

Б. С. ГЕРШУНСКИЙ,
Е. Г. РАНСКИЙ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ
ПО ОСНОВАМ
ЭЛЕКТРОННОЙ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ
ТЕХНИКИ**

Б. С. ГЕРШУНСКИЙ,
Е. Г. РАНСКИЙ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОННОЙ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ
ТЕХНИКИ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия для средних
специальных учебных заведений



МОСКОВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА», 1974

6Ф0.3
Г42
УДК 621.38(075)

Гершунский Б. С., Ранский Е. Г.

Г42 Лабораторный практикум по основам электронной и полупроводниковой техники. Учеб. пособие для техников. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Высш. школа», 1974.

206 с. с ил.

Учебное пособие предназначено для учащихся техникумов по различным радиотехническим и приборостроительным специальностям.

Для каждой из приведенных в пособии работ указаны цель работы, рекомендуемая литература, контрольные вопросы, описание схемы исследования, необходимая контрольно-измерительная аппаратура, порядок выполнения работы и структура отчета.

Пособие может быть использовано преподавателями техникумов для организации лабораторных практикумов по различным отраслям технической электроники.

Г 30407—595
001(01)—74 262—74

6Ф0.3

Р е ц е н з е н т:

Преподаватель Московского радиотехнического техникума Малинская С. Ц.

В В Е Д Е Н И Е

В условиях быстрого роста производства радиоэлектронной аппаратуры и широкого применения типовых электронных схем регулировочные и контрольно-испытательные работы занимают все большее место в практической деятельности техника. Поэтому в учебных предметах, посвященных изучению основ электронной техники, значительное внимание уделяется лабораторным работам. Эти работы помогают учащимся усвоить пройденный теоретический материал, связать теорию с практикой и закрепить полученные знания, получить навыки творческой, исследовательской деятельности.

РАБОЧЕЕ МЕСТО В ЛАБОРАТОРИИ

Для выполнения лабораторных работ учащимся предоставляется одно рабочее место (лабораторный стол) на два — три человека. Лабораторный стол должен быть вместительным и удобным для работы. Рекомендуемая конструкция лабораторного стола приведена на рис. 0.1.

Откидная полка 1 позволяет разместить многочисленные измерительные приборы вокруг исследуемой схемы. Иногда полка может быть лишней, мешая размещению аппаратуры. Конструкция полки позволяет, завернув внутрь упоры 2, опустить ее и освободить место на столе. Справа над ящиками предусмотрена выдвижная доска 3, позволяющая вести записи, если весь стол занят аппаратурой. Верх стола следует покрыть линолеумом для того, чтобы

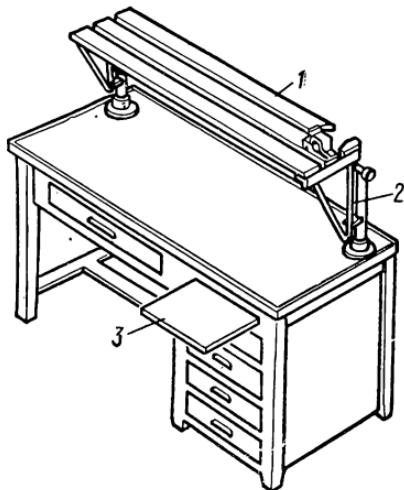


Рис. 0.1. Конструкция лабораторного стола

легче было поддерживать чистоту. На лабораторном столе необходимо установить несколько сетевых розеток.

При проведении работы на столе должно быть только то, что непосредственно относится к эксперименту. Аппаратуру удобно размещать в такой последовательности, в которой изображен каждый прибор на структурной схеме.

Большое значение для правильной организации работы имеет подбор измерительной аппаратуры. Использование износившихся измерительных приборов приводит к большим погрешностям при измерениях.

Применяемая аппаратура должна быть надежной, иметь стабильные параметры, обеспечивать простоту и безопасность обслуживания, однообразие результатов измерений одинаковых параметров на разных рабочих местах, минимальную зависимость результатов измерений от внешних факторов.

Измерительную аппаратуру необходимо проверять в установленные сроки, она должна иметь паспорт с датами проверок на соответствие техническим требованиям. Для снижения трудоемкости лабораторных исследований измерительная аппаратура должна иметь минимальное количество органов настройки.

Сборку схем можно производить на заранее подготовленных шасси различных размеров. Шасси изготавливается из дюралюминия (1,5 мм) и содержит на лицевой панели необходимые клеммы и гнезда для удобного подключения элементов исследуемых схем, измерительной аппаратуры и источников питания. Лицевую панель можно изготовить из гетинакса, служащего естественным изолятором.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА В РАБОТЕ

Учащийся должен четко представлять себе цель работы, сознательно подходить к выбору элементов исследуемых схем и правилам пользования радиоизмерительной аппаратурой. Поэтому перед каждой работой необходима предварительная подготовка, в процессе которой учащийся повторяет пройденный теоретический материал, подготавливает таблицы наблюдений, знакомится с приборами и оборудованием, необходимыми для проведения работы. Закончив подготовку, учащиеся должны ответить на ряд контрольных вопросов.

Тему лабораторной работы учащиеся должны знать за несколько дней до ее выполнения.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Правила техники безопасности

Исследование работы электронных схем неизбежно связано с применением повышенных напряжений. Поэтому, выполняя лабораторные работы, необходимо соблюдать правила техники безопасности:

- 1) приступая к работе, следует ознакомиться с источниками электропитания, способами их включения и выключения;
- 2) перед началом работы все имеющиеся в цепи реостаты полностью ввести, а потенциометры — вывести;
- 3) после окончания ~~сборки~~ схемы преподаватель или лаборант должен ее проверить и дать разрешение на включение источников питания;
- 4) запрещается прикасаться руками к зажимам, находящимся под напряжением; наличие напряжения на зажимах приборов или элементов схемы следует проверять только измерительным прибором;
- 5) все изменения в схеме или устранение причин ее неисправности можно производить только после полного отключения источников питания;
- 6) после окончания измерений полученные результаты следует показать преподавателю и, получив разрешение, приступить к разборке исследуемой схемы; запрещается разбирать схему, если она не отключена от источников питания;
- 7) разобрав схему, соединительные провода аккуратно сложить, приборы установить на определенные места.

Сборка и опробование схемы

Размещение деталей на шасси производится в соответствии с принципиальной схемой исследуемого устройства. Все детали должны быть размещены и смонтированы так, чтобы соединительные провода имели минимальную длину и по возможности не пересекались. Для устранения паразитных связей входные и выходные клеммы должны располагаться на противоположных сторонах шасси.

Детали, входящие во входную и выходную цепи ламп и транзисторов, разносят по возможности дальше друг от друга.

После окончания сборки следует тщательно проверить схему и произвести ее опробование, в процессе которого необходимо убедиться в том, что источники питания и измерительные приборы работают нормально, элементы схемы подобраны правильно и схема готова к проведению исследований в соответствии с заданием. Перед включением радиоизмерительных приборов необходимо ознакомиться с правилами их эксплуатации в соответствии с техническими описаниями.

Проведение исследований

Исследование схемы производят в соответствии с заданием. В процессе исследования снимают основные характеристики приборов и устройств, определяют их параметры, устанавливают зависимость основных качественных показателей от режима работы, номиналов деталей схемы и т. д. Полученные данные заносят в таблицы наблюдений, по которым строят графики и анализируют полученные результаты.

При изучении характеристик электронных приборов для наглядности и привития учащимся навыков работы с электронным осциллографом (наиболее распространенным измерительным прибором) в качестве дополнительного задания к лабораторным работам рекомендуется проводить осциллографирование вольтамперных характеристик исследуемых приборов.

Схемы для осциллографирования вольтамперных характеристик электронных приборов приведены в приложении IV.

III. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Выполненная лабораторная работа оформляется в виде отчета каждым учащимся самостоятельно. В заголовке указывают номер, точное наименование и цель работы. При составлении отчета надо кратко описать использованную аппаратуру, приложить на миллиметровой бумаге электрические схемы, таблицы и графики в соответствии с рекомендациями, данными в разделе «Указания к отчету». На графиках обозначают, к какому опыту и таблице наблюдений они относятся; на оси координат

обязательно указывают, какая величина отложена и в каких единицах она измеряется, каков масштаб.

В заключение на основании данных, полученных экспериментально, следует сделать краткие выводы, содержащие объяснение полученных результатов с точки зрения теории. Характер и объем этих выводов определяются конкретным содержанием работы. Отчет должен быть подписан учащимся.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИОДА

Цель работы — ознакомление с работой диода, его характеристиками и параметрами.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 28—39; Л. 2, стр. 27—38; Л. 3, стр. 39—55; Л. 4, стр. 50—60].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструкции, условных обозначениях и маркировке диодов.
2. Начертите схемы включения диодов с катодом прямого накала и с подогревным катодом.
3. Начертите график распределения потенциала в диоде.
4. От чёgo зависит величина анодного тока диода?
5. Расскажите о характеристиках диода.
6. Какие параметры имеет диод?
7. Докажите равенство $SR_i = 1$.
8. Какие параметры определяют возможность использования диода в схемах выпрямления?
9. Чем объясняется нелинейность анодной характеристики диода?
10. Подсчитайте эффективность катода при условии, что ток эмиссии равен 40 мА, напряжение накала — 6,3 В, а ток накала — 200 мА.
11. Расскажите о применении диодов в электронных схемах.

Схема исследования, необходимые приборы

Схема исследования диода приведена на рис. 1.1. Для подбора элементов схемы должен быть известен тип диода. Основные данные некоторых диодов (кенотронов),

применяющихся в схемах выпрямителей, приведены в табл. 1.1. Цоколевка диодов показана на рис. 1.2. Для большинства диодов цепь накала питается переменным током от источника переменного напряжения порядка 5,5—7 В.

Анодная цепь при снятии характеристик питается от источника постоянного напряжения*.

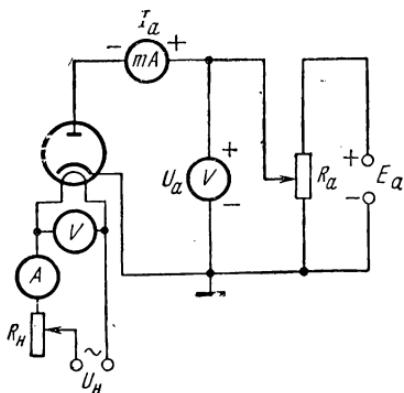


Рис. 1.1. Схема исследования диода

Метр выбирается в зависимости от номинальной величины тока накала исследуемого диода. Обычно достаточно использовать амперметр с пределами измерений 0—3 А.

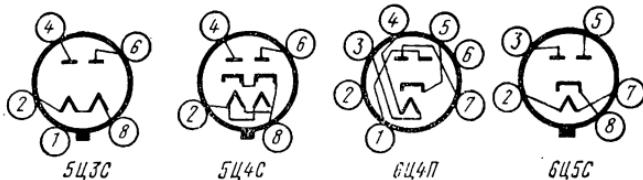


Рис. 1.2. Цоколевка диодов

В качестве измерительных приборов в анодной цепи используют амперметры и вольтметры магнитоэлектрической системы, предназначенные для измерения в цепях постоянного тока.

* Для большинства лабораторных работ рекомендуется использовать универсальный источник питания типа УИП-1, описание которого приведено в приложении I.

Таблица 1.1

Основные данные выпрямительных диодов (кенотронов)

Обозначение лампы	Количество анодов	Накал		Среднее значение выпрямленного тока, мА	Амплитуда обратного напряжения, В	Среднее внутреннее сопротивление на один анод, Ом
		U_H , В	I_H , А			
5Ц3С	2	5	3	250	1700	200
5Ц4С	2	5	2	125	1350	150
6Ц4П	2	6,3	0,6	75	1000	250
6Ц5С	2	6,3	0,6	75	1100	250

При включении этих приборов необходимо соблюдать правильную полярность (см. рис. 1.1). Шкала измерительных приборов должна быть рассчитана на измерение максимальных величин тока и напряжения анодной цепи исследуемого диода *.

Реостат накала R_H должен выдерживать нормальный ток накала и иметь такое сопротивление, чтобы можно было плавно регулировать напряжение накала в цепи лампы. Обычно для исследования диода достаточно уменьшать напряжение накала примерно в три раза по сравнению с его номинальным значением. В большинстве случаев реостат накала R_H имеет сопротивление порядка нескольких десятков Ом и должен выдерживать ток порядка 3—4 А. Для регулировки анодного напряжения применяется потенциометр, сопротивление которого выбирается порядка нескольких килоом. При таком сопротивлении ток, потребляемый потенциометром от анодного источника, оказывается не слишком большим, а величину анодного напряжения можно регулировать достаточно плавно.

* Для измерения постоянных и переменных (частотой 50 Гц) токов и напряжений в зависимости от условий выполнения лабораторных работ и конструкций стендов могут быть использованы щитовые или переносные амперметры и вольтметры, а также переносные многопредельные комбинированные приборы (см. [Л. 5]).

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие анодных характеристик диода.
3. Снятие эмиссионных характеристик диода.
4. Построение характеристик и определение параметров диода.
5. Определение эффективности катода (дополнительное задание).

Сборка и опробование схемы

Источники питания, лампу, измерительные приборы и регулировочные резисторы соединяют в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1.1. (при исследовании двуханодных кенотронов один из анодов лампы в схему не включается). Собранную схему проверяют и опробуют. Для этого необходимо включить источники питания и с помощью измерительных приборов убедиться в том, что при изменении величин сопротивлений резисторов R_h и R_a токи и напряжения в цепях диода изменяются в пределах, достаточных для снятия характеристик.

Снятие анодных характеристик диода

Перед снятием анодных характеристик диода заготавливают таблицу наблюдений (табл. 1.2).

Таблица 1.2

$I_a = f(U_a)$, при $U_h = \text{const}$

Тип лампы...

U_a , В	I_a , мА		
	$U_{h1} \dots$, В	$U_{h2} \dots$, В	$U_{h3} \dots$, В

Анодные характеристики снимают для трех различных напряжений накала, которые в процессе наблюдения поддерживают постоянными. Первое наблюдение рекомендуется производить при напряжении накала U_{h1} , равном 40 % от номинального для данного типа лампы, второе — при U_{h2} , равном 75 % от номинального, и третье

при U_{h3} , равном номинальному напряжению накала. Анодное напряжение можно изменять от 0 до 150—200 В через 10—20 В.

Снятие эмиссионных характеристик

Данные наблюдений записываются в заранее заготовленную табл. 1.3.

Таблица 1.3

$$I_a = \phi(U_h) \text{ при } U_a = \text{const}$$

Тип лампы...

U_h , В	I_h , А	I_a , мА		
		$U_{a1} = \dots$, В	$U_{a2} = \dots$, В	$U_{a3} = \dots$, В

Характеристики снимают для трех различных анодных напряжений, которые в процессе каждого наблюдения поддерживаются неизменными. Первое наблюдение рекомендуется производить при U_{a1} , равном 30—40%, второе — при U_{a2} , равном 60—75% от напряжения анодного источника, третье — при U_{a3} , равном максимальному напряжению анодного источника.

Напряжение U_h надо изменять от 0 до номинального значения через 0,5 В. Одновременно записывают значение тока накала I_h (для дополнительного задания).

Следует помнить, что, снимая эмиссионные характеристики, необходимо производить отсчет анодного тока через 30—40 с после установления требуемого напряжения накала. Это объясняется тем, что у ламп с косвенным накалом катод обладает тепловой инерционностью.

Построение характеристик и определение параметров диода

На основании результатов наблюдений, записанных в табл. 1.2 и 1.3, в прямоугольной системе координат строят графики анодных и эмиссионных характеристик исследуемого диода. Примерный вид этих характеристик показан на рис. 1.3.

На графике $I_a = f(U_a)$ для номинального напряжения накала определяют значение крутизны анодной характе-

ристики S и внутреннее сопротивление переменному току R_i .

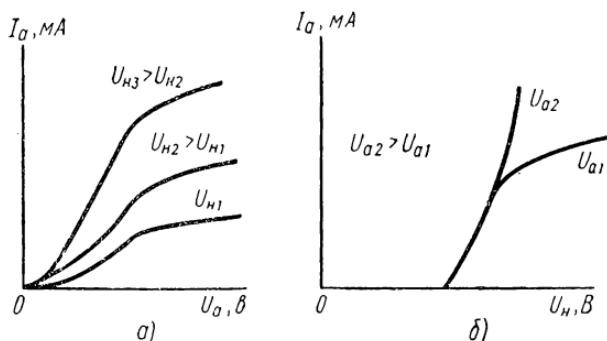


Рис. 1.3. Характеристики диода:
а — анодные; б — эмиссионные

Определение эффективности катода

Эффективность катода исследуемого диода — параметр, характеризующий экономичность катода и представляющий собой отношение тока эмиссии к мощности, расходуемой на накал катода

$$H = \frac{I_s (\text{mA})}{P_n (\text{Вт})} \quad [\text{mA/Bt}].$$

Величина H определяется по данным табл. 1.3 для нескольких значений напряжений U_h и U_a . При этом ток эмиссии можно принять равным анодному току насыщения диода.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных (паспортных) данных исследуемого диода и схему его цоколевки;
- 3) схему для снятия характеристик диода с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) графики $I_a = f(U_a)$ при $U_h = \text{const}$;
- 6) графики $I_a = \Phi(U_h)$ при $U_a = \text{const}$;
- 7) расчет параметров диода S , R_i и H ;
- 8) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРИОДА

Цель работы — ознакомление с работой триода, его статическими характеристиками и параметрами.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 39—54; Л. 2, стр. 38—47; Л. 4, стр. 60—73].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструкции, условных обозначениях и маркировке триода.
2. Постройте график распределения потенциала в триоде для случая отрицательного потенциала сетки.
3. Расскажите о характеристиках триода.
4. Как изменяется положение анодно-сеточной статической характеристики триода при увеличении напряжения на аноде?
5. Как изменяется положение анодной статической характеристики триода при увеличении отрицательного потенциала управляющей сетки?
6. Какие параметры имеет триод?
7. Объясните, как влияет густота управляющей сетки на параметры триода?
8. Расскажите об определении параметров триода методом характеристического треугольника.
9. Чем необходимо руководствоваться при выборе рабочей точки на анодно-сеточной характеристике триода?
10. Как связаны между собой параметры триода?
11. Укажите основные недостатки триодов.
12. Расскажите о применении триодов в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые приборы

Схема исследования триода приведена на рис. 2.1. Номинальные электрические данные некоторых распространенных триодов приведены в табл. 2.1, а их цоколевка показана на рис. 2.2

В схему исследования триода входят три источника напряжения: накала, анода и управляющей сетки. Эти напряжения можно получить от блока питания типа УИП-1 (см. приложение I).

При снятии статических характеристик триода напряжение накала равно номинальному для данного типа лампы и в процессе работы не изменяется.

Анодная цепь триода (см. рис. 2.1) аналогична анодной цепи диода (см. рис. 1.1). В зависимости от типа исследуемого триода источник анодного питания должен иметь э. д. с. E_a порядка 250—300 В (см. табл. 2.1).

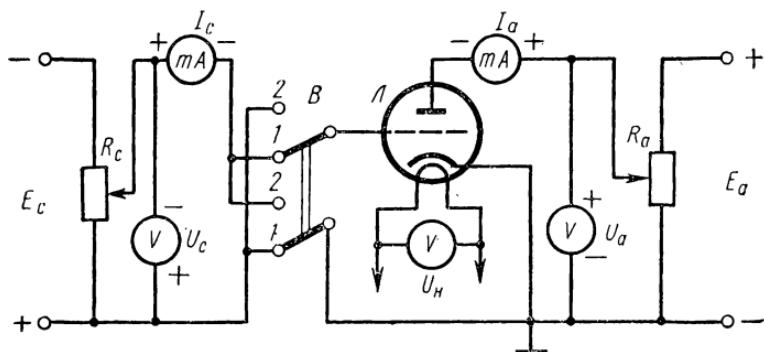


Рис. 2.1. Схема исследования триода

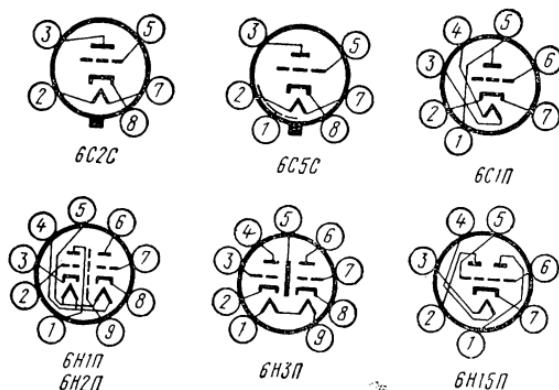


Рис. 2.2. Цоколевка триодов

Миллиамперметр и вольтметр анодной цепи — приборы магнитоэлектрической системы, имеющие шкалу, соответствующую измеряемым токам и напряжениям. При включении этих приборов в цепь необходимо соблюдать полярность. Потенциометр R_a имеет сопротивление порядка 3000—5000 Ом и рассчитан на ток порядка 0,15 А.

Сеточная цепь по существу повторяет анодную и имеет источник напряжения E_c на 20—30 В, потенциометр R_c для регулировки сеточного напряжения (1500—2000 Ом), вольтметр и миллиамперметр со шкалами соответственно 0—30 В и 0—5 мА.

Таблица 2.1

Основные данные триодов

Обозна- чение	Накал		Анод		Параметры		
	U_H , В	I_H , А	U_a , В	I_a , мА	μ	$S, \text{mA/B}$	$R_i, \text{Ом}$
6С2С	6,3	0,3	250	9	20,5	2,55	8050
6С5С	6,3	0,3	250	8	20,0	2,2	9000
6С1П	6,3	0,15	250	6,1	26,0	2,25	11600
6Н1П	6,3	0,6	250	7,5	35	2,7	11000
6Н2П	6,3	0,34	250	2,3	97,5	2,1	50000
6Н3П	6,3	0,35	150	8,5	37	5,9	6250
6Н15П	6,3	0,45	100	9	38	5,6	6800

Примечания:

- Для двойных триодов данные относятся к одной половине лампы.
- При исследовании двойных триодов в схему рис. 2.1 включается только один триод.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

- Сборка и опробование схемы.
- Снятие статических анодно-сеточных характеристик.
- Снятие статических анодных характеристик.
- Построение анодно-сеточных и анодных характеристик и определение параметров триода.

Сборка и опробование схемы

Исследуемый триод, источники питания, измерительные приборы и потенциометры собирают по схеме рис. 2.1. После проверки собранную схему опробуют. Для этого включают источники питания и, изменяя потенциометром R_c напряжение на сетке при неизменном анодном напряжении (порядка 100—150 В), следят за показаниями миллиамперметра в анодной цепи. Затем при неизменном напряжении на сетке (порядка $-2 \div -4$ В) потенциометром R_a изменяют анодное напряжение и следят за изменениями анодного тока триода. При правильном подборе миллиамперметра в анодной цепи его показания должны

изменяться в пределах, достаточных для снятия анодно-сеточных и анодных характеристик.

После этого проверяют, как изменяется величина сеточного тока триода при изменениях сеточного напряжения. Для этого переключатель B в сеточной цепи триода устанавливают в такое положение, при котором на сетку подается положительное относительно катода напряжение. Изменяя сопротивление резистора R_c следят за показаниями миллиамперметра в сеточной цепи. Если стрелка прибора отклоняется незначительно, необходимо подобрать миллиамперметр с другой шкалой или заменить его микроамперметром.

Снятие статических анодно-сеточных характеристик

При снятии статических анодно-сеточных характеристик в табл. 2.2, заготовленную ранее, записывают показания приборов, установленных в анодной и сеточной цепях.

Таблица 2.2

$$I_a = f(U_c) \text{ и } I_c = f_1(U_c) \text{ при } U_n \text{ и } U_a = \text{const}$$

Тип лампы...

U_c , В	I_a , мА	I_c , мА	I_a , мА	I_c , мА	I_a , мА	I_c , мА
	$U_a = \dots, \text{ В}$		$U'_a = \dots, \text{ В}$		$U''_a = \dots, \text{ В}$	

Характеристики снимают при номинальном для данной лампы напряжении накала и трех значениях анодного напряжения U_a , U'_a и U''_a . Напряжение U'_a выбирается порядка 30—40%, а U''_a — порядка 60—70% от номинального анодного напряжения U_a . Наблюдения производят, начиная с такого отрицательного напряжения на сетке, при котором ток в анодной цепи отсутствует (примерно $-10 \div -15$ В). Напряжение U_c устанавливают потенциометром R_c и контролируют по вольтметру. При помощи потенциометра R_a устанавливается напряжение U_a , которое поддерживается неизменным в процессе снятия анодно-сеточной характеристики. Напряжение на сетке изменяют через интервалы 1—2 В (в сторону 0), а затем через нулевое значение до положительного напряжения 4—6 В. При этом записывают показания миллиамперметров в анодной и сеточной цепи (сеточный

ток появляется при положительных потенциалах на сетке). Аналогичные наблюдения производят при анодном напряжении U_a' и U_a'' .

Снятие статических анодных характеристик

Перед снятием характеристик заготавливают табл. 2.3.

Таблица 2.3

$I_a = \varphi(U_a)$ и $I_c = \varphi_1(U_a)$ при U_h и $U_c = \text{const}$

Тип лампы...

U_a , В	I_a , мА	I_c , мА	I_a , мА	I_c , мА	I_a , мА	I_c , мА	I_a , мА	I_c , мА
	$U_c = \dots$, В	$U_c' = \dots$, В	$U_c'' = \dots$, В	$U_c''' = \dots$, В	$U_c'''' = \dots$, В	$U_c''''' = \dots$, В	$U_c'''''' = \dots$, В	$U_c''''''' = \dots$, В

Характеристики снимают при номинальном для данной лампы напряжении накала U_h . Вначале на управляющую сетку подают отрицательное относительно катода напряжение U_c (например, -4 В). Изменяя анодное напряжение через интервалы в $10-20$ В от нуля до максималь-

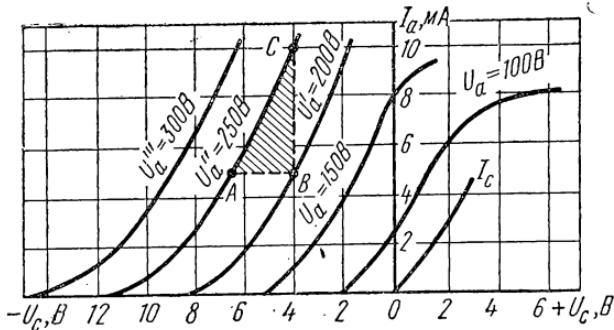


Рис. 2.3. Семейство анодно-сеточных характеристик триода

ного значения, снимают показания приборов для каждого значения анодного напряжения и записывают их в табл. 2.3. Аналогичные характеристики снимают для других значений сеточного напряжения (например, $U_c' = -2$ В; $U_c'' = 0$ В; $U_c''' = +2$ В).

Следует помнить, что при положительном сеточном напряжении в цепи сетки проходит сеточный ток I_c , величина которого зависит от анодного напряжения. Поэтому

во время снятия анодной характеристики при положительном сеточном напряжении необходимо с помощью потенциометра R_c поддерживать напряжение U_c неизменным.

Построение анодно-сеточных и анодных статических характеристик. Определение параметров триода

Анодно-сеточные и анодные статические характеристики строят на основании результатов, записанных в табл. 2.2 и 2.3. Примерный вид этих характеристик показан на рис. 2.3 и 2.4.

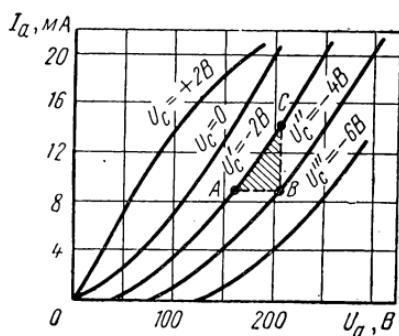


Рис. 2.4. Семейство анодных характеристик триода

Определение параметров триода производят в семействе анодно-сеточных и анодных статических характеристик для некоторой произвольно выбранной точки A , лежащей на прямолинейной части одной из этих характеристик, построением характеристических треугольников. Результаты

сравнивают между собой и с данными табл. 2.1 или справочника по электровакуумным приборам.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого триода и схему его цоколевки;
- 3) схему для снятия характеристик с кратким описанием ее основных элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) статические характеристики триода:

$$I_a = f(U_c) \text{ и } I_c = f_1(U_c) \text{ при } U_a \text{ и } U_n = \text{const};$$

$$I_a = \varphi(U_a) \text{ и } I_c = \varphi_1(U_a) \text{ при } U_c \text{ и } U_n = \text{const};$$

- 6) расчет параметров триода S , R_i и μ ;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕТРОДОВ И ПЕНТОДОВ

Цель работы — исследование свойств тетрода и пентода сравнением их характеристик и параметров.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 61—80; Л. 3, стр. 113—125; Л. 4, стр. 73—79; 88—89].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструкции, условных обозначениях и маркировке тетродов и пентодов.
2. Объясните назначение экранирующей сетки в тетроде и пентоде.
3. Что такое динатронный эффект в тетроде?
4. Напряжение на экранирующей сетке тетрода $U_{c2}=100$ В. При каком анодном напряжении в лампе наблюдается явление динатронного эффекта?
5. Чем отличаются анодные характеристики пентода и тетрода?
6. Как изменится положение анодно-сеточной статической характеристики пентода при увеличении напряжения на экранирующей сетке?
7. Зависит ли крутизна характеристики лампы от количества сеток?
8. Почему коэффициент усиления и внутреннее сопротивление у пентода больше, чем у триода?
9. Дайте сравнительную характеристику ламп типа 6Ж4П и 6К4П.
10. Расскажите о применении тетродов и пентодов в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые приборы

Схема исследования тетрода и пентода приведена на рис. 3.1. Для исследования свойств четырехэлектродной лампы и наблюдения динатронного эффекта можно использовать пентод в тетродном включении. Для этого защитную сетку пентода необходимо присоединить к экранирующей сетке. Это возможно лишь в том случае, когда пентод имеет самостоятельный вывод защитной сетки. При исследовании пентода в обычном включении вывод его защитной сетки должен быть соединен с катодом. В схеме рис. 3.1 переключение пентода из одного режима в другой осуществляется с помощью переключателя В (на-

пример, типа МТ-1). Подбор источника питания, измерительных приборов и потенциометров зависит от типа пентода. Номинальные электрические данные некоторых распространенных пентодов приведены в табл. 3.1. Цоколевка пентодов показана на рис. 3.2.

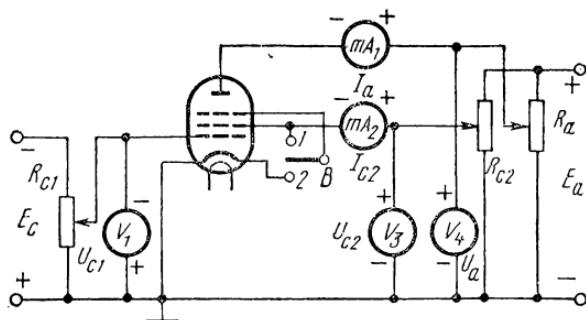


Рис. 3.1. Схема исследования тетрода и пентода

Таблица 3.1

Основные данные пентодов

Обозна- чение лампы	Накал		Анод		Экранирующая сетка	Параметры		
	U_H , В	I_H , мА	U_a , В	I_a , мА		I_{C2} , мА	S , мА/В	R_t , мОм
6Ж2П	6,3	170	120	5,5	120	5	3,85	0,08—0,31
6Ж4П	6,3	300	250	11	150	4,5	5,7	0,9
6Ж5П	6,3	450	300	10	150	2,5	9	0,5
6К4П	6,3	300	250	10	100	3,7	4,4	0,45

Из рис. 3.1 и 2.1 видно, что схемы для снятия характеристик тетрода и триода аналогичны. Добавлены только элементы, относящиеся к цепи экранирующей сетки:

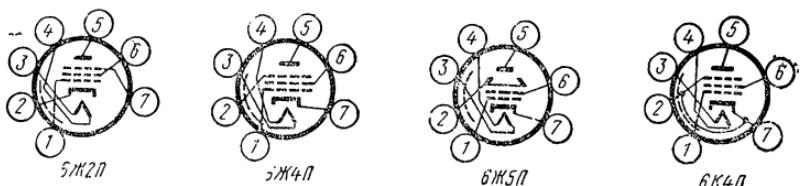


Рис. 3.2. Цоколевка пентодов

потенциометр R_{c2} , вольтметр и миллиамперметр. В процессе работы напряжение на управляющей сетки U_{c1} остается отрицательным относительно катода. Поэтому переключатель полярности напряжения U_{c1} в схеме рис. 3.1 отсутствует. Питание анодной цепи и цепи экранирующей сетки пентода осуществляется от одного источника, э. д. с. которого E_a выбирается в зависимости от типа пентода в пределах 200—300 В. Источник напряжения на управляющей сетке имеет э. д. с. E_c порядка 10—15 В.

Все перечисленные напряжения, так же как и напряжение накала, можно получить от универсального источника питания типа УИП-1 (см. приложение I).

Потенциометры R_a , R_{c2} и R_{c1} должны иметь сопротивления порядка нескольких килоом и выдерживать токи порядка десятков миллиампер.

Все измерительные приборы схемы — магнитоэлектрические. Верхние пределы измерения напряжений и токов подбирают в зависимости от типа лампы. При включении приборов необходимо соблюдать полярность (см. рис. 3.1).

