (он же гетеродин приемника) и параметрический генератор, двухкаскадный усилитель напряжения, усилитель мощности, микрофонный усилитель (он же УНЧ) и тональный генератор.

**Принципиальная схема станции и ее работа.** В режиме приема включается накал ламп приемника, на выход УНЧ подключается телефон и отключается микрофонный трансформатор.

Сигнал с антенны подается через входной контур на сетку лампы первого УВЧ. Усиленный сигнал поступает на сетку второго УВЧ и далее на смеситель. Напряжение гетеродина, необходимое для преобразования частоты сигнала в промежуточную частоту, выделяется в анодном контуре второго УВЧ, который является одновременно внешним контуром ге-

теродина, и подается на управляющую сетку смесителя. Промежуточная частота выделяется на полосовом фильтре, который стоит в анодной цепи смесителя.

Напряжение промежуточной частоты усиливается тремя каскадами УПЧ. После УПЧ сигнал подается на амплитудный ограничитель и далее на частотный детектор. В дискриминаторе происходит детектирование ЧМ сигнала, на его нагрузке выделяется напряжение звуковой частоты, которое усиливается двумя каскадами и поступает на телефон ТА-56.

Первый УВЧ собран на лампе 1Ж24Б и представляет резонансный усилитель с контурами в цепи управляющей сетки и в цепи анода. Оба контура настроены на частоту принимаемого сигнала. Контуром в цепи сетки является антенный контур  $L_7 C_{50} C_{52} C_{51}$ , конструктивно размещенный в блоке усилителя мощности. Сетка связана с контуром через конденсатор  $C_{41}$ . Анодный контур включает элементы  $L_1 C_4 C_5 C_6$ . Питание каскада последовательное через фильтр  $C_3 R_3$ .

Экранная сетка питается через резисторы  $R_3$  и  $R_2$ .  $R_1$  — резистор утечки, конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  — блокировочные.  $R_4$  — гасящий резистор в цепи накала. Второй УВЧ выполнен на лампе 1Ж24Б и аналогичен первому. Сигнал на сетку второго усилителя поступает через конденсатор  $C_7$ . Контур в анодной цепи имеет элементы  $L_2 C_{11} C_{12} C_{13}$ .

Этот же контур является внешним контуром гетеродина. Анодное напряжение подается через фильтр  $R_7 C_{10}$ .

Смеситель выполнен на лампе 1Ж24Б. Он преобразует частоту принимаемого сигнала в промежуточную, равную 1880 кГц. На управляющую сетку смесителя через конденсатор  $C_{14}$  с общего анодного контура второго УВЧ подаются напряжения входного сигнала и гетеродина. Частота колебаний гетеродина ниже частоты колебаний сигнала на 1880 кГц. Контур  $L_2 C_{11} C_{12} C_{13}$  расстроен по отношению к частоте колебаний гетеродина, но напряжение, создаваемое им на этом контуре, оказывается достаточным для нормальной работы преобразователя. Анодной нагрузкой смесителя является полосовой фильтр из двух настроенных контуров  $L_3 C_{18} C_{19}$  и  $L_4 C_{21} C_{22}$  с внешнеемкостной связью  $C_{20}$ . Последовательное анодное питание осуществляется через фильтр  $R_{12} C_{17}$ . Дроссель  $Dp_1$  ограничивает сигнал промежуточной частоты.

УПЧ выполнен на лампе 1Ж24Б. Сигнал на ее сетку подается через конденсатор  $C_{23}$ . Нагрузкой усилителя служит полосовой фильтр из двух настроенных контуров. Связь между ними внешнеемкостная через конденсатор связи. Схемы второго и третьего УПЧ аналогичны.

Ограничитель (лампа 1Ж24Б) устраняет паразитную амплитудную модуляцию за счет пониженного напряжения, которое подается на его анод и экранирующую сетку.

Дискриминатор преобразует ЧМ сигнал промежуточной частоты в сигнал низкой частоты. Он собран по упрощенной схеме с емкостной связью.

УНЧ выполнен на лампах 1Ж24Б и 1Ж29Б.

Для высокой стабильности частоты передатчика и осуществления частотной модуляции в схеме использован принцип сложения частот от двух генераторов: первого, работающего на одной фиксированной частоте, стабилизированной кварцем, и второго, параметрического генератора, работающего на промежуточной частоте приемника. Суммарная частота обоих генераторов и является частотой передатчика.

Переключение радиостанции в режимы *передача* — *прием* производится переключателем рода работы. Все коммутации станции осуществляются с помощью контактных групп. В режиме *передача* включается накал ламп передатчика. Выход микрофонного трансформатора подключается к входу УНЧ, отключается телефон, изменяется режим работы преобразователя постоянного тока. Напряжение от блока параметрического генератора, модулированное по частоте, подается на третью сетку лампы кварцевого генератора  $L_6$ . Анодный контур этого каскада выделяет суммарное напряжение частоты третьей гармоники кварца и промежуточной частоты, равной 1,88 Мгц. Это напряжение усиливается двумя каскадами усилителей передатчика, каскадом усилителя мощности и подается в антенну. С микрофона низкая частота через повышающий трансформатор поступает на подмодулятор. Усиленное напряжение далее поступает на частотный модулятор в блоке параметрического генератора.

Радиостанция предусматривает работу в режиме тонального вызова с частотой тональных посылок 1450 гц. При нажатии кнопки «Тон» подается питание на тональный генератор и одновременно микрофон с его трансформатором отключается от входа УНЧ.

Параметрический генератор выполнен на лампе 1Ж24Б по трехточечной индуктивной схеме с последовательным питанием. Генератор генерирует частоту, изменяющуюся по закону модулирующего напряжения.

Кварцевый генератор  $L_6$  (он же смеситель передатчика) выполнен на лампе 1Ж29Б с утроением частоты в анодной цепи. Кварц включен между сеткой и катодом лампы. Анодной нагрузкой его служит анодный контур второго УВЧ, настроенный на частоту сигнала. Генератор выполнен по трехточечной схеме с индуктивной связью на элементах  $C_{42}$ ,  $Dp_3$ ,  $Dp_4$ . Дроссели изолируют катод от земли на высокой частоте. Анодное питание подается через развязывающий фильтр  $R_7C_{39}$ .  $R_{23}$  и  $R_{27}$  — резисторы утечки в управляющей и защитной сетках лампы. Конденсаторы  $C_{40}$ ,  $C_{41}$  и  $C_{72}$  — блокировочные.

Лампа  $L_5$  служит для усиления напряжения ВЧ, снимаемого с анода  $L_6$  через конденсатор  $C_{43}$ . Анодный контур  $L_6C_{36}C_{35}C_{34}$  настроен на частоту этого напряжения. Анод питается через фильтр развязки  $R_{20}C_{37}$ . Экран, заблокированный конденсатором  $C_{31}$ , питается через делитель  $R_{18}R_{19}$ .  $C_{30}$  — разделительный конденсатор. В цепи накала включен развязывающий фильтр  $R_{22}C_{33}$ . На управляющую сетку для обеспечения более экономичного режима лампы, через делитель  $R_{23}R_{24}$  подается отрицательное смещение. Конденсатор  $C_{38}$  — блокировочный,  $R_{25}$  — резистор утечки.

Второй каскад усиления напряжения ВЧ аналогичен первому. Он выполнен на лампе 1Ж29Б.

Усилитель мощности собран на лампе 1П24Б. Анодной нагрузкой лампы служит антенный контур радиостанции  $L_7C_{50}C_{51}C_{52}$ .

Экранная сетка питается через развязывающий фильтр  $R_{29}C_{49}$ . Конденсатор  $C_{54}$  — блокировочный,  $R_{32}$  — резистор утечки.

Напряжение возбуждения усилителя мощности подводится от анодного контура усилителя напряжения через разделительный конденсатор  $C_{53}$ . Для более экономичного и рационального использования лампы  $L_7$  на ее управляющую сетку подается отрицательное смещение через фильтр  $R_{33}C_{55}$ . Накал лампы подается через дроссель  $Dr_5$ .

Тональный генератор выполнен на двух транзисторах П15А (ПП5, ПП6). Цепь положительной обратной связи состоит из последовательного контура  $Dr_8C_{65}C_{66}C_{67}C_{71}$ , задающего частоту генератора. При нажатии кнопки «Тон» сигнал частотой 1450 гц с тон-генератора подается на выход УНЧ.

*Преобразователь постоянного тока* преобразует напряжение аккумулятора 2,4 в в высокие напряжения, питающие анодно-экранные цепи и цепи смещения станции. Он представляет двухтактный блокинг-генератор с самовозбуждением на транзисторах П4 (по два в каждом плече, соединены параллельно). Частота его генерации равна 3 кгц. Напряжения со вторичных обмоток  $Tr_1$  выпрямляются полупроводниковыми диодами.

На выходе преобразователя получаем следующие напряжения:

а) 110 в — для питания анодно-экранных цепей усилителя мощности. Выпрямитель выполнен на диодах  $D_5, D_6, D_7, D_8$  по мостовой схеме.  $C_{59}$  — фильтрующая емкость;

б) 55 в — для питания анодно-экранных цепей УПЧ, первого УВЧ, смесителя, первого усилителя напряжения передатчика. Выпрямитель выполнен на диодах  $D_6$  и  $D_7$  по одноконтурной двухполупериодной схеме.  $C_{58}$  — фильтрующая емкость;

в) 75 в — для питания анодно-экранных цепей второго

УВЧ, УНЧ, параметрического генератора, ограничителя, кварцевого генератора, второго усилителя напряжения передатчика. Выпрямитель выполнен на диодах  $D_1, D_2, D_3, D_4$  по однотактной двухполупериодной схеме. Фильтром служит конденсатор  $C_{61}$ :

г) 15 в -- для питания цепей смещения. Выпрямитель выполнен на диодах  $D_2$  и  $D_3$  по двухтактной однополупериодной схеме. Фильтр  $C_{60}R_{39}C_{62}$ . Делитель напряжения смещения образуется резисторами  $R_{39}$  и  $R_{40}$ . Резисторы  $R_{41}, R_{42}, R_{43}$  создают необходимое смещение на базах транзисторов. Диод  $D_9$  улучшает возбуждение преобразователя. В блоке преобразователя размещается фильтр накала  $Dp_7$ .