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие анодных статических характеристик пентода в тетродном включении.
3. Снятие анодных статических характеристик пентода в обычном включении.
4. Снятие анодно-сеточных статических характеристик пентода.
5. Построение анодных и анодно-сеточных статических характеристик.
6. Определение параметров пентода.

Сборка и опробование схемы

Исследуемый пентод, источники питания, измерительные приборы и потенциометры собирают по схеме рис. 3.1. После проверки собранной схемы приступают к ее опробованию. Вначале переключатель В устанавливают в положение 1 (тетродное включение). Затем вклю-

чают источники питания. На управляющей сетке потенциометром R_{c1} устанавливают небольшое отрицательное напряжение (например, -2 В). На экранирующую сетку подается напряжение порядка 80 — 100 В. Изменяя анодное напряжение U_a от нуля до максимально возможного значения, следят за показаниями миллиамперметров в анодной цепи и в цепи экранирующей сетки. Они должны изменяться в пределах, достаточных для снятия анодных статических характеристик. После этого переключатель B устанавливают в положение 2 (пентодное включение) и повторяют опробование схемы в описанной последовательности.

Для проверки работы схемы в режиме снятия анодно-сеточных характеристик потенциометром R_a устанавливают напряжение U_a порядка 150 — 200 В. На экранирующую сетку подается примерно 40 — 50% напряжения анода. Затем изменяют напряжение U_{c1} на управляющей сетке (от напряжения запирания до 0) и следят за показаниями миллиамперметров в анодной цепи и в цепи экранирующей сетки.

Снятие анодных статических характеристик пентода в тетродном включении

Переключатель B устанавливают в положение 1.

Характеристики снимают при номинальном для данной лампы напряжении накала U_n , постоянном напряжении на экранирующей сетке U_{c2} (порядка 80 — 100 В) и постоянном отрицательном напряжении U_{c1} на управляющей сетке (например, -2 В). Изменяя напряжение на аноде через 10 В от нуля до максимального значения, записывают показания приборов в табл. 3.2.

Таблица 3.2

$I_a = \varphi(U_a)$ и $I_{c2} = \varphi_1(U_a)$ при U_n , U_{c1} и $U_{c2} = \text{const}$

Тип лампы...

U_a , В	I_a , мА	I_{c2} , мА
$U_n = \dots$, В; $U_{c1} = \dots$, В; $U_{c2} = \dots$, В.		

Снятие анодных статических характеристик пентода в обычном включении

Переключатель B устанавливается в положение 2. При этом защитная сетка лампы соединяется с катодом. Наблюдения производятся в такой же последовательности, как и при снятии анодных статических характеристик пентода в тетродном включении. Результаты наблюдений записывают в таблицу наблюдений, аналогичную табл. 3.2.

Снятие анодно-сеточных статических характеристик пентода

Показания измерительных приборов записывают в табл. 3.3

Таблица 3.3

$$I_a = f(U_{c1}), I_{c2} = f_1(U_{c1}) \text{ при } U_n, U_a \text{ и } U_{c2} = \text{const}$$

Тип лампы...

U_{c1} , В	I_a , мА	I_{c2} , мА	I_a , мА	I_{c2} , мА
	$U_a = \dots, B; U_{c2} = \dots, B$		$U'_a = \dots, B; U'_{c2} = \dots, B$	

Анодно-сеточные статические характеристики пентода снимают при постоянных напряжениях U_n , U_a и U_{c2} начиная с максимального отрицательного напряжения U_{c1} на управляющей сетке, при котором отсутствует ток в цепи анода. Величина U_{c1} может быть порядка -8 , -10 В (в зависимости от типа лампы). Это напряжение подбирают с помощью потенциометра R_{c1} и контролируют вольтметром V_1 . Напряжение U_a порядка 150 — 200 В, устанавливают потенциометром R_a . Напряжения на экранирующей сетке U_{c2} и U'_{c2} —потенциометром R_{c2} и проверяют по вольтметру V_3 в цепи экранирующей сетки. Ориентировочно эти напряжения могут иметь значения $U_{c2}=80$ В, $U'_{c2}=120$ В. Изменяя напряжение на управляющей сетке в сторону нуля через $0,5$ — 1 В, записывают показания приборов в таблицу наблюдений.

Построение анодных и анодно-сеточных статических характеристик

Анодные и анодно-сеточные характеристики строят на основании результатов табл. 3.2 и 3.3. Примерный вид этих характеристик показан на рис. 3.3 и 3.4.

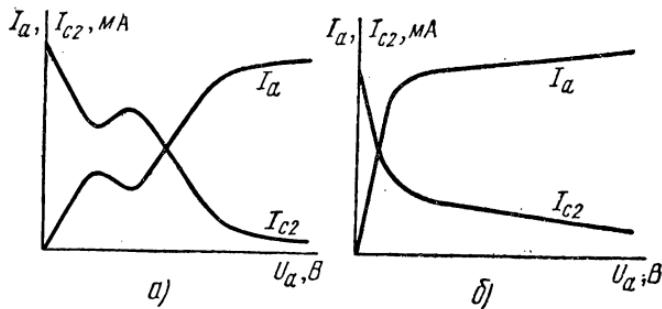


Рис. 3.3. Статические анодные характеристики тетрода (а) и пентода (б)

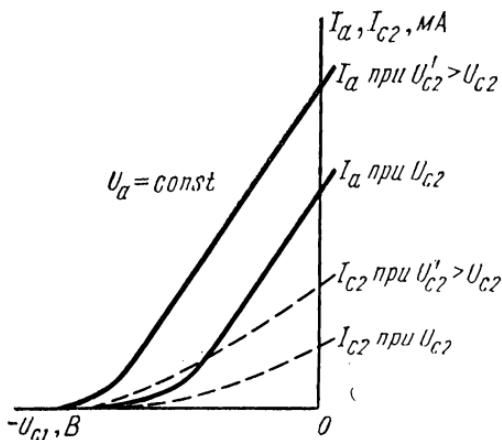


Рис. 3.4. Анодно-сеточные характеристики пентода

Определение параметров пентода

Статические параметры пентода S , R_i и μ определяют на графике анодно-сеточных характеристик построением характеристического треугольника. Полученные результаты сравнивают с данными справочника для исследуемой лампы и при несовпадении величин определяют причины, вызвавшие расхождения.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;

- 2) таблицу основных данных исследуемой лампы и схему цоколевки;
- 3) схему для снятия характеристик с кратким описанием ее основных элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) статические характеристики лампы (в тетродном и пентодном включении);
- 6) расчет статических параметров пентода S , R_i и μ ;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТАБИЛИТРОНА

Цель работы — изучение принципа действия стабилитрана тлеющего разряда, снятие его вольтамперной характеристики и определение основных параметров.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 282—289; Л. 3, стр. 198—201; Л. 4, стр. 147—150].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о видах электрического разряда в газе.
2. Постройте и объясните вольтамперную характеристику двухэлектродного ионного прибора.
3. Укажите особенности режима нормального тлеющего разряда и объясните физический смысл процесса стабилизации напряжения.
4. Расскажите об особенностях конструкции стабилитрана (по сравнению с вакуумным диодом).
5. Для чего в цепь стабилитрана включается ограничительное сопротивление и как определяется его величина?
6. Укажите основные параметры стабилитранов тлеющего разряда.
7. Как определяется коэффициент стабилизации по напряжению?
8. Чем отличаются стабилитраны тлеющего и коронного разрядов?
9. Расскажите о применении стабилитранов в электронных схемах.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

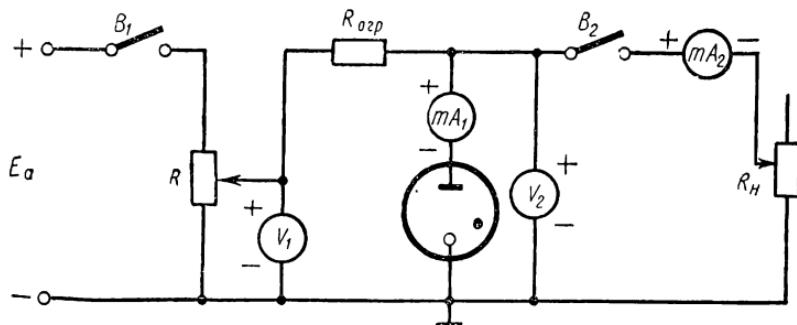


Рис. 4.1. Схема исследования стабилитрона

Схема для снятия вольтамперной характеристики стабилитрона приведена на рис. 4.1.

Основные данные типичных стабилитронов тлеющего разряда приведены в табл. 4.1, а их цоколевка на рис. 4.2.

Таблица 4.1

Основные данные стабилитронов тлеющего разряда

Тип стабилитрона	Напряжение горения, В	Напряжение зажигания, В	Пределы изменения тока через стабилитрон, мА	Максимальная высота, мм	Максимальный диаметр, мм
СГ1П	145—160	175—190	5—30	35	19
СГ2П	104—112	133—150	—	—	—
СГ3П	144—149	170	5—40	—	—
СГ5Б	142—157	180—190	5—10	76	10,2
СГ13П	143—158	175—180	5—30	65	19
СГ16П	80—86	130	—	—	—
СГ201С	86—92	150	4—15	64	33
СГ202Б	81—87	135—140	1,5—5	81	10

Элементы схемы и измерительные приборы подбираются в зависимости от типа исследуемого стабилитрона. Источник постоянного напряжения E_a должен иметь

э.д.с. порядка 300 В. Миллиамперметры mA_1 и mA_2 и вольтметры V_1 и V_2 — магнитоэлектрической системы. Пределы измерений этих приборов зависят от величин рабочих напряжений и токов, характерных для выбранного типа стабилитрона (см. табл. 4.1). Так, при исследовании стабилитронов СГ1П, СГ2П, СГ5Б, СГ13П можно использовать вольтметры V_1 и V_2 с пределами измерений 300 В, а миллиамперметры mA_1 и mA_2 , рассчитанные на измерение токов до 30 мА.

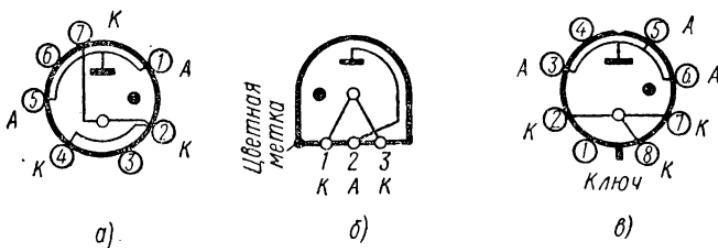


Рис. 4.2. Цоколевка стабилитронов:
а — СГ1П; СГ2П; СГ3П; СГ13П; СГ16П; б — СГ5Б; СГ202Б; в — СГ201С.

Величина сопротивления ограничительного резистора

$$R_{\text{огр}} = \frac{E_a - U_{\text{ст}}}{I_{\text{н}} + I_{\text{ст}}}, \quad (4.1)$$

где E_a — э.д.с. источника питания; $U_{\text{ст}}$ — напряжение стабилизации исследуемого стабилитрона; $I_{\text{н}}$ — ток нагрузки; $I_{\text{ст}}$ — ток через стабилитрон.

Обычно величина $R_{\text{огр}}$ достигает нескольких килоом.

Переменные резисторы — потенциометр R и реостат $R_{\text{н}}$ должны иметь сопротивление порядка нескольких килоом и выдерживать токи порядка 0,1 А. В качестве выключателей B_1 и B_2 можно использовать тумблеры или кнопочные переключатели.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие вольтамперной характеристики стабилитрона при отключенном нагрузочном сопротивлении.
3. Построение вольтамперной характеристики.

4. Изучение работы стабилитрона с нагрузочным сопротивлением.

5. Определение основных параметров стабилитрона — напряжений зажигания и горения (стабилизации), пределов изменения тока и коэффициента стабилизации.

Сборка и опробование схемы

После подбора элементов схемы и измерительных приборов собирают схему исследования стабилитрона в соответствии с рис. 4.1. Собранную схему проверяют и опробуют. Вначале проверяют возможность зажигания стабилитрона и получения режима стабилизации при отключенном сопротивлении R_h (переключатель B_2 разомкнут). Замыкают контакты B_1 и потенциометром R плавно увеличивают напряжение на стабилитроне. Момент зажигания определяют по появлению тока в цепи стабилитрона, возникновению свечения газа внутри баллона прибора и скачкообразному падению напряжения на стабилитроне. Изменение входного напряжения изменяет ток через стабилитрон, но (в определенных пределах изменения тока) не нарушает постоянства напряжения горения стабилитрона. Затем замыкают контакты B_2 и проверяют влияние величины сопротивления и тока нагрузки на величину напряжения на нагрузке в режиме горения стабилитрона и неизменном входном напряжении. Убеждаются в том, что в определенных пределах изменения тока нагрузки напряжение U_{R_h} практически не меняется.

Снятие вольтамперной характеристики

Предварительно заготавливают таблицу наблюдений 4.2.

Таблица 4.2

$$U = f(I_{ct})$$

Стабилитрон типа...

I_{ct} , мА						
U , В						

Перед снятием вольтамперной характеристики определяют напряжение зажигания исследуемого стабилитрона. Включают контакт B_1 (контакты B_2 разомкнуты). Плавно увеличивают входное напряжение и замечают его величину в момент зажигания. Учитывая свойственный ионным приборам разброс параметров, а также трудности точного визуального определения момента зажигания прибора, измерения повторяют 3—4 раза и берут среднее арифметическое значение величины $U_{заж}$. После зажигания увеличивают входное напряжение и следят за изменениями тока в цепи стабилитрона и напряжения на нем (по вольтметру V_2). Данные наблюдения записывают в табл. 4.2.

Построение вольтамперной характеристики

По данным табл. 4.2 в прямоугольной системе координат строят зависимость $U = f(I_{ст})$. Примерный вид вольтамперной характеристики стабилитрона показан на рис. 4.3.

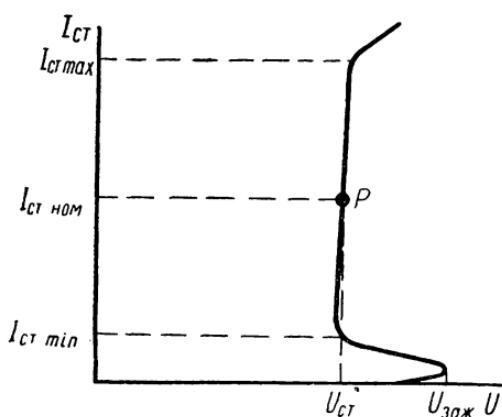


Рис. 4.3. Вольтамперная характеристика стабилитрона

Необходимо обратить внимание на то, что по оси абсцисс откладывают значение напряжения, а по оси ординат — значения тока.

Изучение работы стабилитрона с нагрузочным сопротивлением

Для определения влияния нагрузочного сопротивления R_H на работу стабилитрона замыкают контакты B_2 . Движок реостата R_H устанавливают в среднее положение. Плавно увеличивая напряжение между анодом и катодом стабилитрона потенциометром R , добиваются зажигания прибора. Затем, при неизменном входном напряжении изменяют ток нагрузки I_H реостатом R_H и снимают зависимость $U_{R_H} = f_1(I_H)$. Данные наблюдений записывают в табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3

$U_{R_H} = f_1(I_H)$ при $E_a = \dots, B = \text{const}$

I_H , мА						
U_{R_H} , В						

После построения в прямоугольной системе координат графика по данным табл. 4.3 убеждаются в том, что в определенных пределах изменения тока нагрузки выходное напряжение остается практически постоянным.

Определение основных параметров стабилитрона

В процессе снятия вольтамперной характеристики стабилитрона определяют значения напряжений зажигания и горения (стабилизации), а также пределы изменения тока стабилизации (при отключенном нагрузочном сопротивлении). Найденные значения указанных параметров сверяются с паспортными данными исследуемого стабилитрона. Коэффициент стабилизации по напряжению

$$K_{ct} = \frac{\Delta E_a}{E_a} : \frac{\Delta U_{R_H}}{U_{R_H}}, \quad (4.2)$$

где $\frac{\Delta E_a}{E_a}$ — относительное изменение входного напря-

жения; $\frac{\Delta U_{R_h}}{U_{R_h}}$ — относительное изменение выходного напряжения.

Для определения $K_{ст}$ необходимо замкнуть контакты B_1 и B_2 и при неизменном сопротивлении нагрузки R_h зажечь стабилитрон. Записав значения E_a и U_{R_h} , соответствующие режиму горения стабилитрона, изменяют E_a на некоторую величину ΔE_a и следят за изменением напряжения U_{R_h} . Найденные значения E_a , U_{R_h} , ΔE_a и ΔU_{R_h} подставляют в формулу 4.2. Наблюдения повторяют 3—4 раза и определяют среднее значение $K_{ст}$.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого стабилитрона и его цоколевку;
- 3) схему исследования с краткой характеристикой ее элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) вольтамперные характеристики;
- 6) расчет коэффициента стабилизации по напряжению;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ И СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРАТРОНА

Цель работы — изучение свойств и снятие пусковой характеристики тиаратрона тлеющего разряда.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 121—127; Л. 3, стр. 201—205; Л. 4, стр. 150—157].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструкции, принципе работы, условных обозначениях и маркировке тиаратронов тлеющего разряда.

2. Объясните назначение сетки тиаратрона триодного типа. Почему сетку тиаратрона часто называют пусковым электродом?
3. Укажите особенности тиаратронов тетродного типа.
4. Начертите и объясните схему включения тиаратрона.
5. Изменится ли величина анодного тока в «горящем» тиаратроне при увеличении напряжения на пусковом электроде?
6. Начертите и объясните пусковую характеристику тиаратрона.
7. Укажите основные параметры тиаратронов тлеющего разряда.
8. Расскажите о применении тиаратронов тлеющего разряда в различных областях техники.
9. Каковы преимущества тиаратронов с холодным катодом по сравнению с другими коммутирующими приборами?

Схема исследования, необходимые приборы

Схема исследования тиаратрона показана на рис. 5.1. Основные данные некоторых тиаратронов тлеющего разряда приведены в табл. 5.1, а их цоколевка — на рис. 5.2.

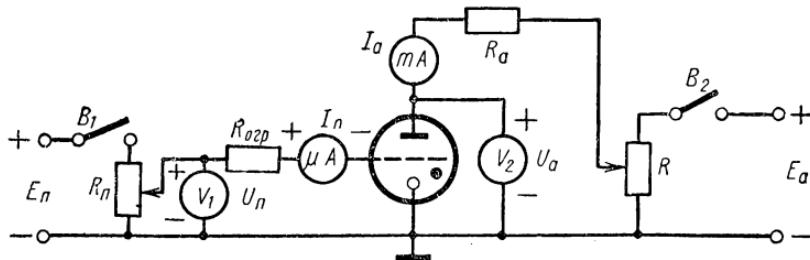


Рис. 5.1. Схема исследования тиаратрона тлеющего разряда

Таблица 5.1

Основные данные некоторых тиаратронов тлеющего разряда

Обозначение прибора	Рабочий диапазон напряжения зажигания в цепи анода, В	Напряжение горения, В		Ток зажигания в цепи сетки (пускового электрода), мкА	Амплитуда входного импульса, В	Средний ток в цепи анода, мА	Амплитуда импульса анодного тока, мА	Высота максимальная (с выводами), мм	Диаметр максимальный, мм
		в цепи анода	в цепи подогрева						
MTX-90	85—200	50—65	70—85	≤100	1,5—15	2—7	35	42	12
TX4Б	125—250	110—125	85—95	≤10—50	15	3,5	7	80	10,2
TX8Г	270—300	130—140	115—125	≤100	100	1	2	90	13

Элементы схемы рис. 5.1 подбирают в зависимости от параметров исследуемого тиаратрона. Источник анодного напряжения должен иметь э.д.с. E_a порядка 300 В. Э.д.с. источника напряжения на пусковом электроде E_p можно выбрать в пределах 120—150 В. В качестве источников питания для схемы желательно использовать выпрямители со стабилизацией напряжения, например типа УИП-1 (см. приложение I).

Измерительные приборы для контроля величин напряжений и токов выбираются магнитоэлектрической системы. Шкалы приборов выбираются в соответствии с ве-

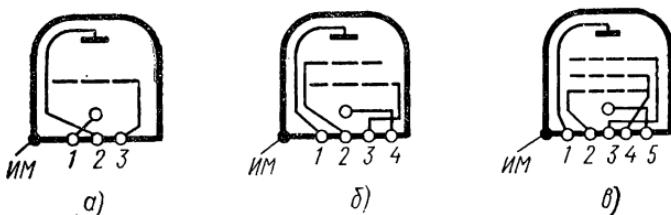


Рис. 5.2. Цоколевки тиаратронов тлеющего разряда:
а — МТХ-90; б — ТХ4Б; в — ТХ8Г

личинами токов и напряжений и зависят от типа исследуемого тиаратрона. Так, при исследовании тиаратрона типа МТХ-90 можно использовать следующие приборы: миллиамперметр для измерения тока анода на 30 мА; вольтметр для измерения анодного напряжения на 300 В; микроамперметр для измерения тока в цепи пускового электрода на 100 мкА; вольтметр для измерения напряжения на пусковом электроде на 150 В.

Потенциометры R_p и R должны иметь сопротивление порядка нескольких килоом и выдерживать токи порядка 0,1 А. Ограничительное сопротивление $R_{огр}$ выбирается такой величины, чтобы в пределах изменения напряжения U_p пусковой ток не превышал нескольких десятков микроампер. Отсюда следует, что резистор $R_{огр}$ имеет величину сопротивления порядка единиц и даже десятков МОм. Резистор R_a ограничивает анодный ток тиаратрона, который не должен превышать максимально допустимую для данного типа тиаратрона величину (см. табл. 5.1). Обычно сопротивление резистора R_a выбирается порядка десятков или сотен килоом.

Для исследования тиаратрона МТХ-90 выбираются потенциометры R_p и R на 5000 Ом, 0,2 а; резистор R_a —

типа МЛТ-1, $10 \text{ кОм} \pm 10\%$; резистор $R_{\text{огр}}$ — типа МЛТ-0,25, $3 \text{ МОм} \pm 5\%$. Для включения источников питания используются переключатели B_1 и B_2 .

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие пусковой характеристики тиратрона.
3. Построение пусковой характеристики.
4. Определение коэффициентов усиления тиратрона по току и мощности.

Сборка и опробование схемы

После ознакомления с основными параметрами исследуемого тиратрона и подбора необходимых элементов схемы рис. 5.1, приступают к ее сборке. Собранную схему проверяют и опробуют. Опробование ведется в такой последовательности: при разомкнутых контактах B_1 включают источник анодного питания и, плавно увеличивая напряжение U_a , добиваются зажигания тиратрона (момент зажигания определяется визуально и по появлению тока в анодной цепи); величина тока I_a не должна превышать максимально допустимой для данного типа тиратрона величины, иначе в анодную цепь следует включить более высокоомный резистор R_a ; погасить тиратрон (разомкнуть контакты B_2); включив контакт B_1 , установить в сеточной цепи тиратрона небольшой пусковой ток (порядка $5—10 \text{ мА}$).

Убедившись, что с помощью резистора $R_{\text{пп}}$ можно изменять ток $I_{\text{пп}}$ в пределах от единиц до десятков микроампер. Уточнить величину сопротивления резистора $R_{\text{огр}}$ с тем, чтобы максимальный пусковой ток не превышал $50—60 \text{ мА}$.

Снятие пусковой характеристики тиратрона

Перед снятием пусковой характеристики заготавливают табл. 5.2.

Вначале движок потенциометра $R_{\text{пп}}$ устанавливают в положение, при котором пусковой ток $I_{\text{пп}}=0$ (для этого можно также разорвать цепь сетки с помощью переключателя B_1). Затем включают источник анодного питания

Таблица 5.2

$$U_{a, \text{заж}} = f(I_{\text{п}})$$

Тиратрон типа...

Пусковой ток, $I_{\text{п}}$, мкА				
Напряжение зажигания $U_{a, \text{заж}}, \text{В}$				

и потенциометром R увеличивают напряжение до зажигания тиратрона. Напряжение $U_{a, \text{заж}}$ показываемое вольтметром в момент зажигания, записывают в таблицу наблюдений. После определения напряжения зажигания движок потенциометра R следует установить в положение, при котором вольтметр V_2 покажет нуль. Тиратрон при этом гаснет. Дальнейшие измерения производят в такой последовательности. С помощью потенциометра $R_{\text{п}}$ устанавливают по микротомметру значение пускового тока $I_{\text{п}}$ порядка 5 мкА. После этого потенциометром R повышают напряжение на аноде тиратрона до зажигания. Напряжение зажигания

тиратрона для тока $I_{\text{п}}=5$ мкА записывают в таблицу наблюдений. Затем опять гасят тиратрон и устанавливают в цепи сетки пусковой ток порядка 10 мкА. Находят напряжение зажигания тиратрона, соответствующее этому току. Аналогичные измерения производят для тока $I_{\text{п}}=15, 20, 25, 30, 40$ и 50 мкА. Результаты измерений записывают в таблицу наблюдений. В процессе наблюдения следует убедиться, что при зажигании тиратрона напряжение на его аноде резко (скакком) падает и дать объяснение этому явлению.

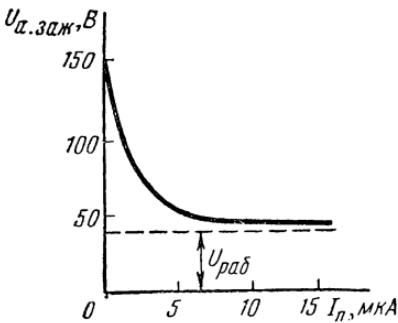


Рис. 5.3. Пусковая характеристика тиратрона

Построение пусковой характеристики тиратрона

Пусковая характеристика тиратрона строится по данным таблицы наблюдений в прямоугольной системе ко-

ординат. По оси ординат откладываются значения напряжения зажигания, а по оси абсцисс — величины пускового тока. Примерный вид пусковой характеристики показан на рис. 5.3.

Определение коэффициентов усиления тиратрона по току и мощности

Тиратрон дает возможность управлять сравнительно большим током в анодной цепи при весьма малом пусковом токе в цепи сетки, это позволяет рассматривать его как усилитель тока и мощности. Для определения коэффициента усиления тиратрона по току следует найти, во сколько раз ток анодной цепи тиратрона превышает пусковой ток в цепи сетки.

Измерения производят в режиме горения при nominalном для данного типа тиратрона пусковом токе. Коэффициент усиления по току

$$K_i = \frac{I_a}{I_{\pi}}.$$

Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_a}{P_{\pi}} = \frac{I_a^2 R_a}{I_{\pi} U_{\pi}}.$$

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать.

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого тиратрона и схему его цоколевки;
- 3) схему для снятия характеристик тиратрона с краткой характеристикой элементов схемы;
- 4) таблицу наблюдений;
- 5) график пусковой характеристики;
- 6) расчет коэффициентов усиления тиратрона по току и мощности;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

СНЯТИЕ СВЕТОВЫХ И ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ И ФОТОРЕЗИСТОРОВ

Цель работы — изучение принципов работы фотоэлементов и фоторезисторов и снятие их характеристик.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 131—135; 138—141; Л. 3, стр. 342—347; 351—357; Л. 4, стр. 178—188; 211—217].

Контрольные вопросы

1. Объясните основные законы фотоэффекта.
2. Расскажите о конструкции, маркировке и условных обозначениях фотоэлементов и фоторезисторов.
3. Дайте сравнительную характеристику вакуумных и газонаполненных фотоэлементов.
4. Назовите достоинства и недостатки фоторезисторов.
5. Что такое интегральная и спектральная чувствительность фотоэлемента?
6. Начертите и поясните основные характеристики фотоэлементов и фоторезисторов.
7. Назовите основные параметры фотоэлементов и фоторезисторов.
8. Укажите размерность удельной чувствительности фоторезисторов.
9. Расскажите о применении фотоэлементов и фоторезисторов в электронных схемах.

Схема исследования, необходимые приборы

Схемы для исследования фотоэлемента и фоторезистора приведены на рис. 6.1 и 6.3. Данные элементов схем

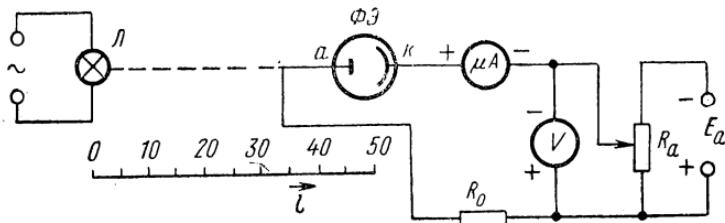


Рис. 6.1. Схема исследования фотоэлемента

подбираются с учетом основных параметров исследуемого фотоэлемента и фоторезистора. Их параметры приведены в табл. 6.1 и 6.3. Цоколевки типичных фотоэлементов приведены на рис. 6.2.

Для схемы рис. 6.1 напряжение анодного источника выбирается в соответствии с величиной рабочего напряжения фотоэлемента. Для большинства фотоэлементов (см. табл. 6.1) рабочее напряжение не превышает 300 В.

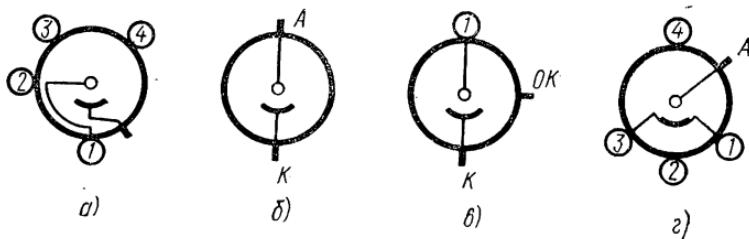


Рис. 6.2. Цоколевки фотоэлементов:
а — ЦГ-1; б — СЦВ-1; Ф-8; в — Ф-9; г — Ф-13

Поэтому в качестве источника E_a можно использовать выпрямитель с напряжением до 300 В (например УИП-1). При исследовании газонаполненных фотоэлементов анодное напряжение не должно превышать напряжение зажигания, так как при этом может возникнуть самостоятельный дуговой разряд, который приведет к быстрому разрушению фотокатода.

В качестве источника света (для обеих схем) можно использовать обычную электролампу на 60—100 Вт с патроном на передвижной подставке с делениями.

Лампу устанавливают на любом расстоянии от исследуемого прибора в пределах 1—1,5 м. Вольтметр для контроля напряжения — магнитоэлектрической системы со шкалой 0—300 В. Микроамперметр в цепи анода должен быть рассчитан на измерение постоянного тока порядка десятков микроампер. При включении этих приборов в схему необходимо соблюдать полярность.

Потенциометр R_a для регулирования анодного напряжения, рассчитан на 5000 Ом, 0,2 А. Резистор R_0 является ограничительным сопротивлением. Его следует включать при исследовании газонаполненных фотоэлементов. Этот резистор предохраняет микроамперметр от повреждения при случайном возникновении в фотоэлементе дугового разряда. Величина сопротивления R_0 — порядка 10 кОм.

Таблица 6.1

Основные данные некоторых фотоэлементов

Обозначение прибора	Напряжение на аноде (номинальное), В	Напряжение на аноде (пределочное), В	Чувствительность, мкА/лм	Темновой ток, А	Диаметр рабочей площадки катода, мм	Высота максимальная, мм	Диаметр максимальный, мм	Вес наибольший, г
ЦГ-1	200	300	75	10^{-7}	45	131	56	55
СЦВ-51	200	300	80	10^{-8}	30	63	30	14
Ф-8	150	300	80	10^{-8}	26	62	26	16
Ф-9	100	300	100	$3 \cdot 10^{-13}$	39	88	40	25
Ф-13	100	300	40	10^{-13}	25	50	49	35

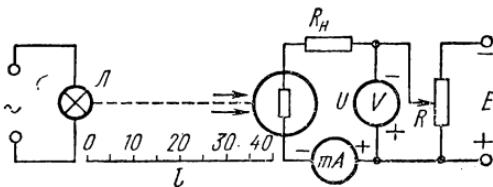


Рис. 6.3. Схема исследования фоторезистора

Для схемы исследования фоторезистора (см. рис. 6.3) напряжение источника питания выбирают в зависимости от величины рабочего напряжения исследуемого фоторезистора (см. табл. 6.2). Так, например, при исследовании фоторезистора типа СФ2-8 в качестве источника напряжения можно использовать выпрямитель на 150 В. Вольтметр и микроамперметр — магнитоэлектрической системы. Шкалы этих приборов выбирают с учетом величин измеряемых напряжений и токов. Потенциометр R должен иметь сопротивление, позволяющее плавно регулировать напряжение U , подводимое к фоторезистору. Величина сопротивления R и ток, на который должен быть рассчитан этот потенциометр, зависят от величины э.д.с. E источника питания. Так, например, при $E=150$ В потенциометр R должен иметь сопротивление порядка 3000 Ом и выдерживать ток порядка 0,1 А.

Сопротивление нагрузки R_H (МЛТ-0,25, 200 кОм $\pm 5\%$) одновременно выполняет роль ограничительного

Таблица 6.

Основные данные некоторых фоторезисторов

Тип фоторези- стора	Мощность рассея- ния, Вт	Рабочее напря- жение, В	Темновое сопро- тивление, МОм (не менее)	Темновой ток, мА (средне зна- чение)	Световой ток, мА	Кратность изме- нения сопротив- ления (не менее)	Удельная чувст- вительность, мА/лм.В	Интегральная чувствительность, А/лм.
ФСК-1	0,125	50	3,3	5	2	100	7	2,8
ФСК-2	0,125	100	3,3	10	1	20	1,6	0,5
ФСК-6	0,2	50	3,3	5	2	100	6	0,28
ФСД-1	0,05	20	2	1	3	150	30	—
ФСА-1	0,01	100	0,02	—	—	1,2	500	—
ФСА-6	0,01	30	0,05	—	—	1,2	500	—
СФ2-1	0,01	15	1,5	0,5	1	500	400	10
СФ2-2	0,05	2	2	0,5	1,5	500	75	0,36
СФ2-8	0,125	100	100	—	1	1000	—	—
СФ2-12	0,01	5	15	—	1,2	600	—	—
СФ2-16	0,01	10	3,3	—	0,3	100	—	—
СФ3-8	0,05	20	20	—	0,5	500	—	—

сопротивления, препятствующего резкому нарастанию тока при случайном повреждении фоторезистора.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы для исследования фотоэлемента.
2. Снятие световых характеристик фотоэлемента.
3. Снятие анодных характеристик фотоэлемента.
4. Сборка и опробование схемы для исследования фоторезистора.
5. Снятие световых характеристик фоторезистора.
6. Снятие вольтамперных характеристик фоторезистора.
7. Построение характеристик фотоэлемента и фоторезистора.

**Сборка и опробование схемы
для исследования фотоэлемента**

Подобрав элементы схемы для исследования заданного типа фотоэлемента, соединяют их между собой в со-

ответствии с рис. 6.1. Источник света устанавливают против окошка фотоэлемента на расстоянии 1—1,5 м. Для получения направленного светового луча можно использовать осветительную лампу с отражателем, форма и размеры которого подбираются опытным путем. После проверки собранной схемы включают источник анодного напряжения и устанавливают по вольтметру напряжение U_a , равное рабочему напряжению фотоэлемента. Осветительную лампу включают в сеть переменного тока и, передвигая ее в сторону фотоэлемента, следят за показаниями микроамперметра. Эти показания должны изменяться в пределах, достаточных для снятия световых характеристик. Если величина фототока изменяется неизначительно, то нужно взять более мощный источник света или более чувствительный микроамперметр. Затем осветительную лампу устанавливают на некотором произвольном расстоянии от фотоэлемента, и изменяя величину анодного напряжения, следят за изменениями фототока. Показания микроамперметра должны изменяться в пределах, достаточных для снятия анодных характеристик.

Снятие световых характеристик фотоэлемента

Для снятия световых характеристик фотоэлемента необходимо изменять величину светового потока и следить за изменениями фототока при неизменном анодном напряжении. Однако точно определить значения светового потока, падающего на катод фотоэлемента, сложно. Вместе с тем установлено, что величина светового потока F , падающего на фотокатод, связана с величиной светового потока источника света Φ , площадью катода S и расстоянием l между источником света и фотокатодом следующей зависимостью:

$$F = \frac{\Phi S}{4\pi l^2} \quad (6.1)$$

Учитывая, что величины Φ , S и 4π в процессе исследования не изменяются, зависимость $I_\Phi = f(F)$ можно выразить как $I_\Phi = f_1\left(\frac{1}{l^2}\right)$. Поэтому отпадает необходимость определения светового потока.

Для снятия световой характеристики фотоэлемента включают источник анодного напряжения и электролампу. Постепенно приближая лампу к фотоэлементу (например, через интервалы 0,1 м), записывают значение фототока. При этом значения l удобно выражать в метрах.

Наблюдения следует провести для двух различных значений анодного напряжения U_a и U_a' . Величины этих напряжений зависят от типа фотоэлемента и должны отличаться друг от друга примерно в 1,5 раза. Данные изменений записывают в табл. 6.3.

Таблица 6.3

$$I_\Phi = f_1 \left(\frac{1}{l_2} \right) \text{ при } U_a = \text{const}$$

Тип фотоэлемента...

$U_a = \dots, \text{ в}$	$U_a' = \dots, \text{ в}$	
$l, \text{ м} \left \frac{1}{l^2}, 1/\text{м}^2 \right I_\Phi, \text{ мкА}$	$l, \text{ м} \left \frac{1}{l_2}, 1/\text{м}^2 \right $	$I_\Phi, \text{ мкА}$

Снятие анодных характеристик фотоэлемента

Для снятия анодных характеристик фотоэлемента источник света устанавливают на некотором расстоянии l от фотоэлемента, которое определяется опытным путем. За изменениями фототока наблюдают изменения анодное напряжение от нуля до величины рабочего напряжения исследуемого фотоэлемента. Интервалы изменения анодного напряжения выбирают такими, чтобы получить 8—10 отсчетов значений фототока. Затем устанавливают источник света на некотором расстоянии l' от фотоэлемента и повторяют измерения для нового значения светового потока. Данные наблюдений записывают в табл. 6.4.

Таблица 6.4

$$I_\Phi = \varphi (U_a) \text{ при } l = \text{const}$$

Тип фотоэлемента...

$l = \dots, \text{ м}$	$l' = \dots, \text{ м}$	
$U_a, \text{ в} \quad \quad I_\Phi, \text{ мкА}$	$U_a, \text{ в} \quad \quad I_\Phi, \text{ мкА}$	

Сборка и опробование схемы для исследования фоторезистора

Элементы схемы для исследования фоторезистора соединяют между собой в соответствии с рис. 6.3. После проверки собранной схемы приступают к ее опробованию для того, чтобы убедиться в возможности снятия световых и вольтамперных характеристик фоторезистора. Опробование схемы производят в той же последовательности, как и для схемы исследования фотоэлемента. Необходимо обратить внимание на правильный выбор нагрузочного сопротивления R_h , от величины которого зависят результаты наблюдений.

Снятие световых характеристик фоторезистора

Снятие этих характеристик фоторезистора производится так же, как и снятие световых характеристик фотоэлемента. Зависимость $I_\Phi = \Phi\left(\frac{1}{l^2}\right)$ снимается для двух значений напряжений U и U' , подводимого к фоторезистору. Результаты измерений записывают в таблицу наблюдений, аналогичную табл. 6.3.

Снятие вольтамперных характеристик фоторезистора

Эти характеристики снимаются так же как анодные характеристики фотоэлемента. Зависимость $I_\Phi = \varphi_1(U)$ при $l = \text{const}$ наблюдается для двух значений светового потока, соответствующего двум расстояниям l и l' от источника света до фоторезистора. Данные измерений записывают в таблицу наблюдений, аналогичную табл. 6.4.

Построение характеристик фотоэлемента и фоторезистора

В прямоугольной системе координат по данным таблиц наблюдений строят световые и анодные (вольтамперные) характеристики фотоэлемента и фоторезистора. Примерный вид этих характеристик показан на рис. 6.4 и 6.5. Следует отметить, что на графиках световых характеристик по оси абсцисс откладываются величины $\frac{1}{l^2}$, пропорциональные значениям светового потока F , а

графики вольтамперных характеристик строятся для двух расстояний l и l' соответствующих двум значениям светового потока F и F' .

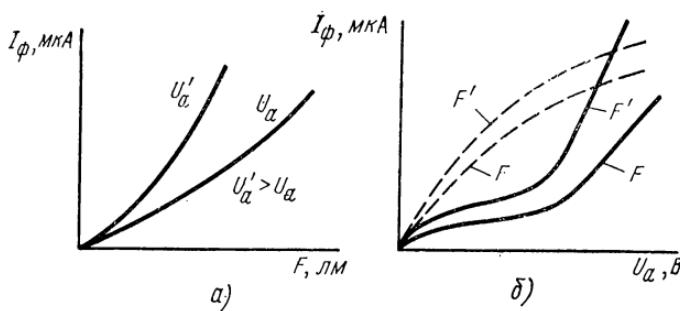


Рис. 6.4. Характеристики фотоэлемента:
а — световые; б — анодные

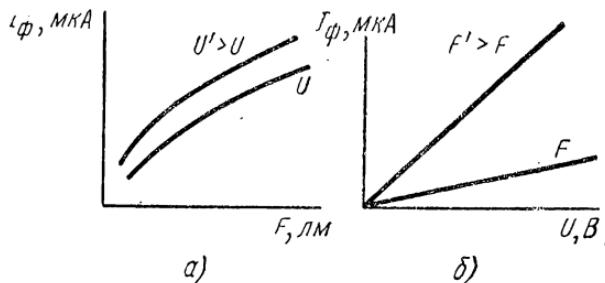


Рис. 6.5. Характеристики фотодиода:
а — световые; б — вольтамперные

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное название и цель работы;
- 2) таблицы основных данных исследуемого фотоэлемента и фотодиода;
- 3) схемы испытаний с краткой характеристикой входящих в них элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) световые и анодные (вольтамперные) характеристики фотоэлемента и фотодиода;
- 6) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ, СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОРЕЗИСТОРА

Цель работы — снятие вольтамперных и температурных характеристик терморезистора, определение температурного коэффициента сопротивления.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 193—198; Л. 4, стр. 196—197; 199—207].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструкциях, условном обозначении и маркировке терморезисторов.
2. Какие материалы используют для изготовления терморезисторов?
3. Постройте и объясните основные характеристики терморезисторов.
4. Назовите и объясните основные параметры терморезисторов.
5. Дайте краткую характеристику терморезисторов с положительным температурным коэффициентом сопротивления (позисторов).
6. Расскажите о применении терморезисторов в электронной аппаратуре.
7. Какие терморезисторы используются для измерения и регулирования температуры?
8. Какие терморезисторы используются для стабилизации напряжения?
9. Как влияет окружающая среда на работу терморезистора?
10. Сравните свойства полупроводниковых и металлических терморезисторов.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования терморезистора приведена на рис. 7.1. Элементы схемы подбираются в зависимости от параметров исследуемого терморезистора. Основные параметры некоторых терморезисторов приведены в табл. 7.1.

В качестве источника питания схемы можно использовать сеть переменного тока напряжением 220 В (или 127 В). Для снятия вольтамперной характеристики необходимо изменять величину тока, проходящего через терморезистор. Для этого в схеме можно использовать авто-

трансформатор Tp_1 (типа ЛАТР-2), позволяющий регулировать напряжение, подводимое к схеме, а следовательно, и ток в цепи. Добавочное сопротивление R_d , включенное последовательно с терморезистором, служит для ограничения тока, протекающего в цепи. Величина сопротивления резистора R_d уточняется при опробовании схемы. Необходимо учитывать, что мощность, подводимая к терморезистору и определяемая выражением $P_t =$

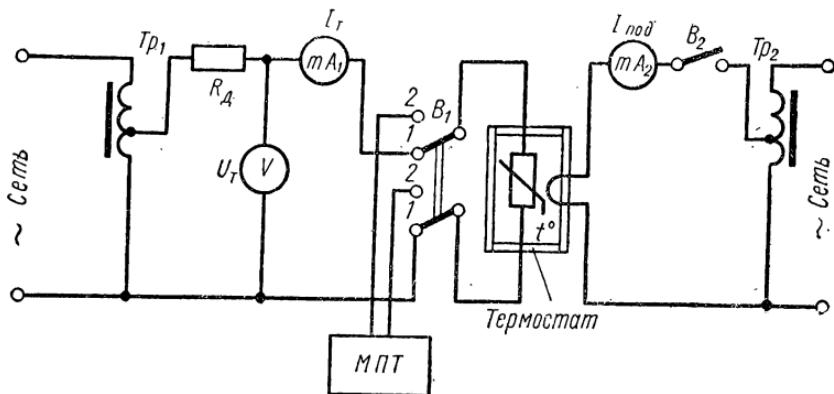


Рис. 7.1. Схема исследования терморезистора

$= U_t I_t$, в процессе работы не должна превышать максимально допустимого значения мощности рассеяния для данного типа терморезистора: $P_t \leq P_{t, \text{доп}}$. Миллиамперметры и вольтметр (электромагнитной системы) должны быть рассчитаны на измерение соответственно переменного тока (порядка десятков или сотен миллиампер) и напряжения (порядка нескольких десятков вольт). Пределы измерений приборов уточняются при опробовании схемы. Переключатель B_1 типа ТП1-2 или ВТ3 в положении 1 позволяет использовать схему для снятия вольт-амперных характеристик. Для их снятия при различных температурах терморезистор помещают в термостат. Для установления требуемой температуры в термостате, включают тумблер B_2 и с помощью автотрансформатора Tp_2 (ЛАТР-2) и миллиамперметра mA_2 через подогреватель пропускают определенный ток $I_{\text{под}}$. При снятии температурных характеристик терморезистор подключается на вход моста постоянного тока (МПТ). В этом случае переключатель B_1 устанавливают в положение 2.

Таблица 7.1

Основные данные некоторых типичных терморезисторов

Параметр	СТ1-17	ММТ-9	Т8С1М	ТП 6/2	СТ3-21
Интервал рабочих температур, °С	-60÷+100	-60÷+125	—	—	-60÷+85
Диапазон номинальных сопротивлений при 20°С, кОм	0,3—22	0,01—4,7	—	—	0,68—15
Сопротивление при 20°С, Ом	—	—	150	—	—
Номинальное напряжение, В	—	—	—	6	—
Рабочая область по току, мА	—	—	—	0,4—6	—
Общий предел стабилизации, В	—	—	—	4,2—7,8	—
Средний рабочий ток, мА	—	—	—	2	—
Максимальная мощность рассеяния, мВт	≤500	—	≤20	—	≤60
Мощность рассеяния при наибольшей рабочей температуре, мВт	≤0,1	≤2	—	—	—
Температурный коэффициент сопротивления, %/град	4,2—7	2,4—4	1—5,8	—	—
Постоянная В, °К	3600—6000	2060—2920	1500—5000	3900—15 800	3100—3600
Коэффициент рассеяния, мВт/град	10	—	—	—	—
Постоянная времени, с	≤30	—	0,5—2,5	—	15—40
Номинальное сопротивление подогревателя, Ом	—	—	—	—	100
Максимальный ток в цепи подогревателя, мА	—	—	—	—	25

Мост применяется для точного измерения сопротивлений терморезистора при различных температурах, устанавливаемых в термостате.

Внешний вид термостата показан на рис. 7.2. Термостат представляет собой прибор для установки и поддержания определенной температуры. Исследуемый термо-

резистор находится в дистиллированной воде, налитой в бачок термостата нагреваемой электрическим подогревателем. Температура определяется контрольными термометрами 1 с точностью до $0,05^{\circ}$. Выводы терморезистора подведены к клеммам на крышке термостата. На крышке термостата укреплен электродвигатель переменного тока 2, приводящий во вращение мешалку.

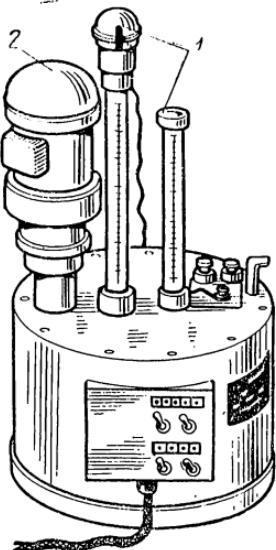


Рис. 7.2. Термостат для исследования терморезистора

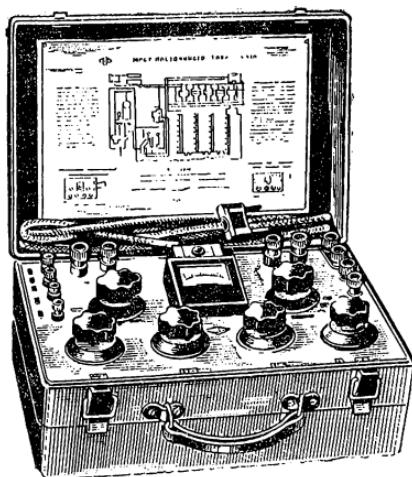


Рис. 7.3. Мост постоянного тока типа Р316

Для точного измерения сопротивления терморезистора можно использовать, например, мост типа Р316. Внешний вид этого прибора показан на рис. 7.3. Описание и схема универсального моста, а также инструкция по его эксплуатации приложены к прибору и находятся на внутренней стороне крышки.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие вольтамперных характеристик терморезистора

$$U_T = f(I_T).$$

3. Снятие температурной характеристики терморезистора

$$R_t = f_1(t^\circ C)$$

4. Построение характеристик терморезистора.

5. Определение температурного коэффициента сопротивления терморезистора α_t .

Сборка и опробование схемы

Подобрав элементы схемы для исследования заданного типа терморезистора и ознакомившись с устройством и работой термостата и моста постоянного тока, собирают схему рис. 7.1. Собранную схему проверяют и приступают к ее опробованию. Вначале испытывают схему для снятия вольтамперных характеристик. Для этого исследуемый терморезистор помещают в термостат с температурой $20^\circ C$. Переключатель B_1 ставят в положение 1. Изменяя положение движка автотрансформатора T_{P1} , следят за изменениями напряжения и тока в цепи терморезистора. Величины U_t и I_t должны изменяться в пределах, достаточных для снятия вольтамперных характеристик. При опробовании схемы необходимо следить за тем, чтобы мощность, подводимая к терморезистору ($P_t = U_t I_t$), не превышала максимально допустимого значения. Иначе следует подобрать сопротивление R_d большей величины, т. е. уменьшить ток в цепи терморезистора. Затем переключатель B_1 устанавливают в положение 2, подключая терморезистор к мосту постоянного тока. Изменяя температуру в термостате путем изменения тока $I_{под}$, проходящего через подогреватель, следят за изменениями величины сопротивления терморезистора. Уточняют, через какие интервалы целесообразно менять температуру в термостате для более удобного построения температурной характеристики.

Снятие вольтамперных характеристик терморезистора $U_t = f(I_t)$

Вольтамперные характеристики терморезистора снимают для трех значений температуры (например, $20, 50$ и $100^\circ C$). Перед снятием характеристик заготавливают таблицу наблюдений (табл. 7.2).

Таблица 7.2

$$U_t = f(I_t)$$

Терморезистор типа...

$t_1 = \dots, {}^\circ\text{C}$	$t_2 = \dots, {}^\circ\text{C}$	$t_3 = \dots, {}^\circ\text{C}$			
$I_t, \text{ mA}$	$U_t, \text{ В}$	$I_t, \text{ mA}$	$U_t, \text{ В}$	$I_t, \text{ mA}$	$U_t, \text{ В}$

Интервалы изменения тока I_t зависят от типа исследуемого терморезистора и составляют обычно несколько миллиампер.

Снятие температурной характеристики терморезистора $R_t = f_1(t {}^\circ\text{C})$

Для снятия этой характеристики переключатель B_1 ставят в положение 2 и, изменяя температуру в термостате от 20 до 100° С (через интервалы примерно 20° С), следят за величиной сопротивления терморезистора. Результаты наблюдений записывают в табл. 7.3.

Таблица 7.3

$$R_t = f_1(t {}^\circ\text{C})$$

Терморезистор типа...

$t, {}^\circ\text{C}$					
$R_t, \text{ Ом}$					

Построение характеристик терморезистора

По данным табл. 7.2 и 7.3, в прямоугольной системе координат строят вольтамперные характеристики терморезистора $U_t = f(I_t)$ при $t {}^\circ\text{C} = \text{const}$ и температурную характеристику $R_t = f_1(t {}^\circ\text{C})$. Примерный вид характеристик показан на рис. 7.4.

Определение температурного коэффициента сопротивления терморезистора

Для определения коэффициента α_t при заданной температуре терморезистора следует воспользоваться фор-

мулой

$$a_t = -\frac{B}{T^2} \quad (7.1)$$

Коэффициент B можно определить с помощью температурной характеристики терморезистора, задавшись двумя (произвольными) значениями температур T_1 и

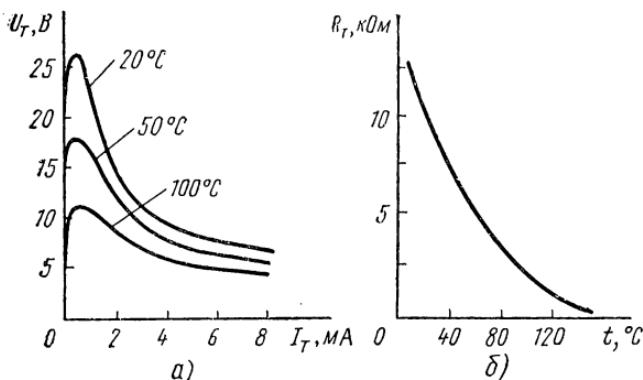


Рис. 7.4. Характеристики терморезистора:
а — вольтамперные; б — температурная

T_2 ($^\circ\text{K}$). Затем по характеристике находим соответствующие этим температурам сопротивления R_{t1} и R_{t2} и подставляем эти величины в формулу

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_{t_1}}{R_{t_2}}, \quad (7.2)$$

где T_1 — исходная температура рабочего тела, $^\circ\text{K}$; T_2 — конечная температура рабочего тела, для которой определяется значение температурного коэффициента, $^\circ\text{K}$; R_{t1} и R_{t2} — сопротивления рабочего тела терморезистора при температурах соответственно T_1 и T_2 , Ом .

Вычисления a_t надо произвести для двух — трех различных значений температуры терморезистора и сравнить результаты между собой, а также с паспортными данными исследуемого прибора.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;

- 2) таблицу основных данных исследуемого терморезистора;
- 3) схему исследования терморезистора с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) графики вольтамперных характеристик и температурной характеристики терморезистора;
- 6) расчет температурного коэффициента сопротивления терморезистора при различной температуре;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИСТОРА

Цель работы — ознакомление с принципом действия, характеристиками и параметрами нелинейного полупроводникового сопротивления — варистора.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 2, стр. 167—168; Л. 4, стр. 217—223].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструктивном выполнении современных варисторов.
2. Какие материалы используются для изготовления варисторов?
3. В чем состоит принцип работы варистора?
4. Приведите условные графические обозначения и примеры маркировки варисторов.
5. Постройте и объясните вольтамперную характеристику симметричного варистора.
6. Чем вызвана нелинейность вольтамперной характеристики варистора?
7. Назовите основные параметры варисторов и объясните их физический смысл.
8. Расскажите о возможностях применения варисторов в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые детали и приборы

Для снятия вольтамперной характеристики варистора используется схема рис. 8.1. Величина напряжения источника питания E , а также пределы измерений вольт-

метра и миллиамперметра постоянного тока выбирают в зависимости от типа исследуемого варистора. Основные параметры варисторов приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Основные параметры варисторов

Тип варистора	Допустимая мощность рассеяния, Вт	Классификационное напряжение, В	Классификационный ток, мА	Коэффициент нелинейности (не менее)	Наибольшая амплитуда импульсного напряжения, В	Диаметр, мм	Длина (толщина), мм
CH1-1-1	1,0	560 680 820 1000 1200 1300 1500	10	3,5 4,0 4,0 4,0 4,0 4,5 4,5	1200 1300 1400 1500 1600 1700 2000	8,6	19
CH1-1-2	0,8	560 680 820 1000 1200 1300 1500	10	3,5 4,0 4,0 4,0 4,0 4,5 4,5	1200 1300 1700 — — —	6	16
CH1-2-1	1,0	56—270	2	3,5	180—800	16	6,5—8,5
CH1-2-2	1,0	33—47 56—100	3	3,0	60—230	12	6,5
CH1-3	0,1	5,6—27	5	2,0	—	—	—

В качестве источника постоянного напряжения для исследования варисторов стержневого типа можно использовать прибор УИП-1. Вольтметр должен быть рассчитан на измерение постоянного напряжения порядка нескольких сотен вольт, а миллиамперметр — на измерение постоянного тока порядка десятков миллиампер. Пределы измерений этих приборов уточняются в процессе опробования схемы. Переключатель *B* служит для

изменения полярности напряжения, подводимого к варистору. Полярность включения вольтметра и миллиамперметра выбирают в зависимости от положения переключателя B . Переменный резистор R имеет величину порядка нескольких килоом.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие вольтамперной характеристики варистора.
3. Построение вольтамперной характеристики.
4. Определение основных параметров варистора — статического ($R_{ст}$) и динамического (R_d) сопротивлений, коэффициента нелинейности (β) и показателя нелинейности (α).

Сборка и опробование схемы

Схему исследования выбранного типа варистора собирают в соответствии с рис. 8.1. Для опробования работы схемы переключатель B устанавливают в положение 1 и при выведенном сопротивлении R включают источник

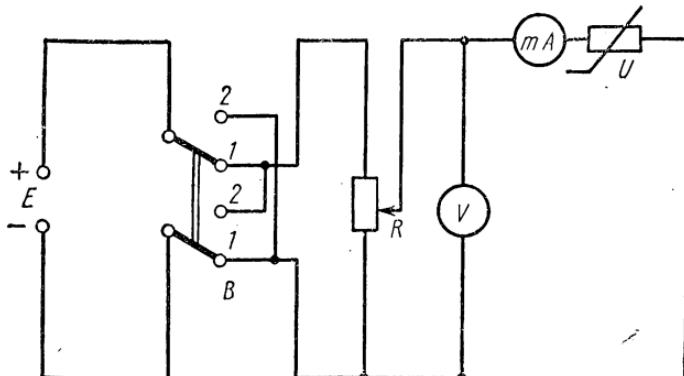


Рис. 8.1. Схема исследования варистора

питания. Затем переменным резистором R постепенно увеличивают входное напряжение и следят за показаниями измерительных приборов. Убеждаются в том, что между приложенным напряжением и током в цепи нет прямой пропорциональности: начиная с некоторого значения напряжения небольшое увеличение напряжения

резко увеличивает ток. После этого выключают источник питания, переключатель B устанавливают в положение 2, выводят сопротивление R , меняют полярность включения измерительных приборов. Затем повторяют опробование схемы, убеждаясь в нелинейности вольтамперной характеристики варистора при обратной полярности приложенного напряжения. Уточняют пределы измерений вольтметра и миллиамперметра.

Снятие вольтамперной характеристики варистора

Перед снятием характеристики заготавливают таблицу наблюдений (табл. 8.2).

Таблица 8.2

$$I = f(U)$$

Варистор типа...

	Переключатель B							
	в положении 1				в положении 2			
U , в								
I , мА								

Вольтамперную характеристику снимают при обоих положениях переключателя B . Входное напряжение изменяют так, чтобы получить 8—10 значений U и I (для каждого положения переключателя). Исследование производят в такой же последовательности, в которой проводилось опробование схемы.

Построение вольтамперной характеристики

В прямоугольной системе координат по данным табл. 8.2 строят зависимость $I = f(U)$. Примерный вид вольтамперной характеристики варистора показан на рис. 8.2.

Определение основных параметров варистора

Статическое сопротивление $R_{ст}$ — это значение сопротивления варистора при постоянных величинах напряжения и тока. Эта величина зависит от положения рабочей

точки на вольтамперной характеристике варистора и определяется по формуле

$$R_{ct} = \frac{U}{I}. \quad (8.1)$$

Следует найти значение R_{ct} для трех положений: на участках перегиба и на восходящем (участки ОА, АБ и БВ на рис. 8.2).

Динамическое сопротивление R_d — это сопротивление варистора переменному току

$$R_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}. \quad (8.2)$$

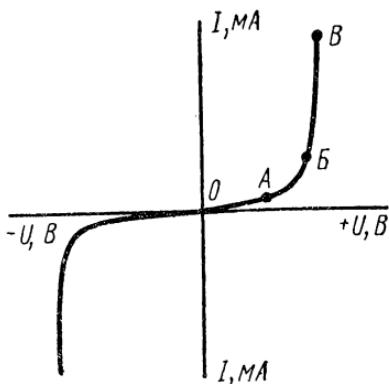


Рис. 8.2. Вольтамперная характеристика варистора

Динамическое сопротивление в выбранной точке вольтамперной характеристики можно определить по тангенсу угла наклона касательной к этой точке.

Определив значения R_{ct} и R_d , найдем коэффициент нелинейности β для точки, лежащей на перегибе вольтамперной характеристики

$$\beta = \frac{R_{ct}}{R_d} = \frac{\Delta I U}{\Delta U I}. \quad (8.3)$$

Показатель нелинейности α — величина, обратная коэффициенту нелинейности

$$\alpha = \frac{1}{\beta} \quad (8.4)$$

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) основные параметры исследуемого типа варистора;
- 3) схему для снятия вольтамперной характеристики с краткой характеристикой ее элементов;
- 4) таблицу наблюдений;

- 5) вольтамперную характеристику варистора;
- 6) расчетные значения $R_{\text{ст}}$, $R_{\text{д}}$, β и a ;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

СНЯТИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Цель работы — изучение свойств плоскостных полупроводниковых диодов путем практического снятия и исследования их вольтамперных характеристик.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 152—159; Л. 2, стр. 129—132; Л. 3, стр. 238—250; Л. 4, стр. 223—231].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о конструкции, маркировке и условных обозначениях полупроводниковых диодов.
2. Объясните вентильное действие p - n -перехода.
3. Каковы особенности точечных и плоскостных полупроводниковых диодов?
4. Постройте и поясните вольтамперную характеристику полупроводникового диода.
5. Какими параметрами характеризуются выпрямительные полупроводниковые диоды?
6. Как влияет температура окружающей среды на характеристики и параметры полупроводниковых диодов?
7. Что такое емкость p - n -перехода и как она зависит от величины приложенного напряжения?
8. Как включаются полупроводниковые диоды, если рабочее напряжение превосходит допустимое обратное напряжение одного диода?
9. Как включаются полупроводниковые диоды, если рабочий ток превосходит допустимый ток одного диода?
10. Назовите преимущества и недостатки полупроводниковых диодов по сравнению с вакуумными.
11. Расскажите о применении полупроводниковых диодов в выпрямительных схемах.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для снятия вольтамперной характеристики полупроводникового диода можно использовать схему рис. 9.1.

Элементы схемы определяются типом исследуемого диода. В табл. 9.1 приведены основные параметры некоторых плоскостных диодов, которые широко применяются в электронной аппаратуре.

Т а б л и ц а 9.1

Основные параметры некоторых выпрямительных диодов

Тип диодов	Наибольший выпрямленный ток $I_{вып. max}$, А	Прямое напряжение $U_{пр.}$, В	Наибольшее обратное напряжение $U_{обр. max}$, В	Наибольший обратный ток $I_{обр. max}$, мА
Д206—Д211	0,1	1	100—600	0,05
Д217—Д218	0,1	0,7	800—1000	0,05
Д226—Д226Е	0,3	1	400	0,03
Д202—Д205	0,4	1	100—400	0,5
Д223	0,05	1	50	0,001
Д242—Д242П	10	1,25	100	3

Значение э.д.с. E источника постоянного тока зависит от типа исследуемого диода. Однако в большинстве случаев достаточно прикладывать к диоду в прямом направлении напряжение порядка 1 В, а в обратном — порядка 30—40 В. Это напряжение можно получить от источника типа УИП-1 (см. приложение I).

Переключатель B_1 служит для изменения полярности напряжения, подводимого к диоду. Если переключатель установлен в положение 1, то к диоду подводится прямое напряжение, а при установке переключателя в положение 2 — обратное. Потенциометр R с сопротивлением порядка 1 кОм используют для плавной регулировки величины напряжения, прикладываемого к диоду.

Вольтметр должен быть рассчитан на измерение постоянных напряжений в пределах 0—30 В. Для большей точности отсчетов при снятии вольтамперной характеристики в прямом направлении желательно применить вольтметр с двумя или несколькими пределами измерений, один из которых должен составлять примерно 1—3 В. При измерениях вольтметром прямых и обратных напряжений необходимо соблюдать полярность включения.

Переключатель B_2 предназначен для включения в схему одного из приборов, измеряющих ток диода. При установке переключателя в положение 1 в схему включается прибор для измерения прямого тока, верхний предел измерений которого выбирают в соответствии с величи-

ной выпрямленного тока исследуемого диода. При установке переключателя B_2 в положение 2 в схему включается микроамперметр для измерений обратного тока. Шкала этого прибора рассчитывается на величину обратного тока диода (см. табл. 9.1).

Для выключения схемы при случайном пробое диода устанавливают предохранители Pr , рассчитанные на максимальное значение выпрямленного тока исследуемого диода.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие вольтамперной характеристики $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$ при прямом напряжении, приложенном к диоду.
3. Снятие вольтамперной характеристики $I_{\text{обр}} = f_1(U_{\text{обр}})$ при обратном напряжении, приложенном к диоду.
4. Построение вольтамперной характеристики диода.
5. Определение коэффициента выпрямления K_v диода (дополнительное задание).

Сборка и опробование схемы

Подобрав элементы схемы, соединяют их между собой в соответствии с рис. 9.1. После проверки приступа-

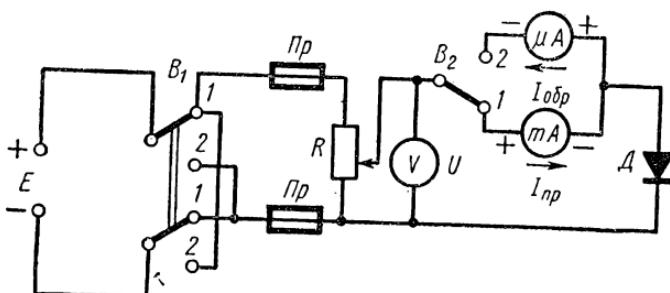


Рис. 9.1. Схема исследования полупроводникового диода

ют к опробованию схемы. Движок потенциометра R устанавливают в такое положение, при котором к измерительной части схемы не будет подаваться напряжение. Для опробования схемы при прямом напряжении, прило-

женному к диоду, переключатели B_1 и B_2 устанавливают в положение 1. Верхний предел измерения напряжения вольтметра должен быть порядка 1—3 В. Затем осторожно передвигают движок потенциометра, увеличивая напряжение, подаваемое на диод. Одновременно следят за величиной прямого тока диода, которая должна изменяться в пределах, достаточных для снятия вольтамперной характеристики. Если величина подводимого к диоду напряжения изменяется очень резко, то нужно подобрать потенциометр с другим значением сопротивления. После этого движок потенциометра R снова устанавливают в положение нуля, а переключатели B_1 и B_2 — в положение 2 (обратное включение). Шкала вольтметра должна быть рассчитана на измерение напряжения порядка 30 В. Затем постепенно увеличивают обратное напряжение, приложенное к диоду, и следят за показаниями микроамперметра. Величина обратного тока должна меняться незначительно и не превышать значения, допустимого для данного диода. Опробование схемы производят для двух-трех диодов, подлежащих исследованию.