## Лабораторное оборудование

Схема радиостанции 24Р1.

Две действующие радиостанции 24Р1.

## Экспериментальная часть

1. Используя радиостанцию и ее схему (рис. 90), ознакомиться с элементами передатчика и приемника: параметрическим генератором, кварцевым генератором, УВЧ, тональным генератором, преобразователем частоты, УПЧ и ограничителем, дискриминатором и УНЧ, блоком питания.
2. Вычертить блок-схему приемо-передатчика.
3. Вычертить принципиальную схему одного из каскадов блок-схемы станции (по указанию преподавателя).
4. Изучить органы управления станцией.
5. Осуществить сеанс радиосвязи.

## Содержание отчета

1. Блок-схема радиостанции и назначение ее элементов.
2. Принципиальная схема одного из каскадов станции и назначение ее элементов.
3. Технические данные станции.
4. Перечень ламп, транзисторов и диодов, их назначение, цоколевка и режим работы.

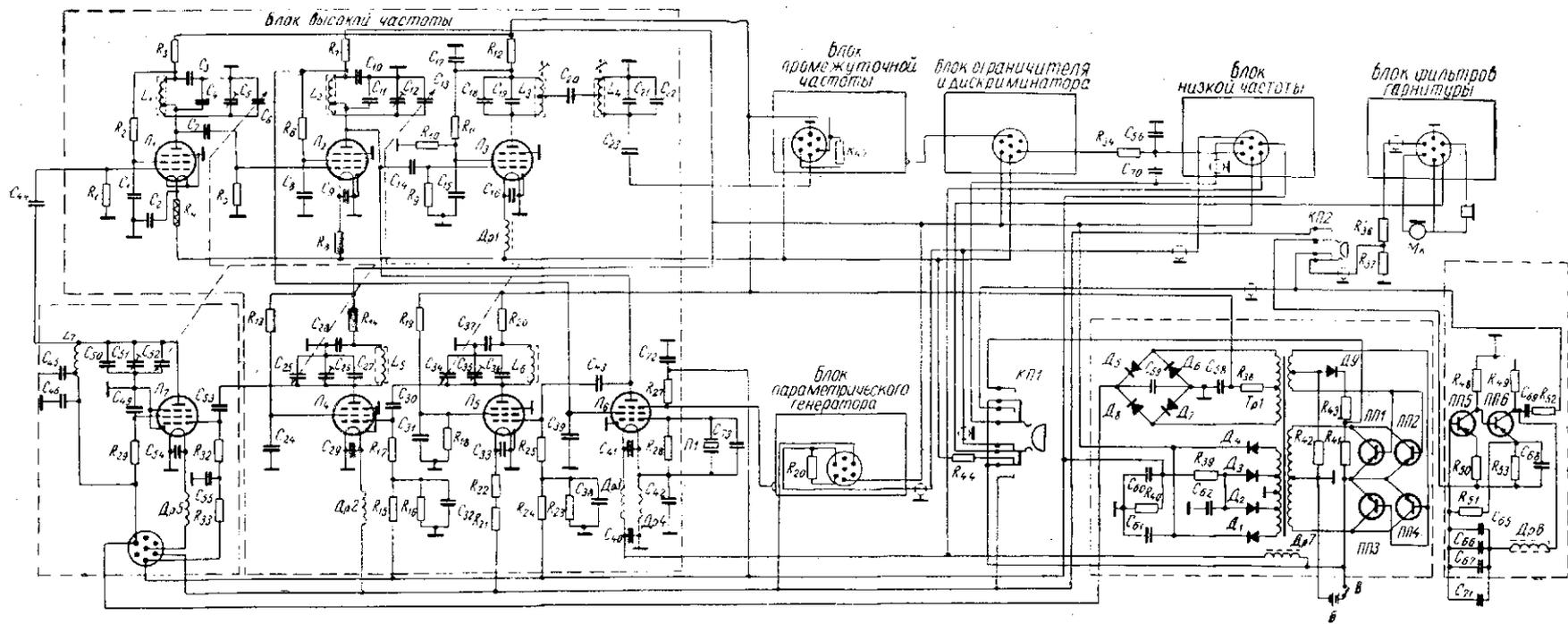


Рис. 90. Принципиальная схема радиостанции 24P1.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

## Цель работы

1. Снять статические и динамические характеристики фотоэлектронных приборов.
2. Изучить и исследовать параметры и характеристики этих приборов.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Общие сведения.** К фотоэлектронным приборам относится многочисленная группа приборов, реагирующих на свет. В некоторых из них свет используется для получения рабочего потока электронов. Фотокатоды при освещении начинают испускать электроны, причем количество испускаемых электронов пропорционально интенсивности света. Эти приборы широко применяются в звуковом кино, где превращают оптическую запись — фонограмму в электрические колебания соответствующей звуковой частоты.