Снятие вольтамперной характеристики $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$ при прямом напряжении, приложенном к диоду

Для снятия вольтамперной характеристики следует поставить переключатели в положение 1 и, изменяя напряжение источника от 0 до 1 В (через интервалы 0,1 В), следить за изменениями величины прямого тока. Результаты наблюдений записывают в табл. 9.2.

Таблица 9.2

$$I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$$

Диод типа...

$U_{\text{пр}}, \text{ В}$	$I_{\text{пр}}, \text{ мА}$
----------------------------	-----------------------------

Снятие вольтамперной характеристики $I_{\text{обр}} = f_1(U_{\text{обр}})$ при обратном напряжении, приложенном к диоду

Для снятия этой характеристики необходимо поставить переключатели в положение 2 и, изменяя напряжение источника от 0 до 30 В (через интервалы в 5 В), следить за величиной обратного тока диода. Результаты наблюдений записывают в табл. 9.3.

Таблица 9.3

$$I_{\text{обр}} = f_1(U_{\text{обр}})$$

Тип диода.

$U_{\text{обр}}, \text{В}$	$I_{\text{обр}}, \text{мкА}$

Примечание. Если при испытании диода обратный ток превысит предельно допустимую величину, то испытание следует прекратить. Диод к эксплуатации не годен.

Построение вольтамперной характеристики диода

По данным табл. 9.2 и 9.3 в прямоугольной системе координат строят вольтамперную характеристику диода $I=f(U)$. Необходимо правильно подобрать масштабы токов и напряжений, откладываемых по осям в прямом

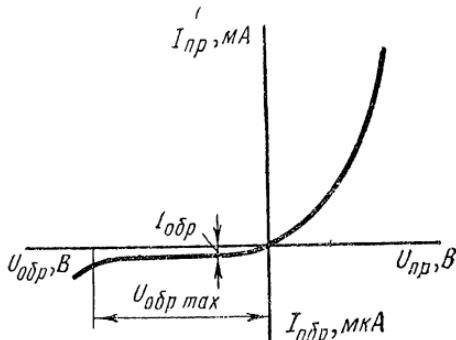


Рис. 9.2. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода

и обратном направлениях. Примерный вид вольтамперной характеристики полупроводникового диода показан на рис. 9.2.

**Определение коэффициента выпрямления $K_{\text{в}}$ диода
(дополнительное задание)**

Для определения величины $K_{\text{в}}$ следует значения прямого и обратного тока при напряжении 1В подставить в формулу

$$K_{\text{в}} = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{обр}}} \quad (9.1)$$

Определив K_b для нескольких однотипных диодов, надо указать, какой из них наиболее пригоден для работы в схемах выпрямителей.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого диода;
- 3) схему исследования диода с краткой характеристикой, входящих в нее элементов;
- 4) таблицу наблюдений;
- 5) график вольтамперной характеристики диода;
- 6) расчет коэффициентов выпрямления для нескольких однотипных диодов;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕМНИЕВОГО СТАБИЛИТРОНА

Цель работы — снятие вольтамперной характеристики и определение параметров кремниевого стабилитрона.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 162—163; Л. 2, стр. 132—133; Л. 3, стр. 260—264; Л. 4, стр. 231—241].

Контрольные вопросы

1. В чем состоит принцип работы кремниевого стабилитрона? Какой вид пробоя $p-n$ -перехода используется в этом приборе?
2. Почему в качестве материала для изготовления данного типа диодов используют кремний?
3. Расскажите о конструктивном оформлении, условном графическом обозначении и маркировке кремниевого стабилитрона.
4. Начертите и объясните схему включения кремниевого стабилитрона.
5. Нарисуйте вольтамперную характеристику кремниевого стабилитрона и расскажите о физических процессах, определяющих форму характеристики на разных участках.
6. Укажите основные параметры кремниевого стабилитрона и поясните их физический смысл.
7. Как определяется динамическое сопротивление стабилитрона в режиме стабилизации?

8. Что такое ТКН кремниевого стабилитрона?

9. Расскажите о применении кремниевых стабилитронов в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования кремниевого стабилитрона приведена на рис. 10.1. Элементы схемы и измерительные приборы подбирают в зависимости от типа исследуемого ди-

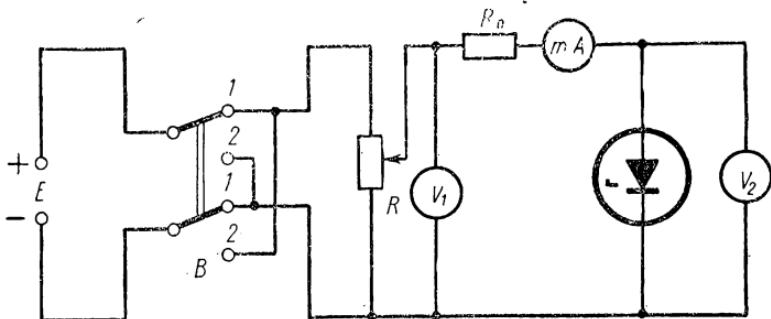


Рис. 10.1. Схема исследования кремниевого стабилитрона

ода. Основные параметры типичных кремниевых стабилитронов приведены в табл. 10.1. В качестве источника напряжения E можно использовать блок питания типа УИП-1 (см. приложение I). Ограничительный резистор

Таблица 10.1

Параметры некоторых кремниевых стабилитронов

Тип стабилитрона	Напряжение стабилизации, $U_{ст}$, В	Ток стабилизации, мА		Динамическое сопротивление на рабочем участке R_d , Ом	Максимальная мощность рассеяния, $P_{ст\ max}$, Вт
		$I_{ст\ min}$	$I_{ст\ max}$		
Д808—Д811, Д813	7—14	1,0	20—33	6—18	0,28
Д814А—Д814Д	7—14	1,0	24—40	6—18	0,34
Д818А—Д818Е	9,0	3,0	33	10	0,3
2С156А, 2С168А	5,6—6,8	3,0	45—55	28—46	0,3
2С920А—2С980А	120—180	2,5—5	28—42	100—220	5,0
КС133А—КС168А	3,3—6,8	3,0	45—81	28—65	0,3
КС211А—КС211Д	11,0	5,0	33	15	0,28
КС620А—КС680А	120—180	2,5—5	28—33	150—330	5,0

R_0 обычно имеет величину сопротивления порядка нескольких сотен Ом (уточняется в процессе опробования схемы). Вольтметры V_1 , V_2 и миллиамперметр mA — магнитоэлектрической системы. Пределы измерений этих приборов зависят от типа исследуемого стабилитрона и уточняются в процессе опробования схемы. При включении измерительных приборов в схему необходимо соблюдать соответствующую полярность в зависимости от положения переключателя В. В качестве потенциометра R можно использовать реостат или переменный резистор с сопротивлением порядка единиц килоом.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие вольтамперной характеристики $I=f(U)$.
3. Построение вольтамперной характеристики.
4. Определение основных параметров стабилитрона — напряжения стабилизации $U_{ст}$, пределов изменения тока в режиме стабилизации $I_{ст\min}—I_{ст\max}$, динамического сопротивления R_d .

Сборка и опробование схемы

Схему исследования кремниевого стабилитрона собирают в соответствии с рис. 10.1. После проверки приступают к опробованию схемы. Вначале проверяют возможность снятия прямой ветви вольтамперной характеристики. Для этого переключатель В устанавливают в положение 1 и, плавно увеличивая входное напряжение потенциометром R , следят за показаниями вольтметров и миллиамперметра. При незначительном повышении прямого напряжения прямой ток должен возрастать достаточно резко. Прямое напряжение следует увеличивать до такой величины, при которой прямой ток стабилитрона составляет несколько десятков миллиампер (в зависимости от типа стабилитрона). В любом случае произведение $U_{пр} \cdot I_{пр}$ не должно превышать допустимой мощности рассеяния стабилитрона. Обычно напряжение $U_{пр}$, измеряемое вольтметром V_2 , составляет десятые доли вольта. Поэтому предел измерений данного вольтметра может быть выбран порядка сотен милливольт. Предел

измерений вольтметра V_1 устанавливают в зависимости от выбранного значения напряжения источника питания.

Затем приступают к опробованию схемы для случая, когда к стабилитрону приложено обратное напряжение. Переключатель B устанавливают в положение 2. Полярность измерительных приборов меняют на обратную. Предел измерений вольтметра V_2 устанавливают в зависимости от паспортного значения напряжения стабилизации исследуемого типа стабилитрона. Предел измерений миллиамперметра должен быть рассчитан на максимальный ток стабилизации $I_{ст\ max}$. Плавно увеличивая входное напряжение, следят за показаниями измерительных приборов. Убеждаются в том, что в определенных пределах изменения тока через стабилитрон напряжение на нем изменяется незначительно, что соответствует режиму стабилизации. Необходимо иметь в виду, что обратный ток стабилитрона в процессе исследования не должен превышать паспортного значения $I_{ст\ max}$. Несоблюдение этого требования может привести к необратимому пробою $p-n$ -перехода и повреждению стабилитрона.

Снятие вольтамперной характеристики

Для снятия вольтамперной характеристики стабилитрона вначале изменяют прямое, а затем обратное напряжение, подводимое к диоду, и следят за изменениями тока в цепи. Для построения характеристики достаточно снять 5—6 показаний приборов для прямой и 8—10 показаний для обратной ветви характеристики. Особенно тщательно следует снимать характеристику на участке стабилизации, так как здесь в широком диапазоне изме-

Таблица 10.2

$$I = f(U)$$

Стабилитрон типа...

	Прямое включение						Обратное включение					
U , В												
I , мА												

нения тока диода напряжение $U_{ст}$ меняется незначительно.

Данные наблюдений записывают в табл. 10.2.

Построение вольтамперной характеристики

График вольтамперной характеристики кремниевого стабилитрона строят по результатам табл. 10.2. Примерный вид вольтамперной характеристики показан на рис. 10.2.

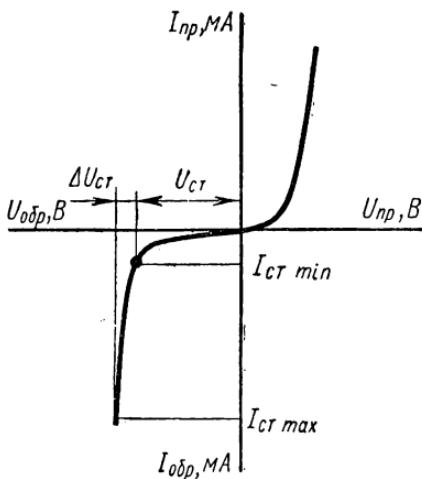


Рис. 10.2. Вольтамперная характеристика кремниевого стабилитрона

Определение основных параметров стабилитрона

Основные параметры стабилитрона можно определить с помощью его вольтамперной характеристики. Значения $U_{ст}$, $I_{ст\ min}$ и $I_{ст\ max}$ определяются непосредственно на соответствующих осях координат (рис. 10.2). Величина R_d подсчитывается по формуле

$$R_d = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}, \quad (10.1)$$

где $\Delta U_{ст}$ — изменение напряжения на стабилитроне в режиме стабилизации; $\Delta I_{ст} = I_{ст\ max} - I_{ст\ min}$ — пределы изменения тока стабилизации.

Найденные параметры стабилитрона сравниваются с паспортными данными.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) паспортные данные исследуемого типа стабилизатора;
- 3) схему исследования с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 4) таблицу наблюдений;
- 5) график вольтамперной характеристики;
- 6) вычисленные значения основных параметров стабилитрона;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

СНЯТИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТУННЕЛЬНОГО ДИОДА

Цель работы — изучение принципа действия, особенностей работы туннельного диода и его характеристики.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 164—167; Л. 2, стр. 133—136; Л. 3, стр. 266—273; Л. 4, стр. 263—268].

Контрольные вопросы

1. Укажите существенные отличия туннельного диода от обычного полупроводникового диода.
2. Объясните явление туннельного эффекта.
3. Укажите достоинства туннельных диодов.
4. Постройте и объясните вольтамперную характеристику туннельного диода.
5. Как определить величину среднего отрицательного сопротивления туннельного диода?
6. Поясните смысл понятия «отрицательное сопротивление».
7. Можно ли назвать туннельный диод генератором электрической энергии?
8. Расскажите о конструкции, маркировке и условных обозначениях туннельных диодов.
9. Расскажите о применении туннельных диодов.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема для снятия вольтамперной характеристики туннельного диода приведена на рис. 11.1. Элементы схемы подбирают в зависимости от типа исследуемого диода. Основные параметры некоторых туннельных диодов приведены в табл. 11.1.

В качестве источника напряжения используют батарею или аккумулятор с напряжением порядка 5—10 В. Из рис. 11.2 видно, что вольтамперная характеристика туннельного диода однозначна при задании U и неоднозначна при задании I . Поэтому выходное сопротивление источника должно быть меньше, чем минимальное отрицательное сопротивление туннельного диода, т. е. должно выполняться условие

$$R_{\text{ист}} < |R_d|_{\text{min}} \quad (11.1)$$

Иначе полностью снять вольтамперную характеристику туннельного диода невозможно. Для выполнения условия (11.1) в схеме рис. 11.1 с помощью переключателя B подключается параллельно исследуемому диоду один из резисторов R_2' , R_2'' , R_2''' . Сопротивление каждого из них выбирают небольшим (от 20 до 100 Ом) и уточняют при опробовании схемы. Резисторы образуют делитель напряжения, питающий туннельный диод. Величина сопротивления резистора R_1 выбирается порядка нескольких сотен Ом. Напряжение, подводимое к туннельному диоду, изменяют с помощью потенциометра R , сопротивление которого составляет сотни Ом.

В работе используется милливольтметр и миллиамперметр постоянного тока. Пределы измерения этих приборов уточняют в процессе опробования схемы.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие вольтамперной характеристики туннельного диода $I = \varphi(U)$.
3. Построение вольтамперной характеристики $I = \varphi(U)$.
4. Определение величины среднего отрицательного сопротивления туннельного диода.

Таблица 11.1

Параметры некоторых туннельных диодов

Электрические данные	И392А	И392Б	ИИ302В	ИИ302Г	ЗИ301А, ЗИ301Г	ИИ304А, ИИ304Б	ИИ305А, ИИ305Б
Ток в максимуме вольт-амперной характеристики при $+20^\circ\text{C}$, мА	1,7—2,3	4,3—5,8	8,5—11,5	13—17	2	4,5—5,5	9,1—11,1
Напряжение, соответствующее току в максимуме, мВ, (не более)	60	60	60	60	180	75	85
О отношение тока в максимуме к току в минимуме вольтамперной характеристики:							
при $+20^\circ\text{C}$ и -60°C (не менее)	4,5	4,5	4,5	4,5	8	5	5
при $+70^\circ\text{C}$ (не менее)	3,5	3,5	3,5	3,5	—	—	—
Емкость диода на частоте 8 МГц при $+20^\circ\text{C}$, пФ (не более)	80	150	180	200	12—50	20	30

Сборка и опробование схемы

Схему исследования туннельного диода собирают в соответствии с рис. 11.1. После проверки приступают к опробованию схемы. Для этого устанавливают движок

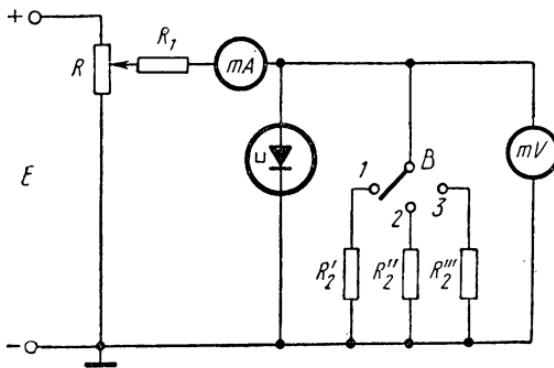


Рис. 11.1. Схема исследования туннельного диода

потенциометра R в положение, соответствующее минимальному подводимому напряжению. Подключают переключателем B к диоду минимальное сопротивление R_2' .

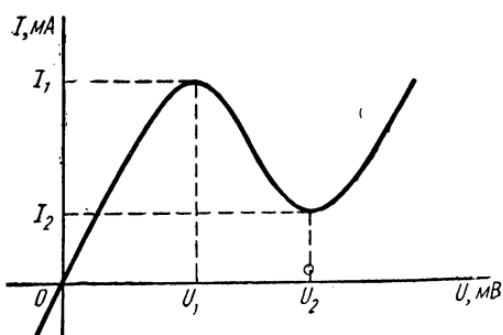


Рис. 11.2. Вольтамперная характеристика туннельного диода

туннельного диода (рис. 11.2), т. е. имеется достаточно глубокая впадина на ее прямой ветви.

Аналогичные наблюдения производят при включении резисторов R_2'' и R_2''' . Подбирая величины сопротивлений резисторов R_2' , R_2'' , R_2''' , добиваются требуемой формы характеристики. В процессе опробования схемы

Включив источник питания, постепенно увеличивают напряжение, подводимое к туннельному диоду, наблюдая за показаниями милливольтметра и миллиамперметра. Необходимо убедиться в том, что зависимость тока от напряжения соответствует вольтамперной характеристике

уточняют пределы измерений миллиамперметра и милливольтметра.

Снятие вольтамперной характеристики туннельного диода $I=\varphi(U)$

Для снятия зависимости $I=\varphi(U)$ необходимо изменять напряжение, подводимое к туннельному диоду (приблизительно через 5—10 мВ), и следить за изменениями тока в цепи. Показания снимают при включении в схему резисторов R_2' , R_2'' и R_2''' .

Данные наблюдений записывают в табл. 11.2.

Т а б л и ц а 11.2
 $I=\varphi(U)$
Тип диода...

$R_2' = \dots, \text{ Ом}$		$R_2'' = \dots, \text{ Ом}$		$R_2''' = \dots, \text{ Ом}$	
$U, \text{ мВ}$	$I, \text{ мА}$	$U, \text{ мВ}$	$I, \text{ мА}$	$U, \text{ мВ}$	$I, \text{ мА}$

Построение вольтамперной характеристики $I=\varphi(U)$

Этот график строят по результатам табл. 11.2. Примерный вид вольтамперной характеристики показан на рис. 11.2. В выводах необходимо пояснить наличие падающего участка характеристики.

Определение величины среднего отрицательного сопротивления туннельного диода

Величину $|-R_d|_{\text{ср}}$ можно найти по формуле

$$|-R_d|_{\text{ср}} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \approx \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}. \quad (11.2)$$

Величины напряжений и токов, входящих в эту формулу, определяют по графику вольтамперной характеристики туннельного диода (см. рис. 11.2).

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;

- 2) схему исследования туннельного диода с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицу наблюдений;
- 4) вольтамперные характеристики $I = \varphi(U)$ (при включении резисторов R_2' , R_2'' и R_2''');
- 5) расчет величины среднего отрицательного сопротивления туннельного диода $|-R_d|_{ср}$;
- 6) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРА ПО СХЕМЕ С ОБЩЕЙ БАЗОЙ

Цель работы — снятие входной и выходной характеристик транзистора по схеме с общей базой и определение h_b — параметров транзистора по характеристикам.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 2, стр. 154—156; Л. 3, стр. 278—284; Л. 4, стр. 279—300.]

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве плоскостных транзисторов, их условных обозначениях и маркировке.
2. В чем отличие управления током коллектора транзистора от управления анодным током электронной лампы?
3. Укажите особенности включения транзистора по схеме с общей базой.
4. Какую зависимость транзистора определяет его входная характеристика?
5. Какую зависимость транзистора определяет его выходная характеристика?
6. Чем объяснить отсутствие усиления по току в схеме с общей базой?
7. Как влияет величина напряжения участка база — коллектор на положение входной статической характеристики транзистора?
8. Охарактеризуйте каждый из h_b -параметров транзистора для схемы с общей базой. Укажите размерность h_b -параметров, поясните их физический смысл.
9. Каким образом можно определить h_b -параметры по статическим характеристикам транзистора?
10. Расскажите о практическом применении схемы с общей базой.

Схема исследования, необходимые приборы

Схема для снятия характеристик транзистора при включении с общей базой приведена на рис. 12.1 (полярность источников питания показана для случая исследования транзистора типа $p-n-p$).

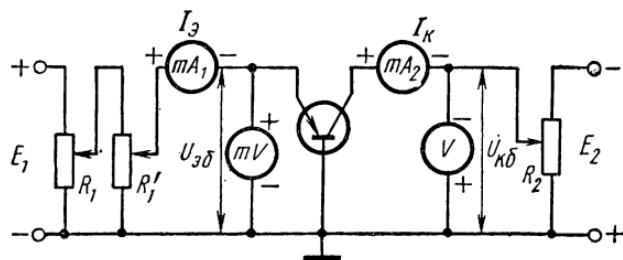


Рис. 12.1. Схема исследования транзистора с общей базой

Подбирая элементы схемы, необходимо знать допустимые значения токов и напряжений исследуемого транзистора. В табл. 12.1 приведены предельно допустимые электрические параметры некоторых плоскостных транзисторов типа $p-n-p$.

В схеме имеются два источника, позволяющие изменять напряжение на эмиттерном и коллекторном переходах

Таблица 12.1

Предельно допустимые электрические параметры некоторых типичных транзисторов

Тип транзистора	Максимально допустимый ток коллектора $I_{\text{кmax}}$, мА	Максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером $U_{\text{кmax}}$, В	Максимально допустимое напряжение между коллектором и базой $U_{\text{кб max}}$, В	Максимально допустимое обратное напряжение между эмиттером и базой $U_{\text{эб maxобр}}$, В
МП140	20	15	15	15
МП141	20	15	15	15
П202	2000	55	45	45
П403	10	10	10	1
ГТ109А	20	6	15	—
ГТ403А	1250	30	45	20
ГТ701А	12000	55	—	15

дах. При исследовании маломощных транзисторов источником э. д. с. E_1 может служить сухой элемент или аккумулятор, дающий напряжение порядка нескольких вольт, а источником э. д. с. E_2 — батарея или выпрямитель на 20—30 В. Потенциометры R_1 и R_1' — низкоомные с сопротивлениями в несколько десятков Ом. Включение двух потенциометров позволяет плавно изменять напряжение на участке эмиттер — база. Потенциометр R_2 — высокоомный (единицы килоом). Измерительные приборы во входной и выходной цепях транзистора должны быть рассчитаны на измерение постоянных токов и напряжений. Целесообразно применять приборы магнитоэлектрической системы, не забывая, что при их включении в схему необходимо соблюдать полярность. Пределы измерений приборов должны быть удобными для снятия входных и выходных характеристик и зависеть от величин токов и напряжений в цепях исследуемого транзистора. Например, для исследования транзистора типа ГТ109А можно использовать миллиамперметры mA_1 и mA_2 с верхним пределом измерения 30 мА, милливольтметр mV на 300 мВ, вольтметр V на 15 В. Переменные резисторы R_1 и R_1' — низкоомные (десятки Ом), потенциометр R_2 имеет сопротивление порядка нескольких килоом.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие входных статических характеристик транзистора $I_\alpha = f(U_{\alpha\beta})$ при $U_{\text{кб}} = \text{const}$.
3. Снятие выходных статических характеристик транзистора $I_\text{к} = \phi(U_{\text{кб}})$ при $I_\alpha = \text{const}$.
4. Построение статических характеристик транзистора.
5. Определение $h_{11\alpha}$ -, $h_{12\alpha}$ -, $h_{21\alpha}$ - и $h_{22\alpha}$ -параметров по статическим характеристикам транзистора.

Сборка и опробование схемы

Исследуемый транзистор, источники питания, измерительные приборы и потенциометры соединяют по схеме рис. 12.1. После проверки приступают к опробованию схемы. Для этого потенциометром R_2 устанавливают на-

пряжение на участке коллектор — база $U_{\text{кб}}$ порядка 50—60% от наибольшего значения этого напряжения для исследуемого транзистора. Поддерживая это напряжение неизменным, изменяют напряжение $U_{\text{эб}}$ (с помощью потенциометров R_1 и R_1') и следят за показаниями миллиамперметра, измеряющего ток эмиттера $I_{\text{э}}$, величина которого должна меняться в пределах, достаточных для снятия входной характеристики транзистора.

Затем проверяют возможность снятия выходной характеристики, устанавливая движки потенциометров R_1 и R_1' в среднее положение, замечая величину тока эмиттера $I_{\text{э}}$ и поддерживая ее неизменной. Изменяя напряжение $U_{\text{кб}}$, следят за величиной тока коллектора $I_{\text{к}}$.

Снятие входных статических характеристик транзистора $I_{\text{э}} = f(U_{\text{эб}})$ при $U_{\text{кб}} = \text{const}$

Перед снятием характеристик заготавливают таблицу наблюдений (табл. 12.2).

Таблица 12.2

$$I_{\text{э}} = f(U_{\text{эб}}) \text{ при } U_{\text{кб}} = \text{const}$$

Транзистор типа...

$U_{\text{кб}} = \dots, \text{ В}$	$U'_{\text{кб}} = \dots, \text{ В}$	$U''_{\text{кб}} = \dots, \text{ В}$			
$U_{\text{эб}}, \text{ В}$	$I_{\text{э}}, \text{ мА}$	$U_{\text{эб}}, \text{ В}$	$I_{\text{э}}, \text{ мА}$	$U_{\text{эб}}, \text{ В}$	$I_{\text{э}}, \text{ мА}$

Входные статические характеристики транзистора снимают для трех значений напряжения $U_{\text{кб}}$, отличающихся между собой на 30—50%. Величины напряжений $U_{\text{кб}}$, $U_{\text{кб}}'$ и $U_{\text{кб}}''$ зависят от типа исследуемого транзистора. Например, для транзистора типа ГТ109А напряжения могут быть равны соответственно 3, 6 и 10 В. Напряжение между эмиттером и базой $U_{\text{эб}}$ изменяют потенциометрами R_1 и R_1' от 0 до 300 мВ (для маломощного транзистора) через 20—30 мВ.

Снятие выходных статических характеристик транзистора $I_{\text{к}} = \varphi(U_{\text{кб}})$ при $I_{\text{э}} = \text{const}$

Данные наблюдений записывают в табл. 12.3.

Таблица 12.3

 $I_k = \varphi(U_{kb})$ при $I_e = \text{const}$

Транзистор типа...

$I_e = \dots, \text{mA}$	$I_e = \dots, \text{mA}$	$I_e'' = \dots, \text{mA}$	$I_e''' = \dots, \text{mA}$
$U_{kb}, \text{В}$	I_k, mA	$U_{kb}, \text{В}$	I_k, mA
$U_{kb}, \text{В}$	I_k, mA	$U_{kb}, \text{В}$	I_k, mA

Выходные статические характеристики снимают для четырех значений тока эмиттера I_e, I_e', I_e'' и I_e''' , которые устанавливают потенциометрами R_1 и R_1' и поддерживают в процессе наблюдений неизменными. Величины токов эмиттера зависят от типа исследуемого транзистора. Например, для маломощных транзисторов (типа ГТ109А) значения I_e, I_e', I_e'' и I_e''' могут составлять соответственно 0, 5, 10, 15 мА. Напряжение U_{kb} изменяют потенциометром R_2 от 0 до 10—15 В (для маломощных транзисторов) через 2—3 В.

Построение статических характеристик транзистора

На основании результатов табл. 12.2 и 12.3, в прямоугольной системе координат строят семейства входных и выходных статических характеристик исследуемого транзистора.

Определение h_{11b} -, h_{12b} -, h_{21b} - и h_{22b} - параметров по статическим характеристикам транзистора

Для определения h_b -параметров транзистора надо воспользоваться методом характеристического треугольника. В качестве примера рассмотрим рис. 12.2.

На входных характеристиках транзистора строят треугольник abc (рис. 12.2), из которого находим

$$h_{11b} = \frac{\Delta U_{eb}}{\Delta I_e} \text{ при } U_{kb} = 0,$$

где $\Delta U_{eb} = bc \approx 0,06 \text{ В}$ $\Delta I_e = ab \approx 15 \text{ мА}$.

Следовательно,

$$h_{11b} \approx \frac{6 \cdot 10^{-2}}{15 \cdot 10^{-3}} \approx 4 \Omega.$$

Из этого же треугольника определяем

$$h_{12b} = -\frac{\Delta U_{\text{эб}}}{\Delta U_{\text{кб}}} \quad \text{при} \quad \Delta I_{\text{э}} = 0,$$

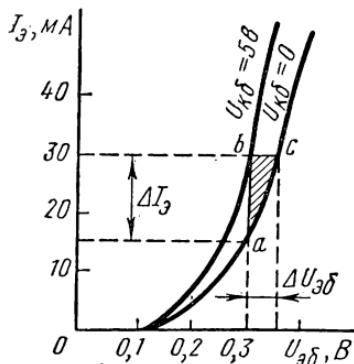
тогда

$$\Delta U_{\text{эб}} = bc \approx 0,06 \text{ В}, \quad \Delta U_{\text{кб}} = 5 - 0 = 5 \text{ В}.$$

Следовательно,

$$h_{12b} \approx \frac{0,06}{5} \approx 0,012.$$

Рис. 12.2. Определение h_{11b} - и h_{12b} -параметров по входным характеристикам транзистора



Параметры h_{21b} и h_{22b} определяют по выходным характеристикам рис. 12.3 (по оси абсцисс отложены отри-

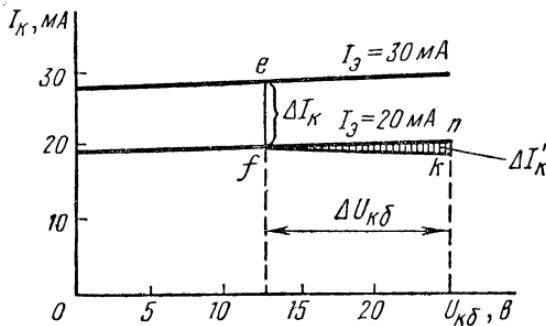


Рис. 12.3. Определение h_{21b} - и h_{22b} -параметров по выходным характеристикам транзистора

цательные значения напряжения). Построив характеристический треугольник $f n k$ найдем

$$h_{21b} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{э}}} \quad \text{при} \quad \Delta U_{\text{кб}} = 0;$$

$$\Delta I_k = ef \approx 29 - 19,5 = 9,5 \text{mA};$$

$$\Delta I_9 = 30 - 20 = 10 \text{mA};$$

$$h_{216} = \frac{9,5}{10} = 0,95;$$

$$h_{226} = \frac{\Delta I'_k}{\Delta U_{k6}} \text{ при } \Delta I_9 = 0; \quad \Delta I'_k = nk = 1 \text{mA};$$

$$\Delta U_{k6} = fk = 12,5 \text{ В};$$

$$h_{226} = \frac{10^{-3}}{12,5} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ см.}$$

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого транзистора;
- 3) схему для снятия характеристик транзистора с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) входные статические характеристики $I_9 = f(U_{96})$ при $U_{k6} = \text{const}$;
- 6) выходные статические характеристики $I_k = \varphi(U_{k6})$ при $I_9 = \text{const}$;
- 7) значения h_{96} -параметров транзистора, найденные по характеристикам;
- 8) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРА ПО СХЕМЕ С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ

Цель работы — изучение особенностей работы транзистора по схеме с общим эмиттером (снятие входной и выходной характеристик), определение коэффициента усиления по току и входного сопротивления.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 174—178; Л. 2, стр. 156—157; Л. 3, стр. 284—288; Л. 4, стр. 279—300].

Контрольные вопросы

1. Укажите основные особенности схемы включения транзистора с общим эмиттером.
2. Какую зависимость выражает входная характеристика транзистора по схеме с общим эмиттером?
3. Какую зависимость выражает выходная характеристика транзистора по схеме с общим эмиттером?
4. Объясните процесс усиления по току в схеме включения транзистора с общим эмиттером.
5. Чем объяснить увеличение входного сопротивления транзистора при включении его по схеме с общим эмиттером?
6. Как влияет величина напряжения на участке коллектор — эмиттер на положение входной статической характеристики транзистора?
7. Как влияет величина тока базы на положение выходной статической характеристики транзистора?
8. Приведите соотношение между коэффициентами усиления по току в схеме с общим эмиттером и с общей базой.
9. Как определить коэффициент усиления по току и входное сопротивление транзистора по характеристикам?
10. Расскажите об использовании схемы с общим эмиттером.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема для снятия характеристик транзистора с общим эмиттером приведена на рис. 13.1. Для подбора элементов схемы необходимо знать параметры исследуемого транзистора. Основные параметры некоторых плоскостных транзисторов приведены в табл. 12.1.

Выбор источников питания, потенциометров и измерительных приборов рассматривается в работе № 12.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие входных статических характеристик транзистора $I_B = f(U_{BE})$ при $U_{CE} = \text{const}$.

3. Снятие выходных статических характеристик транзистора $I_k = f_1(U_{k\theta})$ при $I_b = \text{const.}$

4. Построение статических характеристик транзистора.

5. Определение коэффициента усиления по току и входного сопротивления транзистора.

Сборка и опробование схемы

Исследуемый транзистор, источники питания, измерительные приборы и потенциометры соединяют по схеме рис. 13.1. После проверки приступают к опробованию схемы. Для этого потенциометром R_2 устанавливают на-

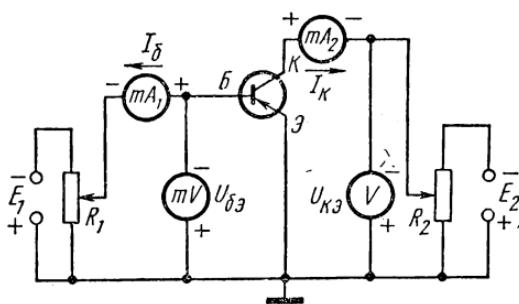


Рис. 13.1. Схема исследования транзистора с общим эмиттером

прижение коллектор — эмиттер $U_{кэ}$ порядка 50—60% от наибольшего значения этого напряжения для исследуемого транзистора. Поддерживая это напряжение постоянным, изменяют напряжение $U_{бэ}$ (с помощью потенциометра R_1) и следят за показаниями прибора, измеряющего ток базы I_b . Его величина должна изменяться в пределах, достаточных для снятия входной характеристики транзистора. Затем проверяют возможность снятия выходной характеристики. Для этого устанавливают движок потенциометра R_1 в среднее положение, замечают значение тока базы I_b и поддерживают его постоянным. Изменяя напряжение $U_{кэ}$, следят за величиной тока коллектора I_k , который должен плавно изменяться в пределах, позволяющих снять выходную статическую характеристику транзистора.

Снятие входных статических характеристик транзистора

$$I_6 = f(U_{69}) \text{ при } U_{k\alpha} = \text{const}$$

Перед снятием характеристик заготавливают таблицу наблюдений (табл. 13.1).

Таблица 13.1

$$I_6 = f(U_{69}) \text{ при } U_{k\alpha} = \text{const}$$

Транзистор типа...

$U_{k\alpha} = 0, \text{ В}$	$U'_{k\alpha} = \dots, \text{ В}$	$U''_{k\alpha} = \dots, \text{ В}$	$U'''_{k\alpha} = \dots, \text{ В}$
$U_{69}, \text{ В}$	$I_6, \text{ мкА}$	$U_{69}, \text{ В}$	$I_6, \text{ мкА}$

Входные статические характеристики транзистора снимают для $U_{k\alpha} = 0$ В и трех значений напряжения $U_{k\alpha}$, отличающихся между собой на 30—50 %. Величины напряжений $U_{k\alpha}'$, $U_{k\alpha}''$ и $U_{k\alpha}'''$ зависят от типа исследуемого транзистора. Например, для транзистора типа ГТ109А эти напряжения могут быть равными соответственно 3; 5 и 8 В. Напряжение между базой и эмиттером U_{69} изменяют потенциометром R_1 от 0 до 200—300 мВ (для маломощного транзистора) через 20—30 мВ.

Следует обратить внимание на то, что входные статические характеристики, снятые при $U_{k\alpha} \neq 0$, практически не отличаются друг от друга и дать объяснение этому явлению.

Снятие выходных статических характеристик транзистора

$$I_k = f_1(U_{k\alpha}) \text{ при } I_6 = \text{const}$$

Данные наблюдений записывают в заранее заготовленную таблицу наблюдений (табл. 13.2).

Таблица 13.2

$$I_k = f_1(U_{k\alpha}) \text{ при } I_6 = \text{const}$$

Транзистор типа...

$I_6 = \dots, \text{ мкА}$	$I'_6 = \dots, \text{ мкА}$	$I''_6 = \dots, \text{ мкА}$	$I'''_6 = \dots, \text{ мкА}$
$U_{k\alpha}, \text{ В}$	$I_k, \text{ мА}$	$U_{k\alpha}, \text{ В}$	$I_k, \text{ мА}$

Выходные статические характеристики снимают для четырех значений тока базы I_b , I_b' , I_b'' и I_b''' , которые устанавливают потенциометром R_1 и поддерживают в процессе наблюдений неизменными. Величины токов базы зависят от типа исследуемого транзистора. Например, для маломощных транзисторов (типа ГТ109А) значения I_b , I_b' , I_b'' и I_b''' могут составлять соответственно 0, 40, 80, 120 мА. Напряжение U_{k3} изменяют потенциометром R_2 от 0 до 10—15 В (для маломощных транзисторов) через интервалы 2—3 В.

Построение статических характеристик транзистора

На основании результатов табл. 13.1 и 13.2, в прямоугольной системе координат строят семейства входных

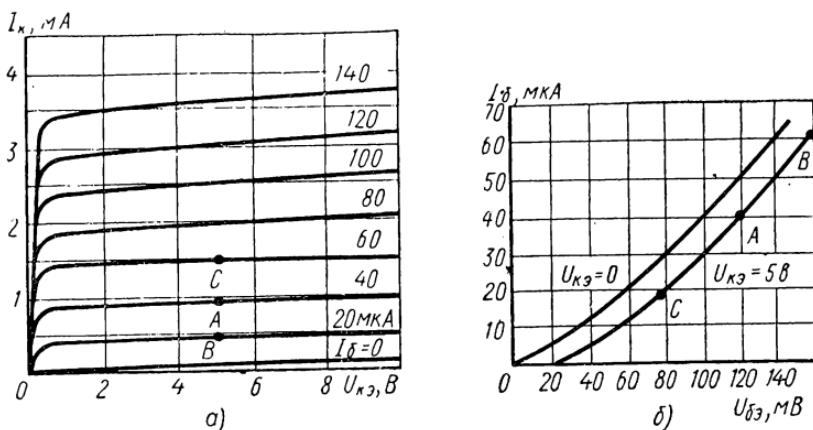


Рис. 13.2. Статические характеристики для схемы с общим эмиттером:
а — выходные; б — входные

и выходных статических характеристик транзистора. Примерный вид этих характеристик приведен на рис. 13.2.

Определение коэффициента усиления по току и входного сопротивления транзистора

Пользуясь семейством выходных характеристик транзистора (см. рис. 13.2, а), нетрудно определить значе-

ние коэффициента усиления по току. Допустим, что транзистор работает при напряжении между коллектором и эмиттером $U_{кэ}=5$ В, а ток базы равен $I_b=40$ мкА. Этому режиму в семействе выходных характеристик транзистора соответствует точка *A*. Взяв приращения ΔI_k и ΔI_b между точками *B* и *C* при постоянном напряжении $U_{кэ}$ найдем

$$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_b} = \frac{1 \text{ мА}}{40 \text{ мкА}} = 25 \text{ при } U_{кэ} = 5 \text{ В} = \text{const}$$

Измерения следует производить для напряжения $U_{кэ}$, составляющего примерно 50% от наибольшей величины этого напряжения для данного типа транзистора.

Входное сопротивление транзистора $R_{вх}$ можно найти из входных характеристик (см. рис. 13.2, б). Точка *A* соответствует тому же режиму, что и на выходных характеристиках.

По приращениям ΔI_b и $\Delta U_{бэ}$ между точками *B* и *C* при постоянном $U_{кэ}=5$ В, находим

$$R_{вх} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_b} \approx \frac{90 \text{ мВ}}{40 \text{ мкА}} \approx 2250 \text{ Ом.}$$

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого транзистора;
- 3) схему для снятия характеристик транзистора с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) входные статические характеристики $I_b=f(U_{бэ})$ при $U_{кэ}=\text{const}$;
- 6) выходные статические характеристики $I_k=f_1(U_{кэ})$ при $I_b=\text{const}$;
- 7) расчет коэффициента усиления по току β и входного сопротивления транзистора;
- 8) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНОГО КРЕМНИЕВОГО ПЕРЕКЛЮЧАЮЩЕГО ДИОДА

Цель работы — изучение свойств кремниевых переключающих диодов, особенностей их характеристик и параметров.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 2, стр. 162—165; Л. 3, стр. 316—327; Л. 4, стр. 268—275].

Контрольные вопросы

1. Изобразите четырехслойную $p-n-p-n$ структуру и замените ее моделью из двух транзисторов ($p-n-p$ и $n-p-n$).
2. Укажите, какие переходы в четырехслойной структуре являются эмиттерными, а какие коллекторными?
3. Поясните, в каком направлении смещаются переходы переключающего диода при подаче положительного напряжения на крайнюю p -область, а отрицательного — на крайнюю n -область.
4. Чем отличается кремниевый управляемый диод (тиристор), от кремниевого неуправляемого диода (динаистора)?
5. Поясните назначение управляющего электрода в тиристоре и его влияние на вольтамперную характеристику.
6. Какова причина возникновения на характеристике управляемого диода участка с отрицательным внутренним сопротивлением?
7. Почему для переключающих диодов используют кремний, а не германий?
8. Изобразите вольтамперную характеристику тиристора и укажите на ней токи включения ($I_{вкл}$) и выключения ($I_{выкл}$), напряжение включения ($U_{вкл}$) и остаточное напряжение ($U_{ост}$).
9. Изобразите вольтамперные характеристики тиристора для нескольких значений токов управляющего электрода.
10. Укажите способы перевода тиристора из открытого в закрытое состояние.
11. В чем преимущество кремниевых переключающих диодов по сравнению с газонаполненными переключающими приборами?
12. Укажите области применения кремниевых переключающих диодов.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для снятия вольтамперной характеристики переключающего диода можно использовать схему, приведенную на рис. 14.1.

Элементы схемы определяются типом исследуемого переключающего диода. В табл. 14.1 приведены основные параметры некоторых кремниевых переключающих диодов, широко применяемых в электронной аппаратуре.

Значения э. д. с. E_1 и E_2 источников постоянного тока зависят от типа исследуемого переключающего диода. В качестве источников можно использовать универсальный источник питания типа УИП-1.

Для измерения тока управляющего электрода используют прибор магнитоэлектрической системы с соответствующей шкалой. Потенциометром R_1 с сопротивлением порядка сотен Ом плавно регулируют ток управляющего электрода.

Высокоомный вольтметр (например, типа ВК7-9Б) измеряет напряжение на переключающем диоде.

Переключателем B_1 при снятии вольт-

Таблица 14.1

Параметры некоторых тиристоров

Тип прибора	Блоки		Блоки		Блоки	
	Напряжение U_{BKT} , В	Приложенная I_{BKT} , мА	Напряжение U_{BPK} , В	Приложенная I_{BPK} , мА	Напряжение $U_{BPK'}$, В	Приложенная $I_{BPK'}$, мА
2Y101A—2Y101И	0,25—8	0,1—5	0,5—25	15	0,15	2,25
2Y201A—2Y201Л	6	1—100	100	200	5	2,2
КУ202А—КУ202Н	5	100	300	300	10	2,2
2Y203А—2Y203И	10	1000	350	—	20	2,5

амперной характеристики переключающего диода подключают один из приборов, измеряющих ток коллектора диода. Измеряют малые величины тока коллектора диода микроамперметром в положении 1 переключателя B_1 . При достижении значений коллекторного тока, соответствующих максимально допустимым для данного микроамперметра, переключатель B_1 переводят в положение 2. При этом измеряют ток миллиамперметром.

Значения сопротивлений резисторов R_2 и R_3 , ограничивающих токи, подбираются опытным путем в процессе наладки схемы (ориентировочные значения сопротивлений резисторов: R_2 — единицы килоом, R_3 — сотни килоом). Сопротивление резистора R_4 , превращающего источник E_2 в генератор тока (с высоким внутренним сопротивлением) может составлять сотни килоом. Потенциометр R_5 имеет сопротивление порядка нескольких килоом.

Двухполюсный переключатель B_2 служит для переключения полярности напряжения, подводимого к диоду, при снятии прямой и обратной ветвей вольтамперной характеристики.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие вольтамперной характеристики неуправляемого переключающего диода (динистора) $I=f(U)$ (при $I_{\text{упр}}=0$).
3. Снятие вольтамперной характеристики управляемого переключающего диода (тиристора) $I=\varphi(U)$ для разных значений тока управляющего электрода $I_{\text{упр}}$.
4. Построение вольтамперных характеристик динистора и тиристора.
5. Построение графика зависимости напряжения включения от тока управляющего электрода тиристора $U_{\text{вкл}}=\varphi'(I_{\text{упр}})$.
6. Определение основных параметров переключающих диодов по вольтамперным характеристикам.

Сборка и опробование схемы

Подобрав элементы схемы, соединяют их между собой в соответствии с рис. 14.1. После проверки присту-

пдают к опробованию схемы. Устанавливают регуляторы напряжения источников E_1 и E_2 в положение, соответствующее отсутствию напряжения на выходе и отключают управляющий электрод от потенциометра R_1 .

Переключатель B_1 устанавливают в положение 1, а переключатель B_2 — в положение 2. С помощью потенциометра R_5 плавно изменяют на переключающем диоде обратное напряжение и убеждаются в зависимости обратного тока $I_{\text{обр}}$ от обратного напряжения $U_{\text{обр}}$.

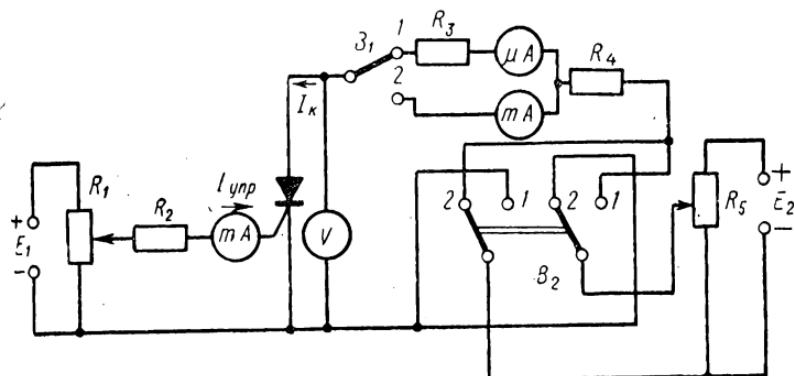


Рис. 14.1. Схема исследования переключающего диода

Изменив полярность напряжения источника E_2 на противоположную (переключатель B_2 в положении 1), убеждаются в зависимости прямого тока переключающего диода $I_{\text{пр}}$ от прямого напряжения $U_{\text{пр}}$. При этом в начале эксперимента фиксируют изменения тока микроамперметром μA (переключатель B_1 в положении 1), а затем миллиамперметром mA (переключатель B_1 в положении 2). Тщательно фиксируют момент включения диода (по резкому возрастанию тока).

Подсоединяют управляющий электрод к потенциометру R_1 . Устанавливают ток управляющего электрода в соответствии с допустимыми значениями для исследуемого типа диода и плавным изменением напряжения E_1 убеждаются в зависимости от напряжения включения $U_{\text{вкл}}$ от тока управляющего электрода $I_{\text{упр}}$ (по сравнению с предыдущим экспериментом, когда $I_{\text{упр}}=0$, при $I_{\text{упр}}\neq 0$ напряжение включения должно уменьшиться).

При снятии прямой и обратной ветвей вольтамперной характеристики необходимо соблюдать полярность включения измерительных приборов.

**Снятие вольтамперной характеристики
неуправляемого переключающего диода-динаистора**
 $I = f(U)$ при $I_{\text{упр}} = 0$

Процесс снятия характеристики состоит из двух этапов: вначале снимают ветвь характеристики $I_{\text{обр}} = f'(U_{\text{обр}})$ при обратном включении диода, а затем $I_{\text{пр}} = f''(U_{\text{пр}})$ — при прямом включении. В обоих случаях управляющий электрод отключают от потенциометра R_1 , поддерживая тем самым $I_{\text{упр}} = 0$.

При снятии ветви характеристики, соответствующей обратному включению диода, переключатель B_2 устанавливают в положение 2.

Напряжение источника E_2 изменяют через интервал 5—10 В (в зависимости от типа исследуемого диода). Величину обратного тока фиксируют микроамперметром μA (переключатель B_1 в положении 1), а напряжение на диоде — вольтметром V . Результаты измерений записывают в табл. 14.2.

Таблица 14.2

$$I_{\text{обр}} = f'(U_{\text{обр}}) \text{ при } I_{\text{упр}} = 0$$

Переключающий диод типа...

$U_{\text{обр}}, \text{ В}$	$I_{\text{обр}}, \text{ мкА}$
-----------------------------	-------------------------------

Для снятия ветви характеристики, соответствующей прямому включению диода, переключатели B_1 и B_2 устанавливают в положение 1. Изменяя напряжение источника E_2 через 5—10 В, фиксируют значение тока микроамперметром μA , а напряжение на диоде — вольтметром V . Приблизившись к точке включения (о чем свидетельствует увеличение скорости возрастания тока) переключатель B_1 ставят в положение 2 и, изменяя напряжение источника E_2 через 1—2 В, снимают прямую ветвь характеристики в области перегиба и падающего участка. Показания миллиамперметра mA и вольтметра V записывают в табл. 14.3.

Таблица 14.3

$$I_{\text{пр}} = f''(U_{\text{пр}}) \text{ при } I_{\text{упр}} = 0$$

$U_{\text{пр}}, \text{ В}$	$I_{\text{пр}}, \text{ мА}$
----------------------------	-----------------------------

Снятие вольтамперной характеристики управляемого переключающего диода [тиристора] $I=\varphi(U)$ для разных значений тока управляющего электрода $I_{\text{упр}}$

Подключая управляющий электрод к потенциометру R_1 при напряжении источника $E_2=0$, устанавливают одно из трех значений токов управляющего электрода $I_{\text{упр}}$ (в зависимости от типа диода ток может быть, например, 5, 10, 20 мА, или 30, 60, 90 мА и т. п.): Изменяя напряжение источника E_2 , фиксируют значения тока коллектора и напряжения на диоде, обращая особое внимание на момент включения диода. Повторяют измерения для остальных значений токов управляющего электрода $I_{\text{упр}}$.

Результаты измерений записывают в табл. 14.4.

Т а б л и ц а 14.4

$$I_{\text{упр}} = \varphi(U_{\text{упр}})$$

Переключающий диод типа...

$I_{\text{упр}1} = \dots, \text{ мА}$	$I_{\text{упр}2} = \dots, \text{ мА}$	$I_{\text{упр}3} = \dots, \text{ мА}$			
$U_{\text{упр}}, \text{ В}$	$I_{\text{упр}}, \text{ мА}$	$U_{\text{упр}}, \text{ В}$	$I_{\text{упр}}, \text{ мА}$	$U_{\text{упр}}, \text{ В}$	$I_{\text{упр}}, \text{ мА}$

П р и м е ч а н и е. Для тиристора снимают только прямые ветви вольтамперной характеристики.

Построение вольтамперных характеристик динистора и тиристора

На основании результатов измерений табл. 14.2—14.3 в прямоугольной системе координат строят вольтамперную характеристику динистора $I=f(U)$ при $I_{\text{упр}}=0$ (рис. 14.2).

Масштабы прямого и обратного токов на оси ординат должны быть различны (мА и мкА соответственно).

На основании результатов измерений (табл. 14.4) строят вольтамперные характеристики тиристора $I=\varphi(U)$ для различных значений тока управляющего электрода $I_{\text{упр}}$ (при этом пользуются также данными табл. 14.3 для случая $I_{\text{упр}}=0$). Примерный вид этих характеристик показан на рис. 14.3.

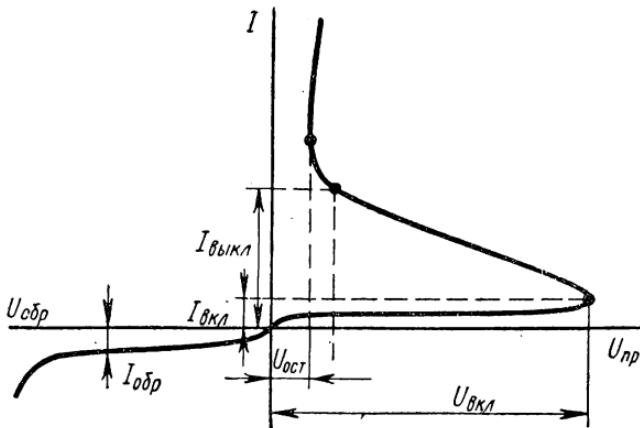


Рис. 14.2. Вольтамперная характеристика динистора

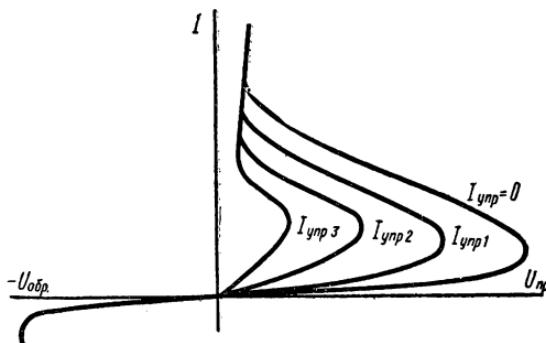


Рис. 14.3. Вольтамперная характеристика тиристора

Построение графика зависимости напряжения включения $U_{вкл}$ от тока $I_{упр}$ управляющего электрода

Используя данные табл. 14.4 и рис. 14.3, в прямоугольной системе координат строят зависимость $U_{вкл} = \phi'(I_{упр})$ — пусковую характеристику (рис. 14.4).

Определение основных параметров переключающих диодов по вольтамперным характеристикам

По рис. 14.2 и 14.3 определяют основные параметры переключающих диодов: напряжение включения $U_{вкл}$, токи включения $I_{вкл}$ и выключения $I_{выкл}$, остаточное напряжение $U_{ост}$, обратные ток $I_{обр}$ и напряжение $U_{обр}$ для различных значений $I_{упр}$.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого переключающего диода (справочных);
- 3) схему для снятия характеристик переключающего диода;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) вольтамперную характеристику динистора $I = f(U)$ при $I_{\text{упр}} = 0$;
- 6) вольтамперные характеристики тиристора для различных токов управляющего электрода $I = \varphi(U)$ при $I_{\text{упр}} \neq 0$;
- 7) пусковую характеристику $U_{\text{вкл}} = \varphi'(I_{\text{упр}})$;
- 8) таблицу основных данных исследуемого переключающего диода (экспериментальных);
- 9) краткие выводы о работе.

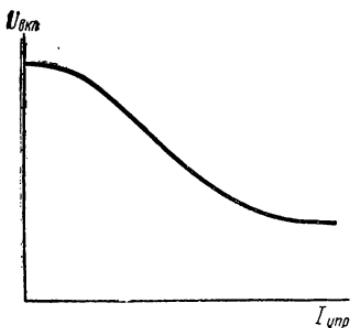


Рис. 14.4. Пусковая характеристика тиристора

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Цель работы — изучение принципа действия, снятие характеристик и определение основных параметров полевого транзистора с $p-n$ -переходом.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 3, стр. 327—339, Л. 4, стр. 335—337].

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве и принципе работы полевого транзистора с затвором в виде $p-n$ -перехода.
2. Начертите схему включения полевого транзистора с указанием полярности источников напряжения в цепи затвора и стока.

Таблица 15.1

Основные данные полевых транзисторов

Тип транзистора	Максимальный ток стока* $I_{\text{ст}} \text{ мА}$	Кругизна характеристики тока стока* $S, \text{ мА/В}$	Напряжение оттечки** $U_0, \text{ В}$	Ток затвора*** $I_3, \text{ нА}$	Максимальное напряжение между стоком и затвором $U_{\text{ст,зт}}$, В
КП101Г—КП101Е	2—5	0,15—0,3	5—10	10—50	—10
КП102Е—КП102Л	0,55—6,0 0,3—12	0,25—1,3 0,4—4,4	2,8—10 1,5—7	15 20	—20
КП103Е—КП103М					—15÷—17

* При $U_{c3} = -5 \text{ В}$ и $U_3 = 0$ для КП101; $U_{c3} = -10 \text{ В}$ и $U_3 = 0$ для КП102, КП103.

** При $I_{cт} = 1 \text{ мА}$ для КП101 и $I_{cт} = 10 \text{ мкА}$ для КП102, КП103.

*** При $U_3 = +5 \text{ В}$ для КП101 и $U_3 = +10 \text{ В}$ для КП102, КП103.

3. Приведите условные обозначения и примеры маркировки полевых транзисторов.

4. Чем объясняется высокое входное сопротивление полевого транзистора по сравнению с биполярными транзисторами?

5. Какие носители заряда (основные или неосновные) участвуют в создании тока стока?

6. Постройте семейство стоковых характеристик полевого транзистора и поясните влияние на ток стока напряжений стока и затвора.

7. Укажите на стоковой характеристике, снятой при нулевом напряжении затвора, значение напряжения насыщения и рабочую область характеристики.

8. Постройте стоко-затворную характеристику полевого транзистора и поясните принцип управления током стока.

9. Перечислите основные параметры полевого транзистора и способы их определения по характеристикам.

10. Сравните свойства полевого (униполярного) транзистора с биполярным транзистором и электронной лампой (пентодом).

11. Расскажите о возможностях практического использования полевых транзисторов в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема для снятия характеристик полевого транзистора с затвором в виде $p-n$ -перехода показана на рис. 15.1.

Для подбора элементов схемы необходимо

знать допустимые значения токов и напряжений исследуемого транзистора. В табл. 15.1 приведены основные данные некоторых полевых транзисторов.

В схеме имеются два источника, позволяющие изменять напряжение на затворе и стоке полевого транзистора. Источниками э. д. с. E_1 и E_2 могут быть сухие элементы или аккумуляторы. Потенциометры R_1 и R_2 , позволяющие регулировать напряжения на затворе и стоке транзистора, имеют сопротивление порядка 500—1000 Ом. Измерительные приборы в цепях затвора и стока рассчитаны на измерение постоянных токов и напряжений. Целесообразно применять приборы магнитоэлектрической системы. Их пределы измерений должны быть удобными для снятия стоковых и стоко-затворных характеристик и зависят от величин токов и напряжений в цепях исследуемого транзистора (уточняются при опробовании схемы).

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие стоковых характеристик полевого транзистора $I_{ct}=f(U_{ct})$ при $U_3=\text{const}$.
3. Снятие стоко-затворной характеристики полевого транзистора $I_{ct}=\varphi(U_3)$ при $U_{ct}=\text{const}$.
4. Построение стоковых и стоко-затворной характеристик полевого транзистора.
5. Определение параметров полевого транзистора по стоковой характеристике:
 - а) напряжения насыщения $U_{\text{нас}}$;
 - б) тока насыщения $I_{\text{нас}}$;
 - в) выходного дифференциального сопротивления $r_{\text{вых}}$.
6. Определение параметров полевого транзистора по стоко-затворной характеристике:
 - а) крутизны характеристики S ;
 - б) напряжения отсечки U_0 .

Сборка и опробование схемы

Исследуемый полевой транзистор, источники питания, измерительные приборы и потенциометры соединяют по схеме рис. 15.1. После проверки приступают к опробова-

нию схемы. Для этого потенциометром R_1 устанавливают напряжение на участке затвор — исток примерно 0,5 В, а потенциометром R_2 изменяют напряжение между стоком и истоком от 0 до $-5 \div -10$ В. Наблюдая, как изменяется ток стока, убеждаются в возможности снятия стоковой характеристики.

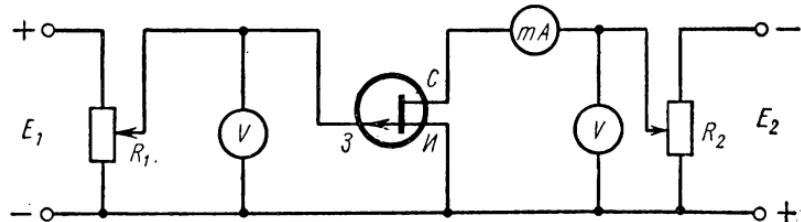


Рис. 15.1. Схема исследования полевого транзистора

Возможность снятия стоко-затворной характеристики проверяют, подавая на сток напряжение $-5 \div -10$ В. Поддерживая это напряжение постоянным, изменяют напряжение между затвором и истоком от 0 В до значения напряжения, соответствующего напряжению отсечки и следят, как изменяется ток стока.

Снятие стоковых характеристик полевого транзистора $I_{ct} = f(U_{ct})$ при $U_3 = \text{const}$

Перед снятием характеристик заготавливают таблицу наблюдений (табл. 15.2).

Стоковые характеристики полевого транзистора снимают для 4—5 значений напряжения затвора U_3 . Величины напряжений затвора зависят от типа исследуемого транзистора и лежат в пределах $0 \div 10$ В. Напряжение стока изменяют в процессе снятия характеристики через $1 \div 2$ В потенциометром R_2 .

Таблица 15.2

$$I_{ct} = f(U_{ct}) \text{ при } U_3 = \text{const}$$

Транзистор типа...

$U_{31} = \dots, \text{ В}$	$U_{32} = \dots, \text{ В}$	$U_{33} = \dots, \text{ В}$	$U_{34} = \dots, \text{ В}$
$U_{ct}, \text{ В}$	$I_{ct}, \text{ мА}$	$U_{ct}, \text{ В}$	$I_{ct}, \text{ мА}$

Снятие стоко-затворной характеристики полевого транзистора $I_{ct} = \varphi(U_3)$ при $U_{ct} = \text{const}$

Перед снятием характеристики заготавливают таблицу наблюдений (табл. 15.3).

Таблица 15.3

$$I_{ct} = \varphi(U_3) \text{ при } U_{ct} = \text{const}$$

Транзистор типа...

$U_3, \text{ В}$							
$I_{ct}, \text{ мА}$							

Стоко-затворную характеристику снимают для одного значения напряжения стока, например $U_{ct} = -5 \text{ В}$. При этом изменяют напряжение затвора от 0 (при максимальном значении тока стока) до напряжения отсечки (при котором ток стока равен нулю) через $0,1-0,2 \text{ В}$.

Построение стоковых и стоко-затворной характеристик полевого транзистора

На основании табл. 15.2 и 15.3 в прямоугольной системе координат строят семейство стоковых характеристи-

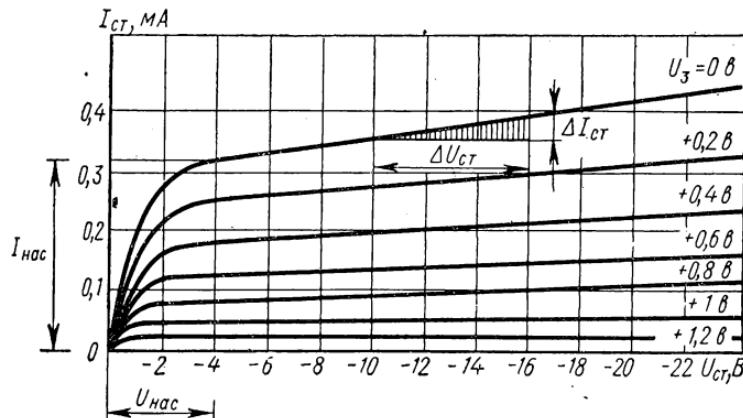
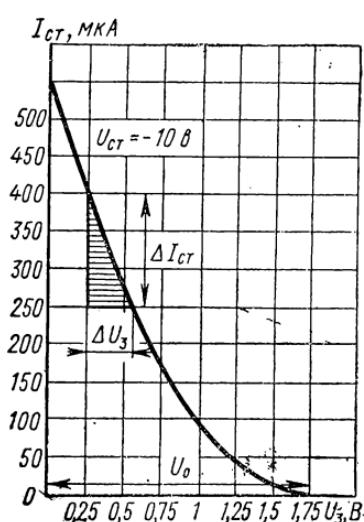


Рис. 15.2. Семейство стоковых характеристик полевого транзистора

тик и стоко-затворную характеристику. Примерный вид этих характеристик показан на рис. 15.2 и 15.3.

Определение параметров полевого транзистора по стоковой характеристике

На этой характеристике для напряжения затвора $U_3=0$ (см. рис. 15.2) определяют значения напряжения насыщения и тока насыщения $U_{\text{нас}}$ и $I_{\text{нас}}$.



Для определения выходного дифференциального сопротивления на одной из стоковых характеристик строят характеристический треугольник, из которого находят

$$r_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{ст}}}{\Delta I_{\text{ст}}}, \text{ Ом} \quad (15.1)$$

Рис. 15.3. Стоко-затворная характеристика полевого транзистора

Определение параметров полевого транзистора по стоко-затворной характеристике

На этой характеристике (рис. 15.3) определяют значение напряжения отсечки U_0 .

Для определения крутизны характеристики строят характеристический треугольник, из которого находят

$$S = \frac{\Delta I_{\text{ст}}}{\Delta U_3}, \text{ мА/В.} \quad (15.2)$$

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) таблицу основных данных исследуемого полевого транзистора;

- 3) схему для снятия характеристик транзистора с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) стоковые характеристики транзистора $I_{ct} = f(U_{ct})$ при $U_3 = \text{const}$;
- 6) стоко-затворную характеристику транзистора $I_{ct} = \varphi(U_3)$ при $U_{ct} = \text{const}$;
- 7) таблицу значений параметров транзистора, определенных по характеристикам;
- 8) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

ИССЛЕДОВАНИЕ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы — изучение мостовой схемы полупроводникового выпрямителя и практическая проверка свойств выпрямителя, работающего на активную нагрузку.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 238—258; Л. 2, стр. 180—183; Л. 4, стр. 230—231].