В фотоэлектронных приборах другого типа под воздействием освещения вылета электронов не происходит. Фотокатод реагирует на свет тем, что некоторая часть электронов получает возможность свободного движения в веществе. Поэтому в таких приборах под воздействием света изменяется электропроводность. Подобные приборы называют *фоторезисторами*. Они находят широкое применение в технике, в частности используются в некоторых передающих телевизионных трубках.

Существует группа фотоэлектронных приборов, которые в силу определенных особенностей при освещении становятся источниками электроэнергии. Приборы этого типа обычно называют *вентильными*. Вентильные фотоэлементы (селеновые) работают в фотоэкспонометрах. Кремниевые фотоэлементы известны под названием «солнечных батарей».

Следует отметить, что термин *освещение*, который используется в этой главе, в известной степени условен. Его не нужно понимать как освещение только видимыми световыми лучами. Пользуясь для изготовления фотоэлементов теми или иными веществами, можно получать различные их спектральные характеристики, т. е. добиваться того, чтобы они в той или иной

стенещи реагировали на облучение электромагнитными колебаниями различной частоты. Можно, например, сделать фотоэлементы, которые работают в полной темноте, реагируя на инфракрасные или ультрафиолетовые излучения.

**Вакуумные и газонаполненные фотоэлектронные приборы.** Конструктивно их выполняют в стеклянной колбе (рис. 91, а). Катод 1 представляет тонкий слой светочувствительного вещества — металла с окисленной поверхностью, на которой осажден слой цезия (чаще — кислородно-цезиевый и сурьмяно-цезиевый катод на никельсвой пленке). Катод наносится на внутреннюю стенку баллона. Анодом прибора является кольцо 2, расположенное в центре баллона, или сетка, располагаемая вблизи пластинчатого катода. Такое устройство анода не препятствует прохождению световых лучей на катод. Схема включения прибора приведена на рис. 91, б.

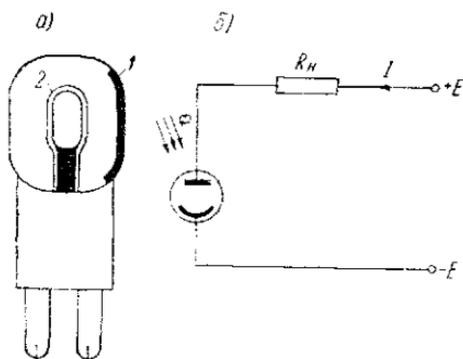


Рис. 91. Фотоэлектронный прибор: а) конструкция; б) схема включения.

Катод прибора соединяется с минусом источника постоянного напряжения  $E$ , анод — с плюсом. В цепь анода включается резистор нагрузки  $R_n$ . Под действием светового потока катод эмиттирует электроны, которые увлекаются положительным полем анода.

Паряду с вакуумными фотоэлектронными приборами применяются также приборы, баллоны которых заполняются разреженным газом при давлении около  $0,2 \text{ мм рт. ст.}$  (чаще — аргон). Электроны, двигаясь к аноду, сталкиваются с молекулами газа. При определенном уровне кинетической энергии электронов может произойти ионизация его молекул. Вновь образовавшиеся электроны движутся к аноду, а положительно заряженные ионы перемещаются к катоду. Это движение электронов и ионов увеличивают плотность потока заряженных частиц и анодный ток, внутри прибора возникает *несамостоятельный разряд*.

При увеличении анодного напряжения между анодом и катодом возникает светящийся разряд, при котором ток быстро растет, что приводит к *зажиганию* прибора и разрушению катода под действием сильной ионной бомбардировки. Зажигание прибора предотвращают включением последовательно с ним резистора с большим сопротивлением, порядка  $10^6 \text{ ом}$ .

**Характеристики фотоэлектронных приборов.** Зависимость фототока, проходящего через прибор, от анодного напряжения при постоянном световом потоке выражает *вольт-амперная характеристика* (рис. 92, а).

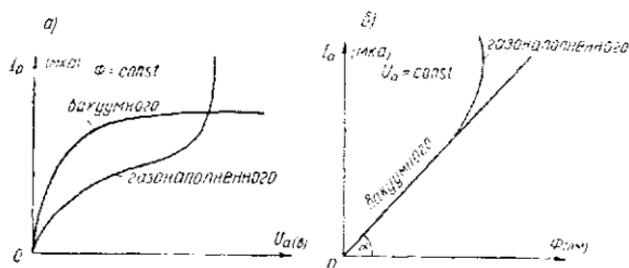


Рис. 92. Характеристики фотоэлектронных приборов: а) вольт-амперные; б) световые.