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества у мостовой схемы полупроводникового выпрямителя по сравнению с выпрямителем, собранным по двухполупериодной схеме со средней точкой?
2. Начертите мостовую схему полупроводникового выпрямителя и поясните назначение ее элементов.
3. Как подбирают тип полупроводниковых вентилей для работы в мостовой схеме выпрямителя?
4. Почему при последовательном соединении полупроводниковых диодов их надо шунтировать резисторами?
5. Расскажите о назначении силового трансформатора в схеме выпрямителя. Как подбирают сердечник для силового трансформатора?
6. От чего зависит диаметр провода обмоток силового трансформатора?
7. Постройте график нагрузочной характеристики выпрямителя.
8. Что такое к. п. д. выпрямителя?
9. Влияет ли величина внутреннего сопротивления вентилей на к. п. д. выпрямителя?
10. С какой частотой пульсирует напряжение на нагрузке в мостовой схеме выпрямителя?
11. Укажите недостатки мостовой схемы выпрямителя.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования полупроводникового выпрямителя приведена на рис. 16.1.

Тип полупроводниковых диодов, силовой трансформатор, измерительные приборы и сопротивление нагрузки подбирают в зависимости от величины выпрямленных напряжения U_0 и тока I_0 .

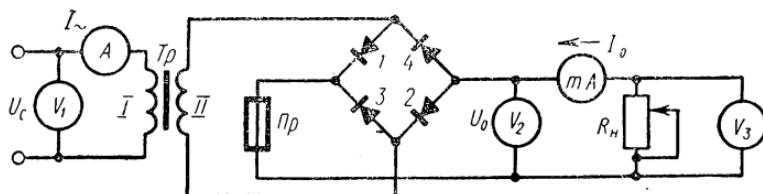


Рис. 16.1. Мостовая схема выпрямителя

При выборе полупроводниковых диодов используются соотношения

$$I_b = 0,785 I_0 \quad (16.1)$$

$$U_{обр} = 1,57 U_0, \quad (16.2)$$

где I_b — величина действующего значения тока, протекающего через каждый диод; $U_{обр}$ — обратное напряжение, приложенное к каждому диоду.

Пользуясь справочником по полупроводниковым приборам (см. например, табл. 9.1) и формулами (16.1) и (16.2), проверяют пригодность того или иного полупроводникового диода для работы в мостовой схеме. Величины I_b и $U_{обр}$, найденные по этим формулам, не должны превышать допустимых значений тех же величин, указанных в справочнике.

Далее приведены данные элементов схемы при использовании полупроводниковых диодов типа Д226.

Силовой трансформатор T_p собран на сердечнике Ш16×32. Сетевая обмотка I , рассчитанная на напряжение сети 220 В, содержит 2100 витков провода ПЭЛ 0,27. Повышающая обмотка II содержит 2400 витков провода ПЭЛ 0,16.

В схеме можно использовать готовый силовой трансформатор, например, от радиолы «Сакта» или других приемников.

Сопротивление нагрузки R_n должно допускать изменение тока I_0 в пределах, достаточных для снятия нагрузочной характеристики. Для этого можно использовать переменный резистор на 5—10 кОм. Для предотвращения недопустимого увеличения тока I_0 при уменьшении сопротивления нагрузки реостат R_n следует снабжать ограничителем перемещения движка. Кроме того, в цепь выпрямленного тока включается предохранитель *Пр* (на 0,5 А) для защиты диодов от перегрузок в процессе снятия нагрузочной характеристики.

Вольтметр V_1 и амперметр A — электромагнитной системы. Верхние пределы измерения: для вольтметра — 300 В, для амперметра — 1,5 А. Вольтметр V_2 и миллиамперметр mA — магнитоэлектрической системы. Верхние пределы измерений этих приборов составляют соответственно 300 В и 300 мА и уточняются при опробовании схемы в зависимости от величин U_0 и I_0 .

Величины пульсаций выпрямленных напряжения U_0 и тока I_0 одинаковы и характеризуются коэффициентом пульсаций

$$K_{\pi} = \frac{U_{\pi}}{U_0} \cdot 100\%; \quad (16.3)$$

где U_{π} — амплитуда переменной составляющей напряжения, изменяющегося с частотой повторения импульсов выпрямленного тока (для двухполупериодной схемы частота пульсаций напряжения на нагрузке равна удвоенной частоте сети $f_{\pi} = 2f_c = 100$ Гц).

Напряжение пульсации U_{π} на нагрузочном сопротивлении можно измерить прибором переменного тока, например, вольтметром V_3 типа ВК7-9Б, имеющим большое внутреннее сопротивление и частотный диапазон от 50 Гц и выше (см. приложение II). Если шкала вольтметра проградуирована в действующих значениях переменного напряжения, то измеренное напряжение пульсаций U_{π} надо при подстановке в формулу (16.3) умножить на $\sqrt{2}$ (для получения амплитудного значения напряжения U_{π}).

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие нагрузочной характеристики.

3. Определение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения.
4. Определение к. п. д. выпрямителя.
5. Построение нагрузочной характеристики.

Сборка и опробование схемы

После подбора элементов мостовой схемы выпрямителя по заданным напряжению U_0 и току I_0 их соединяют между собой в соответствии с рис. 16.1. Проверив собранную схему, приступают к ее опробованию. Для этого необходимо установить движок реостата R_n в положение, соответствующее максимальному сопротивлению нагрузки выпрямителя; подать на сетевую обмотку силового трансформатора напряжение сети; изменить величину сопротивления резистора R_n и убедиться в том, что при этом изменяются величины U_0 и I_0 , т. е. можно снять нагрузочную характеристику выпрямителя; подключить к схеме вольтметр V_3 и убедиться, что он дает показания; с учетом показаний измерительных приборов уточнить их верхние пределы измерения.

Снятие нагрузочной характеристики

Для снятия нагрузочной характеристики мостовой схемы выпрямителя реостатом R_n надо изменять величину выпрямленного тока I_0 и следить за показаниями вольтметра V_2 , измеряющего величину выпрямленного напряжения U_0 . Для построения нагрузочной характеристики достаточно произвести 7—10 отсчетов. Данные наблюдений записывают в табл. 16.1.

Таблица 16.1

$$U_0 = f(I_0)$$

I_0 , мА	U_0 , В
------------	-----------

Наибольший ток в нагрузке определяется наибольшим допустимым выпрямленным током для полупроводниковых диодов. Превышать это значение тока не следует, так как перегорит предохранитель Pr , рассчитанный на максимально допустимую величину тока в нагрузке.

Определение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения

Для нахождения коэффициента пульсаций K_p к резистору R_p следует подключить вольтметр V_3 , который показывает действующее значение U_p переменной составляющей выпрямленного напряжения. Измерения производят для двух-трех значений напряжения U_0 . Данные наблюдений записывают в табл. 16.2.

Т а б л и ц а 16.2

U_0 , В	U_p , В	$U_{mp} = \sqrt{2} U_p$, В	K_p

Определение к. п. д. выпрямителя

Коэффициентом полезного действия η выпрямителя называют отношение мощности P_0 постоянного тока, потребляемой нагрузкой, к мощности P_{\sim} переменного тока, потребляемой выпрямителем от сети, т. е.

$$\eta = \frac{P_0}{P_{\sim}} \cdot 100\%, \quad (16.4)$$

причем

$$P_0 = U_0 I_0, \quad \text{а} \quad P_{\sim} = U_{\sim} I_{\sim}$$

Для определения к. п. д. производят измерения U_{\sim} , I_{\sim} и U_0 для двух-трех значений выпрямленного тока I_0 . Результаты измерений и вычислений записывают в табл. 16.3.

Т а б л и ц а 16.3

I_0 , мА	U_0 , В	P_0 , Вт	I_{\sim} , мА	U_{\sim} , В	P_{\sim} , Вт	η

Построение нагрузочной характеристики

По данным табл. 16.1, в прямоугольной системе координат строят нагрузочную характеристику выпрямителя. Примерный вид нагрузочной характеристики показан на рис. 16.2.



Рис. 16.2. Нагрузочная характеристика выпрямителя

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования выпрямителя с краткой характеристикой ее элементов;
- 3) необходимые расчеты, подтверждающие правильность выбора элементов схемы;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) нагрузочную характеристику;
- 6) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Цель работы — изучение схем сглаживающих фильтров типов LC и RC .

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 263—265; Л. 2, стр. 184—187].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении сглаживающих фильтров.
2. Начертите известные схемы сглаживающих фильтров.
3. Что такое коэффициент сглаживания фильтра?
4. Когда в фильтрах выпрямителей можно вместо дросселя включать резистор?
5. Сравните свойства сглаживающих фильтров типов LC и RC.
6. Напишите формулы для расчета элементов схемы фильтров типов LC и RC.
7. Определите индуктивность дросселя для Г-образного однозвездного фильтра двухполупериодного выпрямителя, если коэффициент сглаживания $q=120$, а емкость фильтра $C_F=20 \text{ мкФ}$.
8. На какую мощность должен быть рассчитан резистор R_F для однозвездного Г-образного фильтра типа RC, если выпрямленный ток $I_0=20 \text{ mA}$, емкость фильтра $C_F=30 \text{ мкФ}$, а коэффициент сглаживания фильтра $q=200$?
9. Какая деталь выпрямителя выходит из строя в случае пробоя первого (входного) конденсатора фильтра?
10. Как изменяются свойства сглаживающего фильтра при увеличении числа его звеньев?

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для исследования свойств сглаживающих фильтров применяется схема, приведенная на рис. 17.1.

В качестве выпрямителя в схеме исследования фильтра можно использовать мостовую двухполупериодную

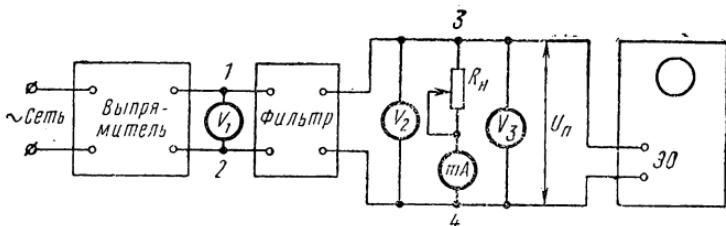


Рис. 17.1. Схема исследования сглаживающего фильтра

схему с полупроводниковыми диодами, рассмотренную в работе № 16. К выходу выпрямителя в точках 1—2 (рис. 17.1) подключается фильтр. Для определения величины выпрямленного напряжения на входе и на выходе фильтра используются вольтметры V_1 и V_2 , предназначенные для измерения постоянного напряжения. Верхний предел

измерений вольтметров должен соответствовать величина выпрямленного напряжения U_0 . Если напряжение пульсаций U_p составляет 0,2 В и больше, для измерения U_p можно пользоваться вольтметром типа ВК7-9Б. При величине выпрямленного напряжения 300 В измеренная величина пульсаций может быть от 0,1% и выше. При меньших значениях величины пульсаций на выходе фильтра целесообразно пользоваться осциллографом. В качестве нагрузочного сопротивления R_H используется реостат на 5000 Ом, 0,2 А. Величину выпрямленного тока I_0 устанавливают с помощью реостата R_H и контролируют миллиамперметром постоянного тока mA .

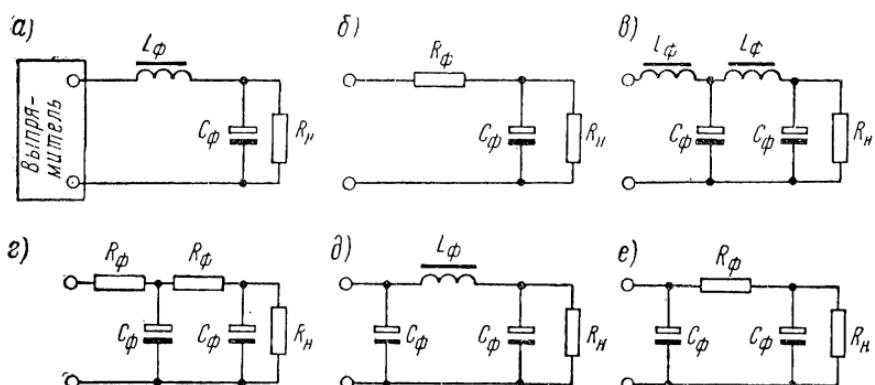


Рис. 17.2. Схемы сглаживающих фильтров

В качестве вольтметра V_3 используют прибор типа ВК7-9Б. Тип осциллографа — С1-19Б (см. приложение III).

Наиболее распространенные схемы сглаживающих фильтров приведены на рис. 17.2, *a*, *b*, *в*, *г*, *д* и *е*.

Дроссели, входящие в схемы фильтров типа LC, собираются на сердечнике Ш26×30 (зазор 0,2 мм) и содержат 2200 витков провода ПЭЛ 0,31 (сопротивление обмотки около 70 Ом). Можно использовать и готовые дроссели фильтров практически от любого телевизора.

Конденсаторы C_ϕ — электролитические, типа К50-7, 20 мкФ, 450 В. Резисторы R_ϕ имеют сопротивление порядка сотен Ом и допускают мощность рассеивания $P = I_0^2 R_\phi$. При токе нагрузки I_0 порядка 10—20 мА можно использовать резисторы МЛТ-2-510 Ом $\pm 5\%$.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Определение коэффициента сглаживания для различных фильтров типа LC и RC.

Сборка и опробование схемы

Схему исследования сглаживающих фильтров собирают в соответствии с рис. 17.1. После проверки схему опробуют. В процессе опробования надо убедиться в нормальной работе выпрямителя. Для этого проверяют наличие выпрямленного напряжения на сопротивлении нагрузки и подбором сопротивления реостата R_h устанавливают необходимую величину выпрямленного тока. При этом надо помнить, что при исследовании фильтров типа RC величина выпрямленного тока не должна превышать 10—20mA. Перед проведением испытаний необходимо убедиться в нормальной работе всех схем фильтров, подлежащих исследованию. Для этого подключают тот или иной фильтр в схему и с помощью вольтметра V_3 измеряют переменное напряжение в точках 1—2 и 3—4. Если фильтр работает нормально, то резко уменьшается переменная составляющая выпрямленного напряжения в точках 3—4 (на выходе фильтра) по сравнению с напряжением в точках 1—2 (на входе фильтра).

Если для измерения напряжения пульсаций используют осциллограф, не имеющий калибровки амплитуды, то его нужно проградуировать. Градуировку осциллографа производят с помощью схемы, изображенной на рис. 17.3. На вход осциллографа подается напряжение U_2 , которое можно регулировать с помощью автотрансформатора (типа ЛАТР-2). Это напряжение является частью напряжения, измеряемого вольтметром V . Для этого чтобы

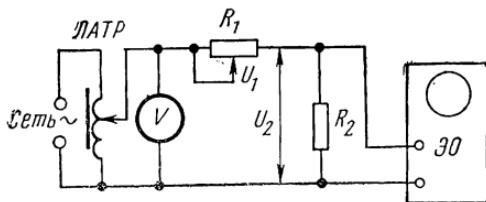


Рис. 17.3. Схема для градуировки осциллографа

узнать, какая часть напряжения подается на вход осциллографа, а какая (U_1) гасится на резисторе R_1 , необходимо знать величину сопротивлений резисторов R_1 и R_2 .

В качестве этих резисторов используют отдельные магазины сопротивлений или рычажный магазин сопротивлений, например типа Р-33 (см. приложение IV). При использовании рычажных магазинов сопротивлений в качестве резистора R_2 должны использоваться сопротивления двух декад наименьшего сопротивления, которые имеют ступени сопротивлений по 0,1 и 1,0 Ом. В сумме сопротивление обеих декад составит 9,9 Ом. В качестве сопротивления R_1 применяют остальные декады магазина. Зная напряжение, измеряемое вольтметром V (поправка 5—10 В), и величины сопротивлений резисторов R_1 и R_2 , несложно подсчитать величину напряжения U_2 . Затем включают питание осциллографа. Регулировкой усиления по вертикали размах луча устанавливают так, чтобы он составлял число делений на сетке, удобное для отсчета. Например, если $U_2=10$ мВ и усиление установлено так, чтобы луч отклонялся на 10 делений, то отклонение на одно деление будет соответствовать 1 мВ. Таким образом определяется масштаб для измерения напряжения. После этого регулятор усиления на осциллографе оставляют в неизменном положении. Проградуированный осциллограф готов для измерения пульсаций.

Определение коэффициента сглаживания для различных фильтров типа LC и RC

Включается Г-образный однозвездный фильтр типа LC, схема которого приведена на рис. 17.2, а. С помощью вольтметра V_1 определяют (см. рис. 17.1) величину постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_0 на входе фильтра. Затем к точкам 1—2 подключают вольтметр V_3 , измеряющий переменное напряжение, и находят напряжение пульсаций U_{π} . Коэффициент пульсаций на входе фильтра

$$K_{\pi} = \frac{U_{\pi}\sqrt{2}}{U_0} \cdot 100\%. \quad (17.1)$$

После этого по вольтметру V_2 определяют величину постоянной составляющей выпрямленного напряжения на выходе фильтра U_0' , а с помощью вольтметра V_3 , под-

ключенного к точкам 3—4, напряжение пульсаций U_0' . Подставляя в формулу (17.1) значения U_0' и U_{π}' , находят K_{π}' . Коэффициент сглаживания фильтра определяется по формуле

$$q = \frac{K_{\pi}}{K'_{\pi}}. \quad (17.2)$$

Зная U_0 и U_0' , найдем потери постоянной составляющей выпрямленного напряжения на элементах фильтра

$$\Delta U_0 = U_0 - U_0'. \quad (17.3)$$

Данные измерений и вычислений заносят в таблицу наблюдений (табл. 17.1).

Таблица 17.1

Г-образный однозвездный фильтр типа LC

U_0 , в	U_{π} , в	$U_{\pi} \sqrt{2}$, в	K_{π}	U_0' , в	U_{π}' , в	$U_{\pi}' \sqrt{2}$, в	K'_{π}	q	ΔU_0 , в

Аналогичные измерения и вычисления производят и для других схем фильтров: двухзвенного фильтра типа LC (рис. 17.2, в), однозвенного (рис. 17.2, б) и двухзвенного (рис. 17.2, г) фильтров типа RC, а также П-образных фильтров (рис. 17.2, д и е). Данные наблюдений заносят в таблицы, аналогичные табл. 17.1.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования сглаживающих фильтров с краткой характеристикой элементов схемы;
- 3) необходимые для выполнения работы расчеты элементов фильтров, коэффициентов пульсаций и сглаживания;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАМПОВОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы — изучение принципа работы и определение основных технических показателей (коэффициента стабилизации, выходного сопротивления постоянному и переменному токам) лампового стабилизатора напряжения компенсационного типа.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 289—300; Л. 2, стр. 187—192; Л. 4, стр. 71—72].

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы и назначение элементов схемы лампового стабилизатора напряжения компенсационного типа.
2. Как выбирают регулирующую лампу стабилизатора напряжения?
3. Объясните назначение стабилитрона, включенного в цепь катода усиленной лампы стабилизатора.
4. Как выбирают величину сопротивления нагрузки усиленной лампы?
5. Что такое коэффициент стабилизации стабилизатора напряжения?
6. Как зависит величина коэффициента стабилизации стабилизатора напряжения от коэффициента усиления ламп?
7. Зависит ли коэффициент стабилизации от сопротивления анодной нагрузки усиленной лампы?
8. Что такое выходное сопротивление стабилизатора по постоянному току?
9. Что такое выходное сопротивление стабилизатора по переменному току?
10. Назовите основные области применения ламповых стабилизаторов напряжения компенсационного типа.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования электронного стабилизатора напряжения приведена на рис. 18.1. Выпрямитель, используемый для подачи напряжения на вход исследуемого стабилизатора, можно собрать по любой схеме выпрямления. Можно использовать выпрямитель, рассмотренный в работе № 16. Нагрузочное сопротивление выпрямителя

мителя R_1 берут переменным для установки на входе стабилизатора требуемых напряжений.

В качестве регулирующей лампы L_1 обычно используются лампы, допускающие большую величину тока нагрузки (6С19П, 6С33С, 6Н5С, Г807, 6П7С и др.). Однако, если ток $I_{\text{вых}}$ превышает величину анодного тока лампы, можно параллельно включить две или несколько регулирующих ламп. Для уменьшения потерь напряжения на лампе L_1 ее внутреннее сопротивление должно быть небольшим. Поэтому лучевой тетрод или пентод, работающий в качестве регулирующей лампы, целесообразно использовать в триодном включении. Для этого экранирующую сетку соединяют с анодом. В качестве усиительной лампы L_2 применяют пентоды или триоды с большим коэффициентом усиления (для повышения чувствительности схемы к колебаниям выходного напряжения). Типичными лампами являются триоды 6С2С, 6Н9С, 6Н2П и др. Стабилитрон L_3 может быть типа СГ4С, СГ1П, СГ3С, СГ2С и т. п. в зависимости от величины опорного напряжения $U_{\text{оп}}$.

Величину сопротивления анодной нагрузки лампы L_2 выбирают из условия получения наибольшего коэффициента усиления усилителя. Для триодов оптимальное значение R_a связано с внутренним сопротивлением лампы следующим соотношением:

$$R_a = (2 \div 5) R_i \quad (18.1)$$

Величину R_i для выбранного типа лампы определяют по справочнику. Сопротивление резистора R_a необходимо выбирать таким, чтобы на сетку лампы L_1 с резистора R_a подавалось отрицательное напряжение смещения, обеспечивающее работу этой лампы без сеточных токов.

Из схемы рис. 18.1 видно, что на сетку усиительной лампы L_2 подаются два напряжения, направленные на встречу друг другу: напряжение U_{R2} и опорное напряжение $U_{\text{оп}}$, которые надо выбирать так, чтобы анодное напряжение лампы L_2 было не меньше требуемого для ее нормальной работы (порядка 100 В). Из схемы рис. 18.1 следует, что опорное напряжение должно быть не более

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{вых}} - (U_{a2} + |U_{c1}|). \quad (18.2)$$

Величину отрицательного смещения U_{c1} выбирают порядка 2—3 В. Стабилитрон, имеющий наиболее близкое

значение рабочего напряжения горения выбирают, исходя из опорного напряжения $U_{\text{оп.}}$

Резистор R_3 ограничивает ток через стабилитрон до величины, необходимой для его нормальной работы (порядка 10—12 мА).

Основным параметром стабилизатора напряжения является коэффициент стабилизации, показывающий во сколько раз относительное изменение напряжения на

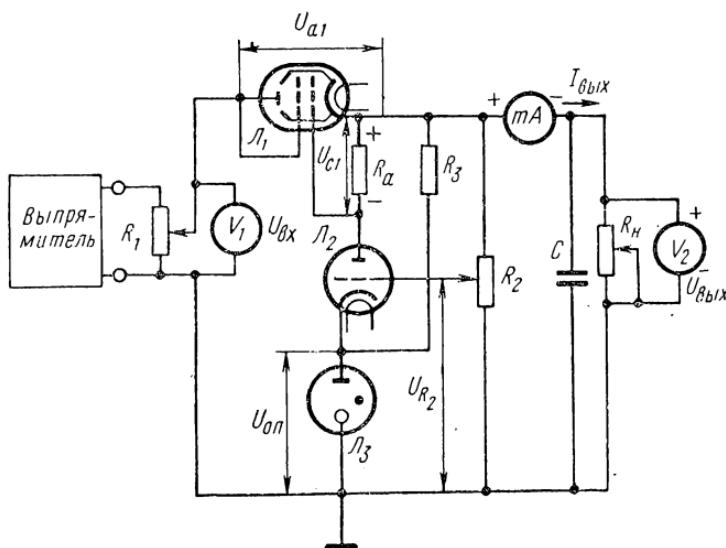


Рис. 18.1. Схема исследования лампового стабилизатора напряжения

выходе стабилизатора меньше относительного изменения напряжения на его входе

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} : \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}}. \quad (18.3)$$

Коэффициент стабилизации электронного стабилизатора можно также подсчитать по приближенной формуле:

$$K_{\text{ct}} \approx 0,7 \mu_1 \mu_2 \frac{R_a}{R_a + R_{i(2)}}, \quad (18.4)$$

где μ_1 и μ_2 — статические коэффициенты усиления ламп L_1 и L_2 ; $R_{i(2)}$ — внутреннее сопротивление лампы L_2 .

Измерительные приборы, применяемые в схеме, долж-

ны обеспечить контроль соответствующих токов и напряжений, изменяющихся в заданных пределах.

Вольтметры V_1 и V_2 предназначены для измерения постоянных напряжений. Для этого можно использовать приборы магнитоэлектрической системы. Верхний предел измерений вольтметров: V_1 — 600 В, V_2 — 300 В. Миллиамперметр постоянного тока рассчитан на измерение тока нагрузки $I_{\text{вых}}$ порядка нескольких десятков миллиампер.

Для регулирования напряжения на сетке лампы L_2 и подбора наиболее выгодного режима работы стабилизатора используется переменный резистор R_2 .

В качестве нагрузочного сопротивления R_h используют высокоомный реостат, выдерживающий ток нагрузки $I_{\text{вых}}$.

Конденсатор C , включенный на выходе стабилизатора, предназначен для повышения устойчивости работы схемы — предотвращения самовозбуждения.

Примерные данные схемы исследования электронного стабилизатора напряжения приведены в табл. 18.1.

Таблица 18.1

Элементы схемы исследования лампового стабилизатора напряжения

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
L_1	Лампа 6П3С	
L_2	Лампа 6Н2П	
L_3	Стабилитрон СГ1П	
R_1, R_h	Реостат РПР-11	5 кОм $\pm 20\%$; 0,2 А
R_2	Резистор СП-ИА	100 кОм, 2 Вт
R_a	Резистор МЛТ-1	100 кОм $\pm 10\%$
R_3	Резистор МЛТ-1	5,1 кОм $\pm 5\%$
C	Конденсатор К50-7	10 мкФ, 300 В

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Определение коэффициента стабилизации.
3. Определение выходного сопротивления:
 - а) по постоянному току;
 - б) по переменному току.

Сборка и опробование схемы

Сборка схемы исследования электронного стабилизатора производится в соответствии с рис. 18.1. После проверки приступают к опробованию схемы. Для этого полностью вводят нагрузочное сопротивление R_n , а ползунок потенциометра R_2 устанавливают примерно на середине. Затем включают выпрямитель. Заметив по вольтметру V_1 величину напряжения на входе стабилизатора $U_{\text{вх}}$ (порядка 250 В), перемещают ползунок потенциометра R_2 и на нагрузочном сопротивлении устанавливают требуемое напряжение $U_{\text{вых}}$ (порядка 200 В). С уменьшением величины нагрузочного сопротивления, убеждаются в том, что выходное напряжение меняется незначительно. Наблюдения производят до тех пор, пока напряжение на выходе не начнет резко уменьшаться. При этом ток $I_{\text{вых}}$ не должен превышать максимально допустимого значения анодного тока лампы L_1 . Если это условие выполнить невозможно, то в схему параллельно включают две регулирующие лампы L_1 . Установив ползунок реостата R_n в среднее положение, увеличивают напряжение на входе стабилизатора (примерно до 400 В). Напряжение $U_{\text{вых}}$ при этом должно изменяться незначительно. Аналогичные наблюдения производят для двух — трех значений напряжения U_{R2} , снимаемого с потенциометра R_2 . В процессе опробования схемы необходимо убедиться в том, что измерительные приборы подобраны правильно и дают возможность проводить наблюдения в широких пределах изменения R_n и $U_{\text{вх}}$.

Определение коэффициента стабилизации

Для определения коэффициента стабилизации. (см. формулу 18.3) устанавливают движок потенциометра R_1 в среднее положение и замечают напряжение на входе стабилизатора $U_{\text{вх}}$. При максимальном сопротивлении резистора R_n по вольтметру V_2 определяют напряжение $U_{\text{вых}}$. Затем изменяют напряжение на входе на величину $\Delta U_{\text{вх}}$ (порядка $\pm 10\%$) и отмечают, на сколько изменилось при этом выходное напряжение, т. е. находят $\Delta U_{\text{вых}}$. Такие же измерения производят для двух — трех различных значений сопротивления нагрузки R_n (т. е. для разных значений тока $I_{\text{вых}}$). Данные измерений записывают в таблицу наблюдений (табл. 18.2).

Таблица 18.2

$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$\Delta U_{\text{вх}}, \text{ В}$	$\Delta U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}}$	$\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}}$	$K_{\text{ст}}$
•	•	•	•	•	•	•	•

Определение выходного сопротивления

а. По постоянному току

Сопротивление

$$R_{\text{вых.пост}} = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}}. \quad (18.5)$$

Измерения производят для нескольких положений движка реостата R_h , т. е. для нескольких значений тока нагрузки $I_{\text{вых}}$.

б. По переменному току

Сопротивление

$$R_{\text{вых.пер}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta I_{\text{вых}}}. \quad (18.6)$$

Для этого на выходе стабилизатора устанавливают заданные номинальные значения напряжения $U_{\text{вых}}$ и тока $I_{\text{вых}}$, затем с помощью реостатов R_1 и R_h изменяют выходной ток на величину $\Delta I_{\text{вых}}$ и определяют изменение выходного напряжения $\Delta U_{\text{вых}}$. Такие же наблюдения производят для двух — трех значений $U_{\text{вых}}$ и $I_{\text{вых}}$.

Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 18.3).

Таблица 18.3

$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$R_{\text{вых.пост}}, \text{ Ом}$	$\Delta I_{\text{вых}}, \text{ мА}$	$\Delta U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$R_{\text{вых.пер}}, \text{ Ом}$
•	•	•	•	•	•

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования стабилизатора с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) необходимые расчеты;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы — изучение схемы и определение основных технических показателей транзисторного стабилизатора постоянного напряжения компенсационного типа.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 2, стр. 192—193; Л. 4, стр. 315].

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему транзисторного стабилизатора напряжения компенсационного типа и поясните назначение ее элементов.
2. Укажите тип полупроводникового диода, который можно использовать в качестве источника опорного напряжения.
3. Какие требования предъявляются к регулирующему транзистору в схеме стабилизатора напряжения?
4. Приведите примеры транзисторов, пригодных для использования в качестве регулирующих.
5. Какие требования предъявляются к усилительному транзистору в схеме стабилизатора напряжения?
6. Приведите примеры транзисторов, пригодных для использования в качестве усилительных.
7. Укажите достоинства и недостатки транзисторных стабилизаторов напряжения по сравнению с ламповыми.
8. Укажите области применения транзисторных стабилизаторов напряжения.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования транзисторного стабилизатора приведена на рис. 19.1. Схема состоит из следующих

основных элементов: регулирующего транзистора T_1 , усиливательного транзистора T_2 , источника опорного напряжения $U_{\text{оп}}$ (таким источником могут служить также кремниевые стабилитроны типа Д808—Д818, 2С156А, 2С168А и др.) и делителя напряжения R_2R_3 . Для подачи напряжения на вход стабилизатора можно использовать выпрямитель (например, УИП-1) с напряжением E порядка 20—30 В. Регулировку входного напряжения осуществляют

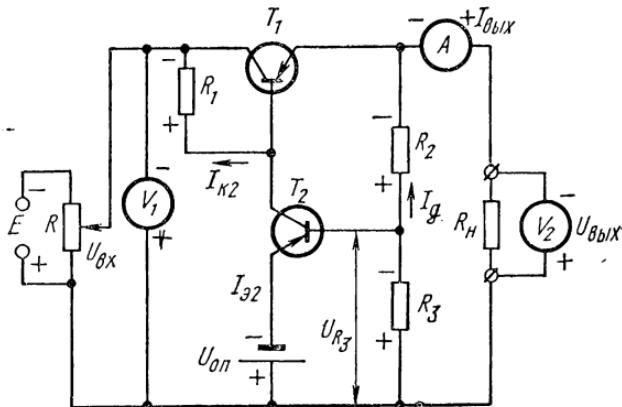


Рис. 19.1. Схема исследования транзисторного стабилизатора напряжения

ляют потенциометром R . Величина его сопротивления и мощность зависят от тока нагрузки $I_{\text{вых}}$. Для плавной регулировки входного напряжения стабилизатора напряжения необходимо, чтобы через сопротивление R протекал ток I , превышающий ток $I_{\text{вых}}$ примерно в пять раз. Учитывая это, определим величину сопротивления потенциометра

$$R = \frac{F}{5I_{\text{BLIX}}}. \quad (19.1)$$

Подбирая тип регулирующего транзистора T_1 , необходимо иметь в виду следующие соотношения:

$$U_{\text{кэ max}} \geq U_{\text{вх max}} - U_{\text{вых}}; \quad (19.2)$$

$$I_{\text{к max}} \geq I_{\text{вых max}}; \quad (19.3)$$

$$P_{\text{к max}} \geq (U_{\text{вх max}} - U_{\text{вых}}) I_{\text{вых max}}, \quad (19.4)$$

где $U_{\text{кэ max}}$ — максимальное значение напряжения между эмиттером и коллектором; $I_{\text{к max}}$ — максимальное значение

ние коллекторного тока; $P_{\text{кmax}}$ — максимальная мощность рассеяния коллекторного перехода.

Наиболее часто в качестве регулирующих используются транзисторы типа П201, П202, П4, П210, П209, ГТ403, ГТ701А и др. Для лучшего рассеяния тепла транзисторы снабжаются радиаторами. Основные электрические данные мощных транзисторов, используемых в качестве регулирующих, приведены в табл. 19.1.