При малых  $U_a$  не все электроны, эмиттируемые фотокатодом, попадают на анод. У поверхности катода образуется область отрицательного пространственного заряда. При дальнейшем увеличении  $U_a$  пространственный заряд постепенно рассеивается и все электроны, покинувшие катод, устремляются на анод. Наступает режим насыщения. Увеличение фототока в этом режиме возможно только за счет увеличения фотоэмиссии электронов. У газонаполненного прибора при малом  $U_a$  число фотоэлектронов невелико и ионизация газа незначительна. По мере увеличения  $U_a$  число соударений электронов с молекулами газа увеличивается, а следовательно, увеличивается фототок.

Прямая зависимость фототока от светового потока при постоянном анодном напряжении определяется *световой характеристикой* (рис. 92, б).

В газонаполненных приборах при малых световых потоках ионизация газа незначительна, а при увеличении светового потока ионизация и фототок растут.

*Чувствительность* газонаполненного прибора уменьшается при увеличении частоты за счет инерционности процессов ионизации и рекомбинации при газовом разряде. Характеристика вакуумного фотоэлектронного прибора остается линейной вплоть до частот  $10^9$  гц.

**Параметры фотоэлектронных приборов.** Наклон световой характеристики определяется коэффициентом  $K$ , называемым *интегральной чувствительностью*. Он определяет величину фототока, возникающего в результате облучения фотоприбора световым потоком в один люмен, независимо от его спектрального состава.

Для вакуумных приборов  $K$  равен 15—80. Математически он выражается тангенсом угла наклона характеристики

$$K = \operatorname{tg} \alpha \frac{\text{мкА}}{\text{дМ}}.$$

Увеличение тока в газонаполненных фотоэлектронных приборах по сравнению с вакуумными принято характеризовать коэффициентом газового усиления

$$K_{г. у} = \frac{I_{ф. г}}{I_{ф. в}},$$

где  $I_{ф. г}$  — фототок газонаполненного прибора при рабочем  $U_a$  и  $\Phi = \text{const}$ ;

$I_{ф. в}$  — фототок насыщения в вакуумном фотоэлементе при той же величине светового потока.

Обычно  $K_{г. у}$  лежит в пределах 5—10.

Отношение изменения анодного напряжения к изменению фототока при постоянном световом потоке представляет *внутреннее сопротивление* фотоэлектронного прибора:

$$R_i = \frac{\partial U}{\partial I} \text{ при } \Phi = \text{const}.$$

Величина внутреннего сопротивления составляет примерно  $1,3 \cdot 10^9$  ом.

Фотоэлектронные приборы оцениваются еще одним параметром — *темновым током*  $I_{\text{тем}}$ , протекающим в цепи прибора, когда  $\Phi = 0$ . Он обусловлен термоэлектронной эмиссией катода и токами проводимости по стеклу.

**Фотоэлектронные полупроводниковые приборы.** Эти приборы предназначены для регистрации или преобразования электромагнитного излучения оптического диапазона частот.

Их можно разделить на две группы. Первая группа приборов, в которых излучение световой энергии действует на объем полупроводника, высвобождая новые заряды и, следовательно, изменяя проводимость полупроводника, носит название фоторезисторов. Вторая группа — приборы, в которых излучение действует на область вблизи  $p$ — $n$ -перехода, высвобождая новые заряды, в связи с чем или изменяется проводимость перехода, включенного в обратном направлении, или под действием поля перехода происходит разделение зарядов и возникает э.д.с. К ним относятся фотодиоды (без усиления фототока) и фототранзисторы (с усилением фототока), а также фотоэлементы.

*Фоторезисторы* изготавливают на основе сернистого свинца (ФС-А1, ФС-А2, ФС-А6, ФС-А4), сернистого висмута (ФС-Б1,

ФС-Б2), сернистого кадмия (ФС-К0, ФС-К1, ФС-К2, ФСК-М1, ФСК-М2) и селенистого кадмия (ФС-Д0, ФС-Д1). Первые две буквы обозначают название прибора - фоторезистор (фотосопротивление), третья буква — исходный материал. Монокристаллические фоторезисторы имеют в марке букву М.

Цифра в конце маркировки указывает на различие в конструкции. Фоторезисторы имеют два вывода в виде штырьков (рис. 93, а).

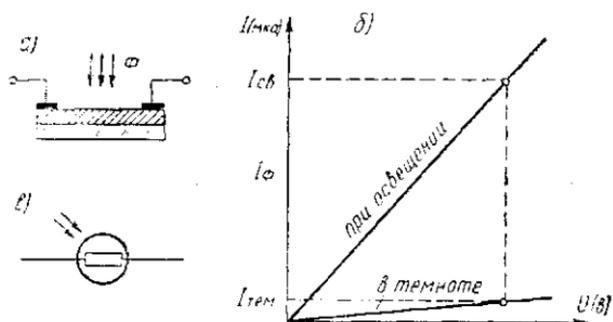


Рис. 93. Фоторезисторы:

а) устройство; б) вольт-амперные характеристики; в) схематическое изображение.

Вольт-амперные характеристики фоторезисторов, как правило, носят линейный характер (рис. 93, б). При отсутствии освещенности через фоторезистор, находящийся под напряжением, протекает темновой ток, который определяется движением зарядов, возникающих вследствие тепловых колебаний. При падении на него светового потока ток возрастет. Разность между световым и темновым токами называется *фототоком*.

*Фотодиод* — полупроводниковый фотоэлемент с электронно-дырочным переходом, обратный ток которого изменяется под действием электромагнитного излучения. Величина фототока зависит от длины волны падающего света и величины светового потока. К фотодиодам относятся ФД-1, ФД-2, ФД-3, ФДК. Для изготовления фотодиодов используются в основном высокоомный германий и кремний (рис. 94, а).

*Фототранзисторы* подобны обычным транзисторам типа  $p-n-p$  или  $n-p-n$ , в которых базовая область может облучаться светом. Они помещаются в герметический корпус с круглым отверстием, закрытым стеклом (рис. 94, б). При действии света на базовую область в ней образуются свободные носители заряда — электроны и дырки. Те из них, которые являются неосновными для материала базы, будут двигаться к коллекторному переходу и втягиваться полем коллектора в кол-

латорную область, увеличивая обратный ток коллекторного перехода. Оставшиеся в базе основные носители-электроны создают пространственный заряд, уменьшающий собственное поле контакта эмиттерного перехода. В результате из эмиттера в базу, а затем в коллектор диффундируют, увеличивая коллекторный ток, дырки.

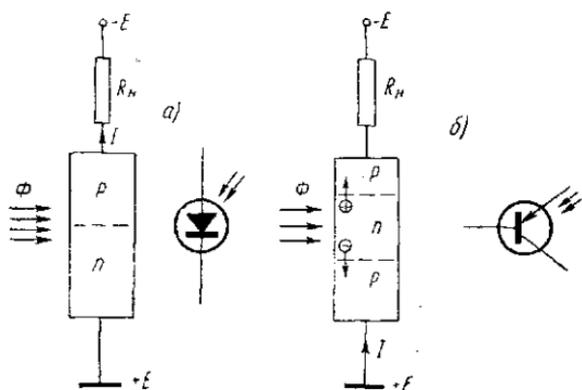


Рис. 94. Схема включения и условное обозначение полупроводниковых фотоприборов:  
а) фотодиодов; б) фототранзисторов.

Образование в базовой области при ее освещении дополнительного объемного заряда основными носителями и является причиной, обеспечивающей в фототранзисторе усиление фототока.

**Фотоэлементы.** Кремниевые фотоэлементы изготавливаются путем диффузии бора из газовой среды в монокристалл кремния  $n$ -типа либо путем диффузии фосфора или сурьмы в кремний  $p$ -типа. Кроме кремниевых, промышленностью выпускаются селеновые фотоэлементы. В этих приборах в результате облучения их световым потоком возникает э.д.с.

При облучении фотоэлемента световым потоком электроны атомов решетки получают дополнительную энергию и отделяются от атомов. Образуются неустойчивые парные заряды электрон-дырка. Заряды, которые возникают вблизи  $p-n$ -перехода, не успевают рекомбинировать и попадают в поле этого перехода. Неосновные носители переходят в те области, где они будут основными. Через переход начинается движение дополнительных неосновных носителей, некомпенсируемое обратным движением зарядов того же знака. Если замкнуть внешнюю цепь, то в ней потечет ток, величина которого пропорциональна световому потоку, облучающему фотоэлемент. Таким образом, фотоэлементы сами являются источниками э.д.с. и могут быть использованы для питания электронных устройств.

Фотоэлементы различаются материалом, в котором образуется  $p-n$ -переход (селеновые, сернистоталлиевые, сернистосеребряные и кремниевые).

### Лабораторное оборудование

Вакуумный фотоэлемент  $L_1$ .  
Газонаполненный фотоэлемент  $L_2$ .  
Фоторезистор ФС-К1.  
Микроамперметр постоянного тока,  $\mu A$ , 100  $\mu A$ .  
Миллиамперметр постоянного тока,  $mA$ , 5  $mA$ .  
Вольтметр постоянного напряжения  $V$ , 250  $v$ .  
Источник постоянного напряжения  $E$ , 250  $v$ .  
Резисторы  $R_1=100 \text{ к}$  и  $R_2=5,6 \text{ к}$ .  
Потенциометр  $R_3$ , 8000  $\Omega$ , 25  $v$ .  
Стенд для исследования.  
Источники световых потоков — лампы  $L_3 - L_8$ .