Таблица 19.1

Параметры некоторых мощных транзисторов

Тип транзистора	Максимальное напряжение эмиттер-коллектор $U_{\text{кэ max}}$, В	Максимальный ток коллектора $I_{\text{k max}}$, А	Максимальная мощность рассеяния (без радиатора), $P_{\text{k max}}$, Вт
П4(А-Д)	35—60	5	2
П201-П203	30	1—1,5	1
П209-П210	40—60	12	1,5
П213-П215	30—70	5	1,7
ГТ403(А-И)	55	12	—

Если требуемые напряжения или токи превышают максимально допустимые значения для транзистора данного типа, то можно применять последовательное или параллельное включение регулирующих транзисторов.

Усилительный транзистор T_2 должен иметь возможно большие коэффициент усиления по току β и сопротивление коллектора r_{k} , а также возможно меньший обратный ток коллектора $I_{\text{k-0}}$. Обычно в качестве транзистора T_2 используют маломощные транзисторы типа МП39-МП41, МП111-МП116, ГТ108, ГТ109 и др. После выбора типа усилительного транзистора необходимо проверить величину рассеиваемой на его коллекторе мощности

$$P_{\text{k max}} = I_{\text{k}} U_{\text{кэ}} < P_{\text{k доп}}, \quad (19.5)$$

где I_{k} — оптимальная величина коллекторного тока транзистора T_2 ; $U_{\text{кэ}}$ — напряжение между эмиттером и коллектором этого транзистора.

Для маломощных транзисторов значение I_{k} можно принять равным 1—1,5 мА, а напряжение $U_{\text{кэ}}$ для транзистора T_2 составляет

$$U_{\text{кэ}} \approx U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}. \quad (19.6)$$

В зависимости от требуемого напряжения $U_{\text{вых}}$ выбирают напряжение опорной батареи

$$U_{\text{оп}} \approx (0,7 \div 0,8) U_{\text{вых}}. \quad (19.7)$$

С учетом этого выражения

$$U_{\text{кэ}} \approx (0,2 \div 0,3) U_{\text{вых}}. \quad (19.8)$$

Резистор R_1 является нагрузочным сопротивлением усилительного транзистора T_2 и для повышения усиления должен иметь большое сопротивление. Кроме того, этот резистор R_1 пропускает базовый ток регулирующего транзистора и поэтому должен иметь небольшую величину сопротивления, чтобы не ограничивать ток базы при необходимости полного открывания транзистора T_1 , т. е. не ограничивать диапазон стабилизации. В связи с этими противоречивыми требованиями величину сопротивления резистора R_1 выбирают в пределах от нескольких сотен Ом до нескольких килоом.

Ток, протекающий через делитель R_2R_3 , надо выбирать в несколько раз больше тока базы усилительного транзистора, а падение напряжения на резисторе R_3 — примерно равным напряжению опорной батареи. Уменьшение величины R_2 вызывает увеличение коэффициента стабилизации, но она должна быть достаточной, чтобы ограничить ток базы усилительного транзистора T_2 . Обычно выбирают $R_2 \approx 0,5$ кОм. Сопротивление резистора

$$R_3 = \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}} R_2. \quad (19.9)$$

Величина нагрузочного сопротивления $R_{\text{н}}$ зависит от номинальных значений напряжения и тока на выходе стабилизатора

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}}.$$

В табл. 19.2 приводятся примерные данные схемы транзисторного стабилизатора напряжения при $E = 20$ В; $U_{\text{вых}} = 12$ В; $I_{\text{вых}} = 0,2$ А.

Напряжение опорной батареи $U_{\text{оп}} = 8$ В. Вместо опорной батареи можно использовать кремниевый стабилитрон типа Д808.

Вольтметры V_1 и V_2 для измерения постоянных напряжений $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ и амперметр А, измеряющий ток

Таблица 19.2

Элементы схемы исследования транзисторного стабилизатора напряжения

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
T_1	Транзистор П4Б	
T_2	Транзистор МП41	
R	Реостат РСП-2	20 Ом
R_1	Резистор МЛТ-0,25	$6,2 \text{ кОм} \pm 5\%$
R_2	То же	$510 \text{ Ом} \pm 5\%$
R_3	То же	$1 \text{ кОм} \pm 10\%$
R_h	Резистор ВС-5	$62 \text{ Ом} \pm 5\%$

нагрузки $I_{\text{вых}}$ — магнитоэлектрической системы. Верхний предел измерений приборов уточняют при опробовании схемы.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие зависимости $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $R_h = \text{const}$.
3. Определение коэффициента стабилизации $K_{\text{ст}}$.

Сборка и опробование схемы

Схему транзисторного стабилизатора напряжения собирают в соответствии с рис. 19.1. После проверки схему опробуют, подключая стабилизатор к источнику постоянного напряжения E . Увеличивая с помощью потенциометра R входное напряжение $U_{\text{вх}}$, следят за изменениями тока и напряжения нагрузки. В правильно собранном стабилизаторе выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ и ток нагрузки $I_{\text{вых}}$ должны плавно увеличиваться до своего номинального значения. При дальнейшем увеличении входного напряжения эти величины не должны изменяться. Если напряжение на выходе стабилизатора отсутствует или меняется при изменении входного напряжения (отсутствует стабилизация), необходимо проверить величины входного напряжения и падения напряжения на регулирующем транзисторе. После этого надо проверить величину напряжения опорной батареи, а также точнее

подобрать величины сопротивлений резисторов R_1 , R_2 и R_3 . При опробовании схемы необходимо убедиться в правильности выбора измерительных приборов.

Снятие характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при $R_{\text{и}} = \text{const}$

Для снятия этой характеристики стабилизатора изменяют напряжение на его входе и следят за изменениями напряжения на его выходе. Сопротивление нагрузки при этом остается постоянным. Данные записывают в таблицу наблюдений (табл. 19.3):

Таблица 19.3

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}}) \text{ при } R_{\text{и}} = \text{const}$$

$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$

По полученным данным в прямоугольной системе координат надо построить зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$. Примерный вид графика этой зависимости показан на

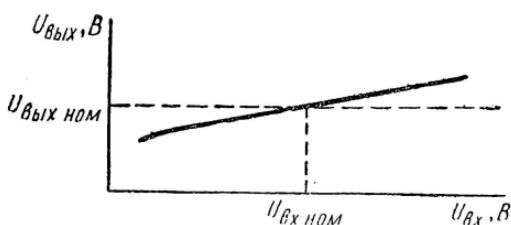


Рис. 19.2. Характеристика $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ транзисторного стабилизатора напряжения

рис. 19.2. Необходимо учесть, что при нормальной работе стабилизатора выходное напряжение меняется очень мало даже при значительных изменениях входного напряжения.

Определение коэффициента стабилизации $K_{ст}$

Для нахождения этого коэффициента надо изменить входное напряжение на величину $\Delta U_{вх}$ (обычно $\pm 10\%$ от $U_{вх\text{ном}}$) и произвести отсчет изменения выходного напряжения $\Delta U_{вых}$. Подставив полученные значения в формулу

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} : \frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых}},$$

находим коэффициент стабилизации.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования транзисторного стабилизатора с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) необходимые расчеты;
- 4) таблицы наблюдений;
- 5) график зависимости $U_{вых} = f(U_{вх})$ при $R_{н} = \text{const}$;
- 6) расчет коэффициента стабилизации $K_{ст}$;
- 7) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Цель работы — исследование схемы двухтактного преобразователя напряжения на транзисторах; определение выходной мощности и к. п. д. преобразователя.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 271—277; Л. 4, стр. 315—317].

Контрольные вопросы

1. Укажите основные преимущества преобразователей постоянного напряжения на транзисторах по сравнению с вибропреобразователями и умформерами.
2. В чем состоит принцип работы преобразователя постоянного напряжения на транзисторах?

3. Чем отличается двухтактный преобразователь напряжения на транзисторах от однотактного?
4. Начертите схему двухтактного преобразователя постоянного напряжения на транзисторах и поясните назначение ее элементов.
5. Какие требования предъявляются к материалу сердечника для трансформатора транзисторного преобразователя постоянного напряжения?
6. Как определить выходную мощность и к. п. д. преобразователя?
7. Постройте график зависимости выходной мощности и к. п. д. преобразователя от сопротивления нагрузки.
8. Какие требования предъявляются к транзисторам, входящим в схему двухтактного преобразователя?
9. Расскажите о применении транзисторных преобразователей постоянного напряжения в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для исследования двухтактного преобразователя напряжения можно использовать схему рис. 20.1. Приведем данные преобразователя, рассчитанного на выходную мощность 1,2 Вт при напряжении на выходе $U_{\text{вых}} = 110$ В и при питающем напряжении $E = 12$ В.

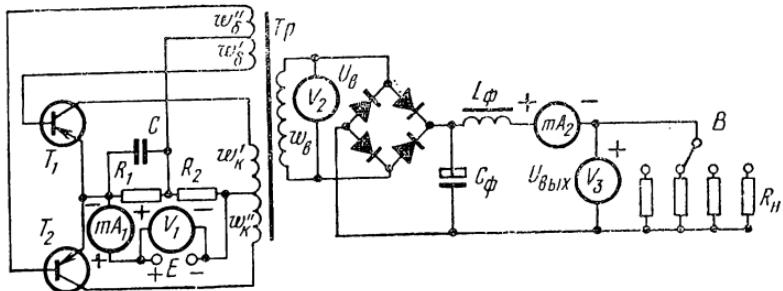


Рис. 20.1. Схема исследования двухтактного транзисторного преобразователя напряжения

Трансформатор преобразователя выполнен на кольцевом сердечнике из оксифера (М-2000) диаметром 18 мм и имеет обмотки: первичную (w_k) 2×20 витков провода ПЭЛ-1 0,2 мм, обратной связи (w_b) 2×6 витков провода ПЭЛ-1 0,2 мм, вторичную (w_b') 180 витков провода ПЭЛ-1 0,1 мм.

В преобразователе использованы транзисторы типа МП39. Рабочая частота преобразователя 16—18 кГц.

Резисторы R_1 и R_2 типа МЛТ-0,25 с сопротивлениями $R_1=150$ Ом, $R_2=3,9$ кОм. Конденсатор C служит для сглаживания выбросов напряжения, возникающих при переходных процессах во время переключения транзисторов. Емкость конденсатора $C=0,25$ мкФ, тип — МБМ-160.

Диоды мостовой схемы выпрямителя — типа Д226. Конденсатор фильтра C_F — типа К50—7—5 мкФ, 300 В. В схеме можно использовать дроссель фильтра от любого радиовещательного приемника. К выходу выпрямителя переключателем B подключаются различные сопротивления нагрузки R_H . Номинальное значение сопротивления R_H определяется соотношением

$$R_H = \frac{U_{\text{вых}}^2}{P_{\text{вых}}}$$

Так, при $U_{\text{вых}}=110$ В и $P_{\text{вых}}=1,2$ Вт сопротивление $R_H=10$ кОм. Так же подключаются резисторы с сопротивлениями 1; 5,1, 15 кОм. Тип резисторов МЛТ-2. Для измерения постоянного напряжения источника E и тока, потребляемого преобразователем, применяются вольтметр V_1 и миллиамперметр mA_1 , а для измерения выходного напряжения и тока — вольтметр V_3 и миллиамперметр mA_2 . Эти приборы — магнитоэлектрической системы. Переменное напряжение U_B на вторичной обмотке трансформатора измеряется вольтметром V_2 типа ВК7-9Б. Верхние пределы измерений приборов подбирают при опробовании схемы.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Определение выходной мощности и к. п. д. преобразователя при различных значениях сопротивления нагрузки R_H .
3. Построение графиков зависимости выходной мощности $P_{\text{вых}}=f(R_H)$ и к. п. д. преобразователя $\eta=\varphi(R_H)$ от сопротивления R_H .

Сборка и опробование схемы

Элементы схемы двухтактного преобразования соединяют между собой в соответствии с рис. 20.1. После проверки схему опробуют, обеспечивая прежде всего надеж-

ный запуск схемы преобразователя подбором величин сопротивления резисторов R_1 , R_2 и емкости C . При этом сопротивление нагрузки устанавливается номинальной величины. При нормальной работе преобразователя появляется напряжение на выходной обмотке трансформатора (порядка 120 В). Форму напряжения на коллекторной обмотке преобразователя (близкую к прямоугольной) можно проследить с помощью осциллографа. Все измерительные приборы должны показывать значения измеряемых токов и напряжений, близкие к номинальным. Затем, изменения величину сопротивления R_n , необходимо проследить за изменениями показаний приборов, которые должны быть достаточными для построения графиков зависимостей $P_{\text{вых}}=f(R_n)$ и $\eta=\varphi(R_n)$. Если это требование не выполняется, надо изменить величины сопротивлений R_n . Одно из сопротивлений R_n можно подобрать небольшой величины, чтобы убедиться в прекращении работы схемы при увеличении тока нагрузки.

Определение выходной мощности и к. п. д. преобразователя при различных значениях нагрузочного сопротивления R_n

Для определения выходной мощности преобразователя необходимо измерить величины напряжения $U_{\text{в}}$ на выходной обмотке трансформатора и тока $I_{\text{вых}}$. Выходная мощность

$$P_{\text{вых}} = I_{\text{вых}} U_{\text{в}}; \quad (20.1)$$

к. п. д. преобразователя

$$\eta = \frac{U_{\text{в}} I_{\text{вых}}}{EI} \cdot 100\%. \quad (20.2)$$

Измерения производят для различных значений нагрузочного сопротивления R_n . Данные записывают в табл. 20.1.

Построение графиков $P_{\text{вых}}=f(R_n)$ и $\eta=\varphi(R_n)$

В прямоугольной системе координат по результатам наблюдений строят график зависимости выходной мощности и к. п. д. от сопротивления нагрузки. Примерный вид графиков показан на рис. 20.2.

Таблица 20.1

$$P_{\text{вых}} = f(R_{\text{h}}); \quad \eta = \varphi(R_{\text{h}})$$

R_{h} , Ом	E , В	I , А	$U_{\text{в}}$, В	$I_{\text{вых}}$, А	$P_{\text{вых}}$, Вт	η , %

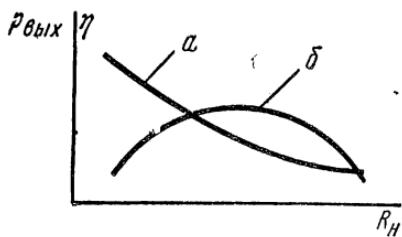


Рис. 20.2. Графики зависимостей выходной мощности (кривая a) и к. п. д. (кривая δ) транзисторного преобразователя напряжения от сопротивления нагрузки

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования двухтактного транзисторного преобразователя постоянного напряжения с краткой характеристикой элементов схемы;
- 3) таблицу наблюдений;
- 4) график зависимости $R_{\text{вых}} = f(R_{\text{h}})$ и $\eta = \varphi(R_{\text{h}})$;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАМПОВОГО УСИЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА РЕЗИСТОРАХ

Цель работы — изучение работы и определение основных технических показателей резистивного каскада усиления напряжения низкой частоты.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 317—328; Л. 2, стр. 208—219; Л. 4, стр. 67—70].

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение элементов схемы резистивного усилителя напряжения низкой частоты.
2. Укажите отличие усиления колебаний с помощью усилителя от повышения переменного напряжения с помощью трансформатора.
3. Какие искажения сигнала могут возникнуть в усилителе?
4. Что такое частотная характеристика усилителя?
5. Укажите причины, вызывающие появление частотных искажений сигнала на низших и высших частотах.
6. Что такое амплитудная характеристика усилителя?
7. Укажите причины, ограничивающие линейный участок амплитудной характеристики.
8. Как выбирают величину сопротивления анодной нагрузки резистивного усилителя?
9. Почему частотную характеристику усилителя строят в логарифмическом масштабе?
10. Расскажите о применении резистивных усилителей в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования резистивного усилителя приведена на рис. 21.1.

Напряжение усиливающего сигнала подают на вход усилителя от генератора звуковой частоты типа Г3-34.

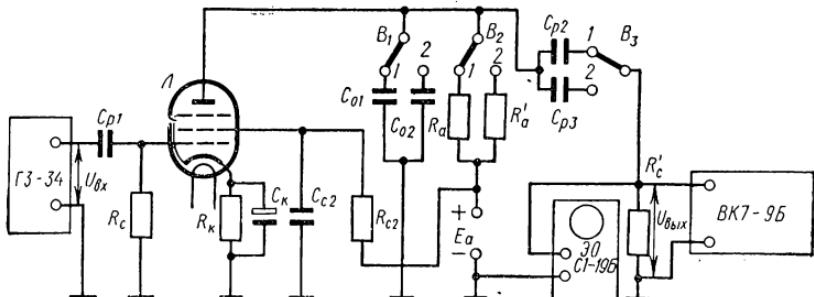


Рис. 21.1. Схема исследования лампового усилителя напряжения низкой частоты

Величина входного напряжения может устанавливаться по вольтметру, имеющемуся на лицевой панели генератора. Осциллограф ЭО (типа С1-19Б), подключаемый к выходу усилителя, предназначен для наблюдения формы выходного напряжения. Вольтметр типа ВК7-9Б служит для измерения переменного напряжения на выходе уси-

лителя. Правила пользования этой аппаратурой приведены в приложениях II, III и VI.

В качестве источника напряжения E_a используют выпрямитель (например, типа УИП-1) на 250—300 В.

Данные остальных элементов схемы приведены в табл. 21.1

Таблица 21.1

Элементы схемы исследования резистивного усилителя напряжения

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
L	Лампа 6Ж1П	
R_c	Резистор МЛТ-0,5	$510 \text{ кОм} \pm 5\%$
R_k	Резистор МЛТ-2	$4,7 \text{ кОм} \pm 10\%$
R_{c2}	Резистор МЛТ-0,5	$220 \text{ кОм} \pm 10\%$
R_a	Резистор МЛТ-1	$150 \text{ кОм} \pm 10\%$
R_a'	То же	$51 \text{ кОм} \pm 10\%$
R_c'	Резистор МЛТ-0,5	$510 \text{ кОм} \pm 5\%$
C_{p1}	Кondенсатор МБМ-160	$0,05 \text{ мкФ}, 160 \text{ В}$
C_k	Кondенсатор К50-6	$20 \text{ мкФ}, 25 \text{ В}$
C_{c2}	Кondенсатор КБГ-И-400-0,5	$0,05 \text{ мкФ}, 400 \text{ В}$
C_{01}	Кondенсатор КСО-1-250-А-510	$510 \text{ пФ}, 250 \text{ В}$
C_{02}	Кondенсатор КСО-1-250-А-51	$51 \text{ пФ}, 250 \text{ В}$
C_{p2}	Кondенсатор МБМ-250	$0,05 \text{ мкФ}, 250 \text{ В}$
C_{p3}	Кondенсатор КСО-1-250-А-510	$510 \text{ пФ}, 250 \text{ В}$
B_1, B_2, B_3	Тумблеры МТ-1	

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие частотной характеристики усилителя $K=\varphi(f)$.
3. Снятие амплитудной характеристики усилителя. $U_{\text{вых}}=\varphi_1(U_{\text{вх}})$.
4. Построение частотной и амплитудной характеристик усилителя.

Сборка и опробование схемы

Элементы схемы усилителя и измерительные приборы соединяют между собой в соответствии с рис. 21.1. После проверки приступают к опробованию схемы. Переключатели B_1 , B_2 и B_3 устанавливают в положение 1. На вход усилителя подают напряжение порядка 1—2 В от звукового генератора. Изменяя частоту входного сигнала, убеждаются в наличии на выходе усилителя напряжения, величина которого превышает значение входного напряжения и зависит от частоты. Затем включают в схему дополнительные элементы C_{02} , R_a' и C_{p3} , при включении которых напряжение на выходе усилителя в тех или иных точках частотного диапазона должно изменяться.

Снятие частотной характеристики усилителя $K = \varphi(f)$

Для снятия частотной характеристики надо изменять частоту звукового генератора от 20—30 Гц до 15—20 кГц при неизменном входном напряжении (порядка 1 В) и следить за показаниями вольтметра, измеряющего выходное напряжение. Данные записывают в таблицу наблюдений (табл. 21.2).

Таблица 21.2

$$K = \varphi(f)$$

$U_{\text{вх}} = \dots, \text{ В} = \text{const}; R_a = \dots, \text{ кОм}; C_{01} = \dots, \text{ пФ}; C_{p2} = \dots, \text{ пФ}; R_c' = \dots, \text{ кОм}$			
$f, \text{ Гц}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$	$K, \text{ дБ} = 20 \lg K$

Аналогичные измерения повторяют для емкости разделительного конденсатора C_{p3} , емкости C_{02} и резистора R_a' .

Снятие амплитудной характеристики усилителя $U_{\text{вых}} = \varphi_1(U_{\text{вх}})$

Частоту звукового генератора устанавливают неизменной ($f = 1000$ Гц). Изменяя входное напряжение от 0 до 10—15 В, измеряют напряжение на выходе и наблюдают форму выходного сигнала на экране осциллографа. Результаты измерений записывают в табл. 21.3.

$$U_{\text{вых}} = \varphi_1(U_{\text{вх}})$$

$f = 1000 \text{ Гц} = \text{const}$; $R_a = \dots, \text{ кОм}$; $C_{p1} = \dots, \text{ пФ}$; $C_{p2} = \dots, \text{ пФ}$;
 $R'_c = \dots, \text{ кОм}$

--	--	--	--	--	--	--

Аналогичные измерения повторяют при включении в схему конденсаторов C_{p3} , C_{p2} и резистора R_a' .

Построение частотной и амплитудной характеристик усилителя

По данным табл. 21.2 в прямоугольной системе координат строят частотные характеристики усилителя, снятые для разных значений элементов, входящих в схему усилителя. При этом по оси абсцисс откладывают частоту в логарифмическом масштабе ($\lg f$). По оси ординат откладывают значения коэффициента усилителя в децибелах. Частотные характеристики, снятые для различных значений R_a , C_p и C_o , рекомендуется для сравнения строить в одной и той же системе координат (на одном графике). По частотным характеристикам необходимо определить значения коэффициентов частотных искажений M_n и M_b .

Амплитудную характеристику строят по результатам табл. 21.3. По этой характеристике надо определить максимально допустимое значение входного напряжения, при котором усиление происходит без искажений. С помощью осциллографа следует проследить за искажениями формы усиливаемого сигнала при подаче на вход напряжения, превышающего допустимое значение.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования усилителя с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицу наблюдений;
- 4) графики зависимостей $K = \varphi(f)$ и $U_{\text{вых}} = \varphi_1(U_{\text{вх}})$;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ЛАМПОВОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Цель работы — изучение работы схемы и определение основных технических показателей однотактного усилителя мощности низкой частоты.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 348—364; Л. 2, стр. 222—229].

Контрольные вопросы

1. Расскажите о физической сущности процесса усиления мощности электронной лампой.
2. Что такое режимы работы ламп усилителя мощности? Дайте их сравнительную оценку.
3. Объясните назначение выходного трансформатора усилителя мощности.
4. Как объяснить зависимость выходной мощности усилителя и нелинейных искажений от величины сопротивления нагрузки?
5. Чем отличаются качественные показатели усилителя мощности на триоде от аналогичных показателей усилителя на пентоде?
6. Назовите причины возникновения частотных искажений в усилителе мощности.
7. Почему выходной трансформатор имеет большее сечение сердечника, чем междуламповые трансформаторы?
8. Влияет ли величина постоянной составляющей анодного тока, протекающего через первичную обмотку выходного трансформатора, на величину нелинейных искажений?
9. Чем объясняется низкий к. п. д. усилителя, работающего в режиме А?

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для исследования усилителя мощности низкой частоты используется схема, приведенная на рис. 22.1.

Напряжение усиливающего сигнала подается на вход усилителя от генератора звуковой частоты типа ГЗ-34. Величину входного напряжения устанавливают по вольтметру на лицевой панели генератора. Лампой усилителя служит выходной пентод 6П14П, работающий на активное сопротивление нагрузки, включенное через выходной трансформатор T_p . В качестве сопротивления нагрузки

можно использовать проградуированный реостат с со- противлением 20—30 Ом или магазин сопротивлений типа Р33. Источником напряжения E_a является выпрямитель на 250—300 В (например, УИП-1).

Вольтметром типа ВК7-9Б измеряют переменное напряжение на выходе усилителя. С помощью осциллографа (С1-19Б) наблюдают форму выходного напряжения, а прибором С6-1А измеряют нелинейные искажения усиливаемого сигнала. Правила пользования этой аппаратурой приведены в приложениях I—VII.

Выходной трансформатор T_p собран на сердечнике УШ14×16. Первичная обмотка содержит 2800 витков провода ПЭЛ 0,12, а вторичная — 72 витка провода ПЭЛ 0,44.

Данные остальных деталей схемы: R_c — резистор МЛТ-0,5—510 кОм $\pm 5\%$; R_k — резистор МЛТ-2 — 200 Ом $\pm 5\%$; C_k — конденсатор К50-6—50 мкФ, 25 В.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие нагрузочной характеристики усилителя $P_{\text{вых}}=f(R_h)$.
3. Определение влияния величины сопротивления нагрузки на коэффициент нелинейных искажений $K_r=f(R_h)$.
4. Снятие частотной характеристики усилителя $K=f(f)$.
5. Построение графиков нагрузочной и частотной характеристик усилителя.

Сборка и опробование схемы

Подобрав элементы схемы исследования усилителя мощности, соединяют их между собой в соответствии с рис. 22.1. Собранный схему проверяют и опробуют. Установив на выходе генератора Г3-34 (т. е. на входе усилителя) напряжение порядка 3—5 В, а частоту $f=1000$ Гц, проверяют наличие напряжения на выходе усилителя вольтметром или осциллографом. Затем, меняя величину сопротивления $R_{\text{п}}$, наблюдают за изменениями напряжения на выходе схемы. Выходное напряжение

должно изменяться в пределах, достаточных для снятия нагрузочной характеристики $P_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$. Одновременно следят за показаниями измерителя нелинейных искажений, которые при изменении величины $R_{\text{н}}$ также должны меняться.

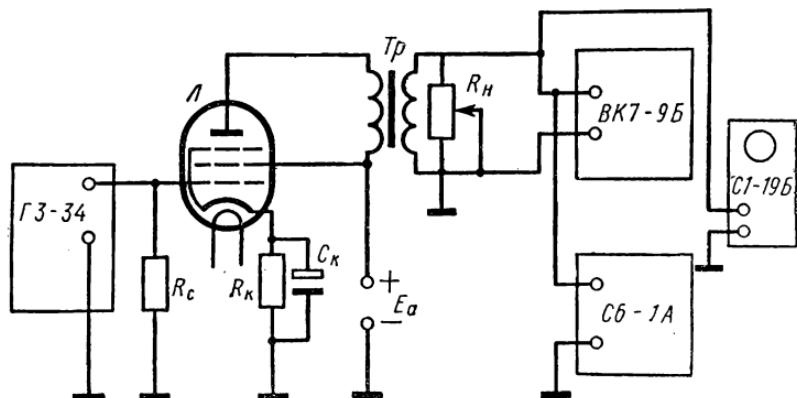


Рис. 22.1. Схема исследования лампового усилителя мощности низкой частоты

Регулируя частоту звукового генератора (при неизменном напряжении на входе усилителя), следят за показаниями выходного вольтметра, т. е. убеждаются в возможности снятия частотной характеристики.

Снятие нагрузочной характеристики усилителя $P_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$

Устанавливают частоту звукового генератора $f = 1000$ Гц, а напряжение на входе усилителя $U_{\text{вх}}$ порядка 5 В. Изменяя сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$ от $R_{\text{н min}}$ до $R_{\text{н max}}$, наблюдают за показаниями вольтметра для пяти — шести значений $R_{\text{н}}$.

Выходная мощность усилителя

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

Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 22.1).

По данным таблицы определяют оптимальное сопротивление нагрузки $R_{\text{н опт}}$, соответствующее максимальной выходной мощности каскада.

Таблица 22.1

$$P_{\text{вых}} = f(R_{\text{h}})$$

$$U_{\text{вх}} = \dots, B = \text{const}; \quad f = \dots, \Gamma_{\text{ц}} = \text{const}$$

$R_{\text{h}}, \text{Ом}$					
$U_{\text{вых}}, \text{В}$					
$P_{\text{вых}}, \text{Вт}$					

**Определение влияния сопротивления нагрузки
на коэффициент нелинейных искажений $K_{\text{г}} = \varphi(R_{\text{h}})$**

Напряжение на входе усилителя и частоту сигнала устанавливают неизменными (например, $U_{\text{вх}} = 5 \text{ В}$, $f = 1000 \text{ Гц}$). Изменяя сопротивление нагрузки, прибором С6-1А определяют коэффициент нелинейных искажений, а осциллографом снимают эпюры выходного напряжения при различных значениях сопротивления R_{h} . Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 22.2).

Таблица 22.2

$$K_{\text{г}} = \varphi(R_{\text{h}}); \quad U_{\text{вх}} = \dots, B = \text{const}; \quad f = \dots, \Gamma_{\text{ц}} = \text{const}$$

$R_{\text{h}}, \text{Ом}$	$K_{\text{г}}, \%$

Снятие частотной характеристики усилителя $K = \varphi'(f)$

На входе усилителя устанавливают напряжение $U_{\text{вх}}$ порядка 5 В и поддерживают его неизменным. Сопротивление $R_{\text{в}}$ выбирается такой величины, при которой выходная мощность $P_{\text{вых}}$ максимальна (см. табл. 22.1). Изменяя частоту звукового генератора от 20—50 Гц до 15—20 кГц, измеряют напряжение на выходе усилителя. Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 22.3).

Таблица 22.3

$$K = \varphi'(f)$$

$U_{\text{вх}} = \dots, \text{В} = \text{const}; R_{\text{в}} = \dots, \text{Ом} = \text{const}$

$f, \text{Гц}$	$U_{\text{вх,х}}, \text{В}$	$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$	$K, \text{дБ} = 20 \lg K$

Построение нагрузочной и частотной характеристик усилителя

Нагрузочную характеристику усилителя строят в прямоугольной системе координат по данным табл. 22.1. Примерный вид ее дан на рис. 22.2. Частотную характеристику строят по данным табл. 22.3. В прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают частоту (в логарифмическом масштабе), а по оси ординат — значение коэффициента усиления K (в дБ).

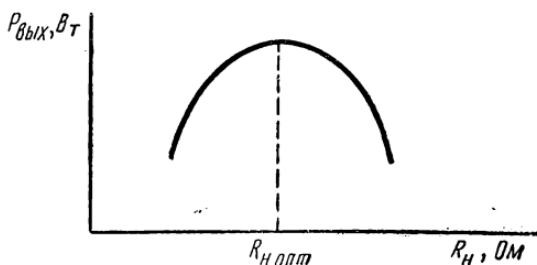


Рис. 22.2. Нагрузочная характеристика лампового усилителя мощности

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования усилителя мощности с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицы наблюдений;
- 4) графики нагрузочной и частотной характеристик;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Цель работы — исследование действия отрицательной обратной связи по току и по напряжению на усилитель мощности низкой частоты.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 372—381; Л. 2, стр. 238—247].

Контрольные вопросы

1. Что такое отрицательная обратная связь и для каких целей она применяется?
2. Почему в усилителях не используется положительная обратная связь?
3. Как изменяется коэффициент усиления усилителя при введении отрицательной обратной связи?
4. Чем объяснить изменение вида частотной характеристики усилителя при введении отрицательной обратной связи?
5. Как объяснить повышение стабильности усиления усилителя при наличии отрицательной обратной связи?
6. Укажите особенности работы катодного повторителя.
7. В чем различие отрицательной обратной связи по напряжению и току?
8. Начертите основные схемы подачи напряжения отрицательной обратной связи в усилителе низкой частоты.
9. Почему отрицательной обратной связью чаще всего охватывают выходной каскад усилителя низкой частоты?
10. Укажите возможные причины появления паразитных обратных связей в усилителе и способы их подавления.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования усилителя низкой частоты с отрицательной обратной связью приведена на рис. 23.1. Напряжение усиливаемого сигнала подается на вход усилителя от генератора звуковой частоты типа Г3-34. Величину входного напряжения устанавливают по вольтметру на лицевой панели генератора. Лампой усилителя служит выходной пентод 6П14П, работающий на активное сопротивление нагрузки R_h , включенное через выходной трансформатор Tr . В качестве источника напряжения E_a используют выпрямитель на 250—300 В. Вольтметром типа ВК7-9Б измеряют переменное напряжение на выходе усилителя; с помощью осциллографа С1-19Б наблюдают форму выходного напряжения, а прибором С6-1А измеряют величины нелинейных искажений усиливаемого сигнала.

Правила пользования этой аппаратурой приведены в приложениях II, III, VI и VII.

Данные остальных деталей схемы указаны в табл. 23.1.