### Экспериментальная часть

1. Снять динамические вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента:
  - а) изучить и зачертить принципиальную схему исследования фотоэлектронных приборов (рис. 95);
  - б) подключить шнур питания к сети переменного тока, тумблером «Сеть» включить стенд, тумблер  $B_7$  установить в положение «Вакуумный», тумблером  $B_8$  установить световой поток  $\Phi_1$  (тумблеры  $B_9$  и  $B_{10}$  должны быть выключены);
  - в) изменяя напряжение источника питания  $U_n$  потенциометром  $R_3$  от 0 до 250  $v$  через каждые 50  $v$ , измерить микроамперметром значение тока через фотоэлемент;
  - г) тумблером  $B_8$  установить световой поток  $\Phi_2$  и повторить пункт в);
  - д) данные измерений занести в табл. 26;
  - е) построить динамические вольт-амперные характеристики

$$I_a = f(U_a) \text{ при } \Phi = \text{const}, R_n = \text{const};$$

- ж) по полученным характеристикам определить динамическую чувствительность

$$K_{\Phi, \text{дин}} = \frac{dI_a}{d\Phi} \text{ мкА/лм при } U_a = \text{const}, R_n = 100 \text{ ком};$$

- з) используя экспериментальные данные и выражение  $U_a = E_a - I_a R_n$ , построить семейство статических вольт-амперных характеристик

$$I_a = f_1(U_a) \text{ при } \Phi = \text{const};$$

- и) определить статическую чувствительность

$$K_{\Phi, \text{ст}} = \frac{dI_a}{d\Phi} \text{ при } U_a = 100 \text{ в}, R_n = 0.$$

2. Снять динамические вольт-амперные характеристики газонаполненного фотоэлемента:

- тумблер  $B_7$  установить в положение «Газонаполненный»;
- тумблер  $B_9$  установить в положение  $\Phi_1$  и повторить подпункт в) пункта 1;
- тумблер  $B_9$  установить в положение  $\Phi_2$  и повторить подпункт в) пункта 1;
- данные измерений занести в табл. 26;

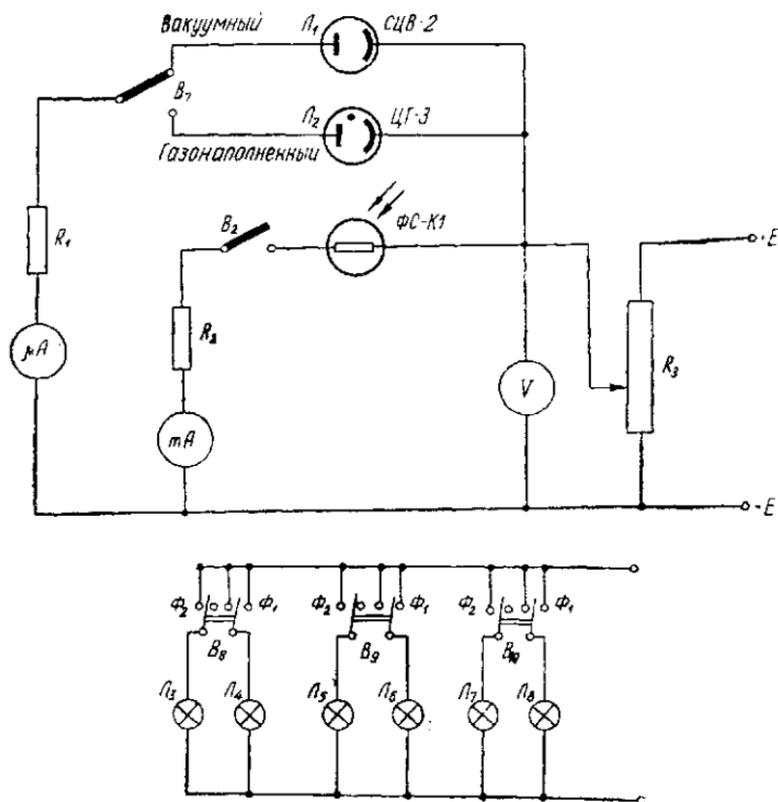


Рис. 95. Схема исследования фотоэлектронных приборов.

- построить динамические вольт-амперные характеристики

$$I_a = f_2(U_a) \text{ при } \Phi = \text{const. } R_H = \text{const.};$$

- определить динамическую чувствительность по формулам подпункта ж) пункта 1;
- используя экспериментальные данные, построить семейство статических вольт-амперных характеристик

$$I_a = f_3(U_a) \text{ при } \Phi = \text{const.};$$

- определить статическую чувствительность

$$K_{\Phi, \text{ст}} = \frac{dI_a}{d\Phi} \text{ при } U_a = 200 \text{ в, } R_H = 0;$$

и) определить чувствительность по напряжению

$$q_{ст} = \frac{dI_a}{dU_a} \text{ при } \Phi = \text{const.}$$

3. Снять динамические вольт-амперные характеристики фоторезистора ФС-К1:

- а) включить тумблер  $B_2$ ;
- б) тумблер  $B_{10}$  установить в положение  $\Phi_1$  и повторить подпункт в) пункта 1;
- в) тумблер  $B_{10}$  установить в положение  $\Phi_2$  и повторить подпункт в) пункта 1;
- г) повторить подпункт в) пункта 1 при отсутствии освещения;
- д) данные измерений занести в табл. 26;
- е) построить динамические вольт-амперные характеристики

$$I = f_4(U) \text{ при } \Phi = \text{const.}, R_{н} = \text{const.}$$

ж) определить динамическую чувствительность

$$K_{Ф.дин} = \frac{dI}{d\Phi} \text{ при } U = 30 \text{ в}, R_{н} = 5,6 \text{ ком}$$

и чувствительность по напряжению

$$q = \frac{dI}{dU} \text{ при } \Phi = \text{const.}$$

з) по данным опыта построить статические вольт-амперные характеристики

$$I = f_5(U) \text{ при } \Phi = \text{const.}, R_{н} = 0;$$

- и) определить темновое и световое сопротивления;
- к) определить статическую чувствительность по формуле подпункта и) пункта 1.

### Содержание отчета

1. Принципиальная схема исследования.
2. Перечень измерительных и исследуемых приборов и их основные данные.
3. Графики характеристик и таблицы.
4. Расчетные данные чувствительности фотоприборов.
5. Краткий анализ исследуемых характеристик.

Таблица 26

Вакуумный фотоэлемент				Газонаполненный фотоэлемент				Фоторезистор					
$\Phi_1$		$\Phi_2$		$\Phi_1$		$\Phi_2$		$\Phi_1$		$\Phi_2$		$\Phi = 0$	
$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ мкА}$	$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ мкА}$	$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ мкА}$	$U_a, \text{ в}$	$I_a, \text{ мкА}$	$U, \text{ в}$	$I, \text{ ма}$	$U, \text{ в}$	$I, \text{ ма}$	$U, \text{ в}$	$I, \text{ ма}$

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
От авторов . . . . .	3
Правила выполнения работ . . . . .	5
<b>Работа 1.</b> Исследование характеристик лампового диода . . . . .	7
<b>Работа 2.</b> Исследование статических характеристик лампового триода . . . . .	16
<b>Работа 3.</b> Исследование динамических характеристик лампового триода . . . . .	24
<b>Работа 4.</b> Исследование характеристик пентода . . . . .	29
<b>Работа 5.</b> Исследование характеристик полупроводниковых диодов . . . . .	35
<b>Работа 6.</b> Исследование характеристик транзисторов . . . . .	49
<b>Работа 7.</b> Исследование характеристик тиратрона . . . . .	61
<b>Работа 8.</b> Исследование характеристик ртутного выпрямителя . . . . .	67
<b>Работа 9.</b> Исследование схем выпрямления . . . . .	71
<b>Работа 10.</b> Исследование схем сглаживающих фильтров . . . . .	82
<b>Работа 11.</b> Исследование характеристик лампового усилителя низкой частоты . . . . .	87
<b>Работа 12.</b> Исследование характеристик транзисторного усилителя низкой частоты . . . . .	97
<b>Работа 13.</b> Исследование работы лампового мультивибратора . . . . .	103
<b>Работа 14.</b> Исследование схемы потенциального триггера на транзисторах . . . . .	109
<b>Работа 15.</b> Изучение схемы электронного осциллографа . . . . .	115
<b>Работа 16.</b> Исследование схем ламповых радиоприемников . . . . .	124
<b>Работа 17.</b> Исследование схем транзисторных радиоприемников . . . . .	139
<b>Работа 18.</b> Изучение телевизионных радиоприемных устройств . . . . .	153
<b>Работа 19.</b> Изучение связанных радиостанций . . . . .	161
<b>Работа 20.</b> Исследование характеристик фотоэлектронных приборов . . . . .	166

Пляц Алег Михайлович.  
Салун Геннадий Адамович  
**ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ. Руководство  
к лабораторному практикуму.**  
Минск, „Вышэйшая школа“, 1968

176 стр. с илл.

6П2.15

Редактор К. И. Тарасов  
Обложка В. С. Юрченко  
Худож. редактор Г. Г. Малышев  
Техн. редактор Г. М. Романчук  
Корректоры Е. В. Данько, Е. Н. Польская

АТ 03004. Сдано в набор 25/IX 1967 г.  
Подписано к печати 19/I 1968 г.

Бумага 60 × 90/16 типогр. № 2  
Печ. л. 11 + 1 вкл. Уч.-изд. л. 10,32.  
Изд. № 66 — 155. Тип. зак. 531. Тираж  
6 000 экз. Цена 34 коп.

Издательство „Вышэйшая школа“  
Государственного комитета Совета  
Министров БССР по печати. Редакция  
учебной и учебно-методической лите-  
ратуры для средних специальных и  
профессионально-технических учебных  
заведений. Тем. план 1968 г. № 41.  
Минск, ул. Кирова, 24.

Отпечатано в типографии им. Фран-  
циска (Георгия) Скорины изд-ва „Нау-  
ка и техника“ АН БССР и Госкомитета  
Совета Министров БССР по печати  
с набора типографии издательства  
„Звезда“.