Таблица 23.1

Элементы схемы исследования усилителя с отрицательной обратной связью

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
R_c	Резистор СП-II-A2	100 кОм, 2 Вт
R_k	Резистор МЛТ-2	200 Ом $\pm 5\%$
R_{cb}	Резистор МЛТ-1	910 кОм $\pm 5\%$
R_h	Резистор ПЭ-7,5	10 Ом $\pm 5\%$
C_p	Конденсатор МБМ-160	0,05 мкФ $\pm 10\%$
C_1	Конденсатор КБГ-И-400	0,05 мкФ $\pm 10\%$
C_2	Конденсатор КТ-1	82 пФ $\pm 5\%$
C_3	Конденсатор КТ-1	18 пФ $\pm 5\%$
C_k	Конденсатор К50-6	50 мкФ, 25 В
Tr	Выходной трансформатор низкой частоты	см. работу № 22
B_1	Переключатель галетный	
B_2	Тумблер МТ-1	

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие частотной характеристики $K=\varphi(f)$:
 - а) без обратной связи,
 - б) с отрицательной обратной связью по напряжению,
 - в) с отрицательной обратной связью по току.
3. Снятие амплитудной характеристики усилителя $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$. Определение величины коэффициента нелинейных искажений:
 - а) без обратной связи,
 - б) с отрицательной обратной связью по напряжению,
 - в) с отрицательной обратной связью по току.
4. Построение частотных и амплитудных характеристик усилителя.

Сборка и опробование схемы

Схему исследования усилителя собирают в соответствии с рис. 23.1; после проверки схему опробуют. Переключатели B_1 и B_2 устанавливают в положение 1. Включают источник питания и подают на вход усилителя напряжение порядка 3—5 В от звукового генератора.

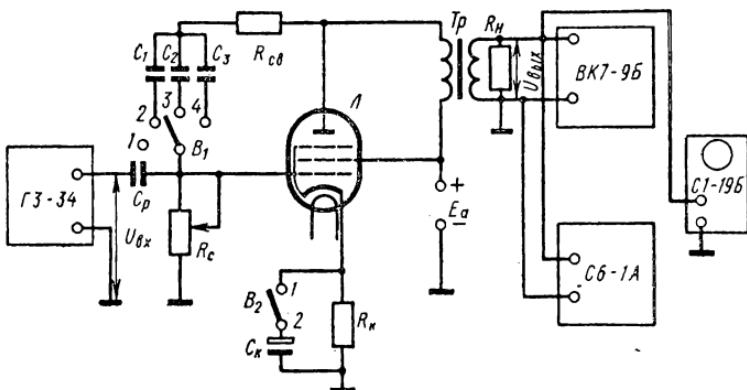


Рис. 23.1. Схема исследования усилителя с отрицательной обратной связью

Чают источник питания и подают на вход усилителя напряжение порядка 3—5 В от звукового генератора. Изменяя частоту усиливаемого сигнала (при неизменном напряжении на входе усилителя), следят за показаниями

выходного вольтметра, убеждаясь в возможности снятия частотной характеристики. Переключателями B_1 и B_2 поочередно охватывают каскад отрицательной обратной связью по напряжению и току. Убеждаются в том, что введение этой связи влияет на величину нелинейных искажений сигнала и форму частотной характеристики каскада.

Снятие частотной характеристики усилителя $K = \varphi(f)$

Переключатели B_1 и B_2 устанавливают в положение 1. На вход усилителя подают напряжение $U_{\text{вх}}=5$ В, поддерживая его постоянным. Изменяя частоту звукового генератора от 20—25 Гц до 15—20 кГц, измеряют напряжение на выходе усилителя. Аналогичные измерения производят при установке переключателя B_1 в положения 2, 3, 4, т. е. при охвате каскада частотно-зависимой отрицательной обратной связью по напряжению. Глубину этой связи регулируют переменным резистором R_c . Для испытания усилителя, охваченного отрицательной обратной связью по току, переключатель B_1 надо установить в положение 1, а B_2 — разомкнуть (т. е. отключить конденсатор C_k).

Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 23.2).

Таблица 23.2

Частотная характеристика усилителя
 $K = \varphi(f)$ при $U_{\text{вх}} = \dots$, $B = \text{const}$

Без обратной связи		С отрицательной обратной связью			
$f, \text{ Гц}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				
$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$					
		по напряжению			
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$C_1 = \dots, \text{пФ}$	$C_2 = \dots, \text{ пФ}$	$C_3 = \dots, \text{ пФ}$		
	$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$				
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				по току	
$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$					
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$					

Снятие амплитудной характеристики усилителя $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$. Определение величины коэффициента нелинейных искажений

Переключатели B_1 и B_2 устанавливают в положение 1. Установив постоянной частоту звукового генератора $f = 1000$ Гц, изменяют напряжение на входе усилителя от 1 до 5 В и следят за показаниями вольтметра и измерителя нелинейных искажений. Аналогичные измерения производят при охвате усилителя обратной связью по напряжению и току. Результаты наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 23.3).

Т а б л и ц а 23.3

Амплитудная характеристика усилителя

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$$

$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	Без обратной связи	С обратной связью			
		по напряжению		по току	
$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	$K_{\Gamma}, \%$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$K_{\Gamma}, \%$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$K_{\Gamma}, \%$

Построение частотных и амплитудных характеристик усилителя

Эти характеристики усилителя строят по результатам табл. 23.2 и 23.3 в прямоугольной системе координат. При построении частотных характеристик по оси абсцисс откладывают частоту в логарифмическом масштабе, а по оси ординат — значения коэффициента усиления в децибелах.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования усилителя с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицы наблюдений;
- 4) графики частотных и амплитудных характеристик усилителя;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛЕНИЯ НА ТРАНЗИСТОРЕ

Цель работы — изучение работы схемы и определение основных технических показателей предварительного каскада усилителя низкой частоты на транзисторе.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 456—474; Л. 2, стр. 259—264].

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы и назначение элементов схемы предварительного усилителя на транзисторе.
2. Сравните свойства ламповых и транзисторных каскадов предварительного усиления.
3. Почему в схемах предварительного усиления распространен каскад с общим эмиттером?
4. Приведите примеры транзисторов, применявшихся в схемах предварительного усиления низкой частоты.
5. Какие элементы схемы транзисторного усилителя вызывают появление частотных искажений?
6. Почему емкость разделительных конденсаторов в транзисторных схемах значительно больше, чем в ламповых?
7. Укажите величину коэффициента нестабильности, характерную для схемы низкочастотного предварительного усилителя с общим эмиттером.
8. Постройте и поясните амплитудную характеристику предварительного усилителя на транзисторе.
9. Объясните, как строится нагрузочная прямая в семействе выходных статических характеристик транзистора.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для исследования каскада предварительного усиления на транзисторе используется схема рис. 24.1.

В ней используется звуковой генератор типа Г3-34, вольтметр типа ВК7-9Б и осциллограф С1-19Б. Правила пользования этими приборами приведены в приложениях II, III, VII. Данные остальных элементов схемы приведены в табл. 24.1.

Напряжение источника питания (батареи или аккумулятора) $E_k=10$ В.

Таблица 24.1

**Элементы схемы исследования каскада
предварительного усиления на транзисторе**

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
T	Транзистор МП41	
R_1	Резистор МЛТ-0,5	82 кОм $\pm 10\%$
R_1'	То же	130 кОм $\pm 5\%$
R_2	»	910 кОм ± 59
R_h	»	1 кОм $\pm 10\%$
R_h'	»	10 кОм $\pm 10\%$
R_h''	»	390 Ом $\pm 5\%$
R_3	»	200 Ом $\pm 5\%$
R_{bx2}	»	1 кОм $\pm 10\%$
C_{p1}	Конденсатор К53-4	10 мкФ, 15 В
C_{p2}	То же	10 мкФ, 15 В
C_{p2}'	Конденсатор МБМ-160	0,25 мкФ
C_3	Конденсатор К53-4	10 мкФ, 15 В
B_1	Переключатель галетный	
B_2, B_3	Тумблер МТ-1	

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие амплитудной характеристики усилителя
 $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$.
3. Снятие частотной характеристики $K=\varphi(f)$.
4. Построение амплитудной и частотной характеристик.
5. Определение влияния параметров схемы на технические показатели усилителя.

Сборка и опробование схемы

Схему исследования предварительного транзисторного усилителя собирают в соответствии с рис. 24.1. После проверки схему опробуют. Переключателями B_1 — B_3 в схему включают элементы R_h , R_1 и C_{p2} . Затем на вход усилителя подают напряжение $U_{\text{вх}}$ (порядка долей воль-

та) от звукового генератора, соблюдая осторожность, так как при слишком большом сигнале транзистор может выйти из строя. Необходимо убедиться (с помощью выходного вольтметра или осциллографа) в наличии усиленного напряжения на выходе схемы.

При изменении величины входного сигнала и его частоты выходное напряжение должно изменяться в пределах, достаточных для снятия амплитудной и частотной характеристик.

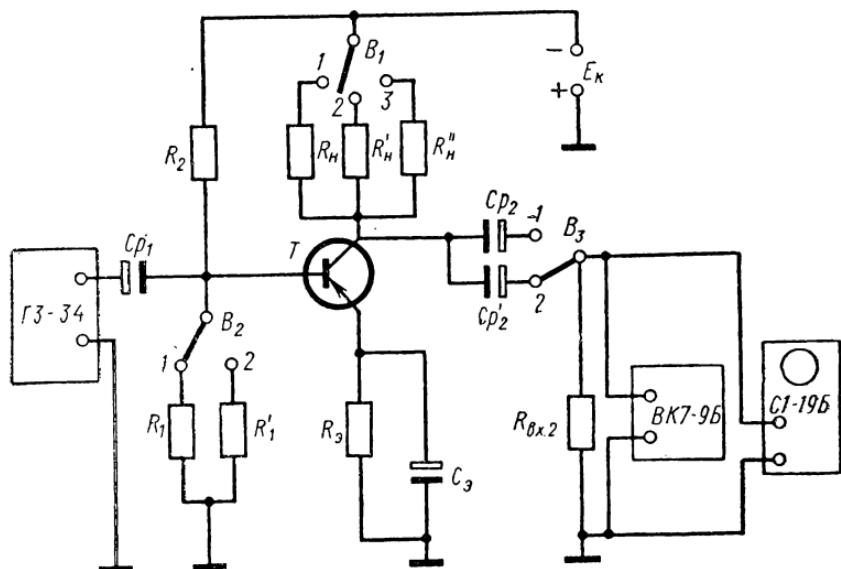


Рис. 24.1. Схема исследования транзисторного усилителя низкой частоты

Затем в схему включают дополнительные элементы, убеждаясь в их влиянии на величину выходного напряжения. Если оно незначительно, надо изменить величины R_1' , R_H' , R_H'' и C_{p2} .

Снятие амплитудной характеристики усилителя

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$$

Частоту звукового генератора устанавливают постоянной ($f=1000$ Гц). Изменяя величину входного сигнала от 0 до 1 В, измеряют напряжение на выходе схемы.

С помощью осциллографа определяют ту величину входного напряжения, при которой появляются нелиней-

ные искажения. При включении в схему резисторов R_h' и R_h'' , а также резистора R_1' наблюдения повторяют.

Результаты измерений записывают в табл. 24.2.

Таблица 24.2

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$$

		$f = \dots, \text{ Гц} = \text{const}$						
$R_h = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$							
$R_1 = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
$R_h = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$							
$R_1' = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
$R_h' = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$							
$R_1 = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
$R_h'' = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$							
$R_1 = \dots, \text{ Ом}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							

Снятие частотной характеристики $K = \varphi(f)$

На вход усилителя подают максимальное напряжение $U_{\text{вх}}$, при котором отсутствуют нелинейные искажения сигнала. Поддерживая это напряжение неизменным, изменяют частоту генератора от 20 Гц до 20 кГц и измеряют напряжение на выходе (обычно достаточно снять показания для 12—15 значений частоты). Частотную характеристику снимают для четырех случаев, соответствующих включению в схему R_hC_{p2} ; $R_h'C_{p2}'$; $R_h''C_{p2}$ и отключению конденсатора C_3 . Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 24.3).

Построение амплитудной и частотной характеристик

По данным табл. 24.2 и 24.3 в прямоугольной системе координат строят амплитудные и частотные характеристики усилителя. Для сравнения характеристики, снятые для различных элементов схемы, строят на одном графике. Частотные характеристики строят в логарифмическом масштабе.

Таблица 24.3

$$K = \varphi(f)$$

		$U_{\text{вх}} = \dots, B = \text{const}$						
$R_H = \dots, \text{Ом}$	$f, \text{ Гц}$							
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
$C_{p2} = \dots, \text{мкФ}$	$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$							
	$f, \text{ Гц}$							
$R'_H = \dots, \text{Ом}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
	$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$							
$C'_{p2} = \dots, \text{мкФ}$	$f, \text{ Гц}$							
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
$R''_H = \dots, \text{Ом}$	$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$							
	$f, \text{ Гц}$							
$C_{p2} = \dots, \text{мкФ}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
	$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$							
$R_H = \dots, \text{Ом}$	$f, \text{ Гц}$							
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$							
$C_{p2} = \dots, \text{мкФ}$ (без C_3)	$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$							
	$f, \text{ Гц}$							

Определение влияния параметров схемы на технические показатели усилителя

На основании табл. 24.2 и 24.3 и графиков амплитудной и частотной характеристик исследуют влияние величины R_H , R_1 , C_{p2} на качество работы усилителя. Результаты исследования записывают в выводах о работе.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования транзисторного усилителя с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицы наблюдений;
- 4) графики амплитудной и частотной характеристик;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 25

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОТАКТНОГО ВЫХОДНОГО КАСКАДА ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы — изучение работы схемы и определение основных технических показателей однотактного выходного каскада усилителя низкой частоты на транзисторе.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 483—486; Л. 2, стр. 267—270].

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы и назначение элементов схемы однотактного выходного каскада транзисторного усилителя.
2. Приведите примеры транзисторов, применяющихся в схемах выходных каскадов.
3. Как выбирают выходной трансформатор для выходного каскада на транзисторе?
4. Укажите причины появления нелинейных искажений в выходном каскаде на транзисторе.
5. Назовите причины появления частотных искажений в выходном каскаде на транзисторе.
6. Начертите график зависимости выходной мощности от величины сопротивления нагрузки.
7. Зависит ли коэффициент нелинейных искажений выходного каскада транзисторного усилителя от величины сопротивления нагрузки?
8. Расскажите о режимах работы выходных каскадов транзисторных усилителей.
9. Как влияет введение отрицательной обратной связи на частотные и нелинейные искажения сигнала в усилителе?

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования однотактного выходного каскада транзисторного усилителя приведена на рис. 25.1, а данные элементов схемы при использовании транзистора типа П201 приведены в табл. 25.1.

Таблица 25.1

Перечень элементов схемы исследования однотактного выходного каскада транзисторного усилителя

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
T	Транзистор П201	
R_1	Резистор МЛТ-0,5	$510 \text{ Ом} \pm 5\%$
R_2	То же	$5,1 \text{ кОм} \pm 5\%$
R_9	Резистор МЛТ-2	$51 \text{ Ом} \pm 5\%$
C_p	Конденсатор К53-4	$10 \text{ мкФ}, 15 \text{ В}$
C_9	Конденсатор К53-4	$10 \text{ мкФ}, 15 \text{ В}$
B	Тумблер МТ-1	

Сопротивлением нагрузки R_n может быть предварительно проградуированный реостат на $40-50 \text{ Ом}$ или магазин сопротивлений (типа Р33).

Выходной трансформатор Тр собран на сердечнике Ш10×14. Первичная обмотка содержит 350 витков провода ПЭВ-1 0,23 мм, вторичная — 170 витков провода ПЭВ-1 0,51 мм.

Источником питания служит батарея или аккумулятор с напряжением $E_k=15 \text{ В}$.

Правила пользования измерительной аппаратурой — генератором низкой частоты ГЗ-34, вольтметром ВК7-9Б, осциллографом С1-19Б и измерителем нелинейных искажений С6-1А даны в приложениях II, III, VI и VII.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие зависимости выходной мощности и коэффициента нелинейных искажений от сопротивления нагрузки $P_{\text{вых}}=f(R_n)$, $K_r=f_1(R_n)$.

3. Снятие частотной характеристики усилителя $K = \varphi(f)$.

4. Построение зависимостей $P_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$, $K_{\text{г}} = f_1(R_{\text{н}})$ и $K = \varphi(f)$.

Сборка и опробование схемы

Схему исследования выходного каскада транзисторного усилителя собирают в соответствии с рис. 25.1. После проверки схему опробуют.

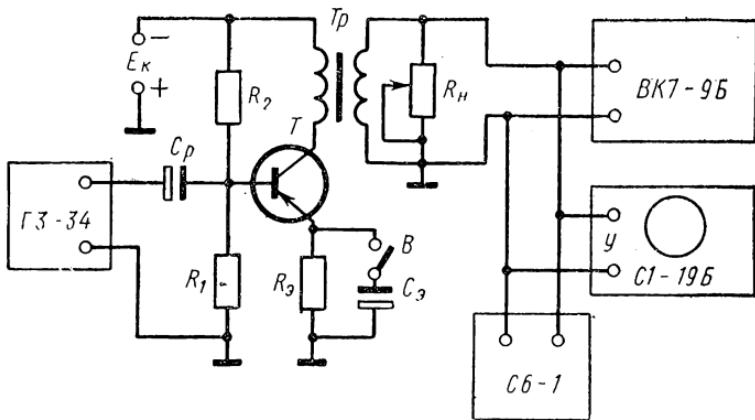


Рис. 25.1. Схема исследования однотактного выходного каскада транзисторного усилителя низкой частоты

На выходе схемы устанавливают сопротивление резистора $R_{\text{н}}$ порядка нескольких десятков Ом. Затем подключают источник питания и подают на вход усилителя напряжение $U_{\text{вх}}$ от звукового генератора (доли вольта). Меняя величину нагрузочного сопротивления наблюдают за изменениями выходного напряжения (по вольтметру ВК7-9Б) и за показаниями измерителя нелинейных искажений, т. е. проверяют возможность снятия зависимости $P_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$ и $K_{\text{г}} = f_1(R_{\text{н}})$. После этого при постоянных значениях $U_{\text{вх}}$ и $R_{\text{н}}$ изменяют частоту звукового генератора, убеждаясь в возможности снятия частотной характеристики усилителя $U_{\text{вых}} = \varphi(f)$. Опробование проводят для двух положений переключателя B .

Снятие зависимостей $P_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$ и $K_{\text{г}} = f_1(R_{\text{н}})$

Устанавливают частоту звукового генератора $f = 1000$ Гц, напряжение на входе усилителя поддержи-

вают неизменным. Переключатель B замыкают (исключая тем самым обратную связь по току).

Изменяя сопротивление нагрузки R_H , следят за показаниями вольтметра и измерителя нелинейных искажений. Данные записывают в таблицу наблюдений (табл. 25.2).

Таблица 25.2

$$P_{\text{вых}} = f(R_H), K_F = f_1(R_H)$$

$f = 1000 \text{ Гц} = \text{const}; U_{\text{вх}} = \dots, B = \text{const}$						
$R_H, \text{ Ом}$						
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$						
$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}^2}{R_H}, \text{ Вт}$						
$K_F, \%$						

На экране осциллографа наблюдают форму напряжения на выходе усилителя. Уточняют величину оптимального сопротивления нагрузки R_H , соответствующую максимальной выходной мощности при минимальных нелинейных искажениях сигнала.

При введении в схему отрицательной обратной связи по току (переключатель B разомкнут) наблюдения повторяют.

Снятие частотной характеристики усилителя $K = \varphi(f)$

Зависимость выходного напряжения от частоты снимают при неизменном напряжении на входе усилителя и оптимальном сопротивлении нагрузки $R_{H\text{опт}}$. Частоту генератора изменяют в пределах от 20 Гц до 20 кГц (12—15 значений). Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 25.3).

По результатам таблицы определяют полосу пропускания усилителя (на уровне 0,7 $K_{\text{ср}}$).

Наблюдения проводят для двух положений переключателя B .

Таблица 25.3

$$K = \varphi(f)$$

$U_{\text{вх}} = \dots, \quad B = \text{const}; \quad R_h = \dots, \quad \Omega_m = \text{const}$						
$f, \text{ Гц}$						
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$						
$K, \text{ дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$						

Наблюдения проводят для двух положений переключателя B .

Построение зависимостей $P_{\text{вых}} = f(R_h)$, $K_r = f_1(R_h)$
и $K = \varphi(f)$

На основании данных табл. 25.2 и 25.3 в прямоугольной системе координат строят графики зависимостей выходной мощности усилителя и коэффициента нелинейных искажений от сопротивления нагрузки, а также коэффициента усиления от частоты. Частотную характеристику строят в логарифмическом масштабе.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования усилителя с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицы наблюдений;
- 4) графики зависимостей $P_{\text{вых}} = f(R_h)$, $K_r = f_1(R_h)$ и $K = \varphi(f)$ (с обратной связью и без обратной связи);
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 26

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХТАКТНОГО ВЫХОДНОГО КАСКАДА ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы — ознакомление с особенностями работы двухтактного выходного каскада усилителя низкой частоты на транзисторах в режиме B .

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 486—490; Л. 2, стр. 270—275].

Контрольные вопросы

1. Какие особенности имеет схема двухтактного выходного каскада транзисторного усилителя низкой частоты?
2. Чем определяется режим работы двухтактного каскада и в каких режимах он может работать?
3. Чем отличается выходной трансформатор двухтактного каскада от однотактного?
4. Как выбирается величина напряжения источника питания для двухтактного выходного каскада на транзисторах в режиме В?
5. Поясните назначение входного трансформатора T_{p1} в схеме двухтактного каскада (см. рис. 26.1).
6. Начертите схему бестрансформаторного двухтактного каскада на транзисторах.
7. С какой целью в некоторых выходных каскадах используются транзисторы с радиаторами?
8. Назовите причины возникновения частотных и нелинейных искажений в двухтактном транзисторном усилителе низкой частоты.
9. При каких условиях можно получить наибольшую мощность на выходе двухтактного выходного каскада на транзисторах?

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования двухтактного выходного каскада на транзисторах приведена на рис. 26.1. Источником

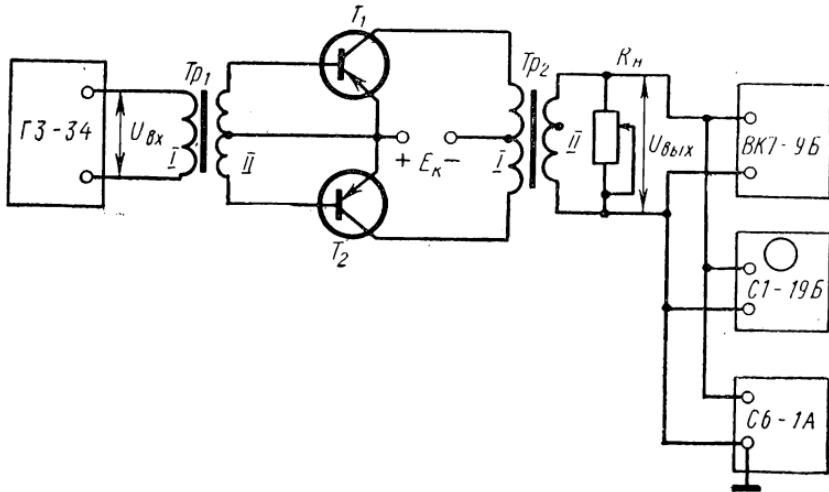


Рис. 26.1. Схема исследования двухтактного выходного каскада на транзисторах

входного сигнала служит генератор типа Г3-34, включенный в первичную обмотку входного трансформатора Tp_1 . Транзисторы T_1 и T_2 должны быть идентичными по своим параметрам. При использовании транзисторов типа МП41 напряжение источника питания $E_k=9$ В. Источником питания может быть батарея (например, шесть гальванических элементов «Сатурн», соединенных последовательно) или выпрямитель.

В качестве сопротивления нагрузки можно использовать предварительно проградуированный реостат с сопротивлением 30—40 Ом или магазин сопротивлений (типа Р33). Правила пользования вольтметром ВК7-9Б, электронным осциллографом С1-19Б, магазином сопротивлений Р33, генератором Р3-34 и измерителем нелинейных искажений С6-1А приведены в приложениях II, III, V, VI и VII.

Входной (Tp_1) и выходной (Tp_2) трансформаторы выполнены на сердечниках из пластин Ш-8×8. Данные обмоток трансформаторов приведены в табл. 26.1.

Т а б л и ц а 26.1

Данные обмоток трансформаторов

Обозначение	Обмотка	Марка и диаметр провода	Число витков
Tp_1	I	ПЭВ-2 0,1	2200
	II	ПЭВ-2 0,14	480+480
Tp_2	I	ПЭВ-2 0,18	350+350
	II	« ПЭВ-2 0,29	184

В качестве трансформаторов Tp_1 и Tp_2 можно использовать стандартные трансформаторы от транзисторных радиоприемников.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие нагрузочной характеристики усилителя $P_{\text{вых}}=f(R_n)$ и определение влияния величины сопротивления нагрузки на коэффициент нелинейных искажений $K_f=f_1(R_n)$.

3. Снятие частотной характеристики усилителя $K = \varphi(f)$.

4. Построение нагрузочной и частотной характеристик усилителя.

Сборка и опробование схемы

Схему исследования двухтактного выходного каскада собирают в соответствии с рис. 26.1. Проверив собранную схему, приступают к ее опробованию. Включают источник питания и подают на вход усилителя напряжение $U_{\text{вх}}$ (порядка 1—2 В) от звукового генератора. С помощью вольтметра или осциллографа проверяют наличие напряжения $U_{\text{вых}}$ на выходе схемы. При неизменной частоте генератора $f = 1000$ Гц изменяют величину сопротивления R_h и наблюдают за изменениями напряжения на выходе схемы. Это напряжение должно изменяться в пределах, достаточных для снятия нагрузочной характеристики $P_{\text{вых}} = f(R_h)$. Одновременно следят за показаниями прибора С6-1А. При изменении R_h коэффициент нелинейных искажений K_f также должен изменяться.

Регулируя частоту звукового генератора (при неизменном напряжении на входе усилителя), следят за показаниями вольтметра, убеждаясь в возможности снятия частотной характеристики $K = \varphi(f)$.

Снятие нагрузочной характеристики усилителя $P_{\text{вых}} = f(R_h)$ и определение влияния величины сопротивления нагрузки на коэффициент нелинейных искажений $K_f = f_1(R_h)$

Устанавливают частоту звукового генератора $f = 1000$ Гц, а напряжение на входе усилителя $U_{\text{вх}}$ порядка 1—2 В. Изменяя сопротивление нагрузки от $R_{h\min}$ до $R_{h\max}$, следят за показаниями вольтметра. Наблюдения производят для пяти—шести значений R_h . Выходную мощность усилителя определяют по формуле

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}^2}{R_h}. \text{ Одновременно замечают значения } K_f \text{ по}$$

прибору С6-1 и с помощью осциллографа снимают эпюры выходного напряжения при различных значениях сопротивления R_h .

Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 26.2).

Таблица 26.2

Нагрузочная характеристика усилителя

$$P_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$$

$U_{\text{вх}} = \dots, B = \text{const}; f \dots \Gamma_{\text{ц}} = \text{const}$

$R_{\text{н}}, \text{Ом}$				
$U_{\text{вых}}, \text{В}$				
$P_{\text{вых}}, \text{Вт}$				
$K_{\text{г}}, \%$				

По данным этой таблицы находят оптимальное сопротивление нагрузки $R_{\text{н,опт}}$, соответствующее максимальной выходной мощности каскада.

Снятие частотной характеристики усилителя $K = \varphi(f)$

При неизменном напряжении на входе усилителя и оптимальном сопротивлении нагрузки $R_{\text{н,опт}}$ снимают зависимость выходного напряжения от частоты усиливающего сигнала. Частоту генератора изменяют в пределах от 20 Гц до 20 кГц (12—15 значений). Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 26.3).

Таблица 26.3

Частотная характеристика усилителя $K = \varphi(f)$

$U_{\text{вх}} = \dots, B = \text{const}; R_{\text{н,опт}} = \dots, \text{Ом} = \text{const}$

$f, \text{Гц}$				
$U_{\text{вых}}, \text{В}$				
$K, \text{дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$				

Построение нагрузочной и частотной характеристик усилителя

По данным табл. 26.2 и 26.3 в прямоугольной системе координат строят графики зависимостей $P_{\text{вых}}=f(R_{\text{h}})$ и $K=\varphi(f)$.

Частотную характеристику строят в логарифмическом масштабе.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицы наблюдений;
- 4) графики зависимостей $P_{\text{вых}}=f(R_{\text{h}})$ и $K=\varphi(f)$;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 27

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы — изучение работы и определение основных технических показателей параллельно-балансной схемы усилителя постоянного тока на транзисторах.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 509—512; Л. 2, стр. 275—276].

Контрольные вопросы

1. Укажите наиболее характерные особенности схем усилителей постоянного тока.
2. Что называется дрейфом нуля? Укажите основные причины дрейфа нуля в транзисторном усилителе постоянного тока и методы его уменьшения.
3. Почему для работы в схемах усилителей постоянного тока в основном используются кремниевые транзисторы?
4. Начертите типовые схемы транзисторных усилителей постоянного тока.
5. Как осуществляется стабилизация режима работы транзисторов в схемах усилителей постоянного тока?
6. Назовите особенности работы балансных каскадов транзисторных усилителей постоянного тока.

7. Какой параметр транзисторов наиболее важен для их работы в балансной схеме усилителя постоянного тока?

8. Расскажите о применении транзисторных усилителей постоянного тока в электронной аппаратуре.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования параллельно-балансного каскада транзисторного усилителя постоянного тока приведена на рис. 27.1.

В качестве источника усиливаемого сигнала используется батарея или аккумулятор с э.д.с. $E_{\text{вх}}$ порядка 3—5 В. Напряжение подводится к делителю напряжения $R'R''$. Таким делителем могут быть два последовательно включенных магазина сопротивлений типа Р33 *. Э.д.с. источника питания схемы $E=12$ В.

Напряжения $U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ измеряются вольтметрами V_1 и V_2 , рассчитанными на измерение постоянного напряжения в пределах от нескольких милливольт до нескольких вольт, а входной и выходной токи усилителя — миллиамперметрами постоянного тока mA_1 и mA_2 . Пределы измерений приборов уточняются при опробовании схемы.

Данные остальных деталей схемы приведены в табл. 27.1.

Таблица 27.1

Элементы схемы исследования транзисторного усилителя постоянного тока

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
T_1 и T_2	Транзистор МП41	
$R_1 = R_1'$	Резистор МЛТ-0,5	$30 \text{ кОм} \pm 5\%$
$R_2 = R_2'$	То же	$2 \text{ кОм} \pm 5\%$
$R_3 = R_3'$	»	$51 \text{ Ом} \pm 5\%$
$R_4 = R_4'$	»	$1,2 \text{ кОм} \pm 5\%$
R_h	Резистор МЛТ-1	$1,6 \text{ кОм} \pm 5\%$
B_1 и B_2	Тумблер МТ-1	

* Вместо делителя $R'R''$ может использоваться переменный резистор.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Определение дрейфа напряжения и тока на выходе усилителя.
3. Снятие зависимостей $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ и $I_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$.
4. Построение графиков зависимостей $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ и $I_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$.
5. Определение коэффициентов усиления по напряжению K_u , току K_i и мощности K_p .

Сборка и опробование схемы

Элементы схемы транзисторного усилителя постоянного тока соединяют между собой в соответствии с рис. 27.1. После проверки приступают к опробованию

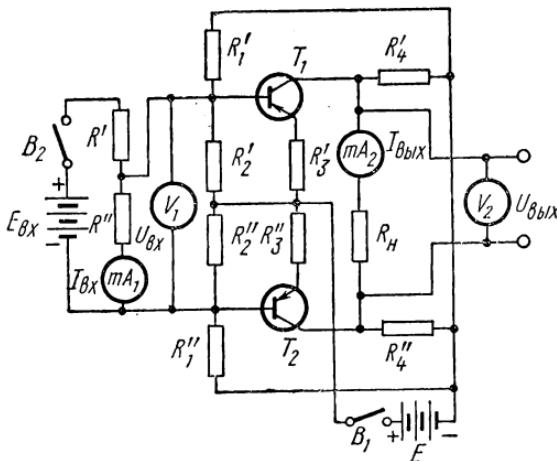


Рис. 27.1. Схема исследования транзисторного усилителя постоянного тока

схемы. Прежде всего производят балансировку каскада. Для этого с помощью выключателя B_1 подводят к транзисторам постоянное напряжение питания и добиваются минимальных показателей приборов V_2 и mA_2 , отмечающих напряжение и ток на выходе усилителя при отсутствии входного сигнала. Если каскад разбалансирован, необходимо подобрать транзисторы T_1 и T_2 , стремясь к их идентичности по β и $I_{\text{к0}}$. Асимметрия схемы может

быть причиной разбалансировки каскада. Поэтому надо подбирать сопротивления резисторов, входящих в схему усилителя, добиваясь выполнения следующих равенств*

$$R_1' = R_1''; R_2' = R_2''; R_3' = R_3'' \text{ и } R_4' = R_4''$$

Затем замыкают контакты B_2 и подают на вход усилителя постоянное напряжение от источника $E_{\text{вх}}$. Изменяя величину входного напряжения $U_{\text{вх}}$ и тока $I_{\text{вх}}$ (изменением величины сопротивлений резисторов R' и R''), следят за показаниями вольтметров V_1 и V_2 и миллиамперметров mA_1 и mA_2 . При этом напряжение и ток на выходе усилителя должен превышать напряжение и ток на его входе. В процессе опробования схемы необходимо подобрать измерительные приборы, обращая внимание на чувствительность приборов, установленных на выходе усилителя, что важно для наблюдения дрейфа нуля.

Определение дрейфа напряжения и тока на выходе усилителя

Для того чтобы проследить за дрейфом напряжения и тока на выходе усилителя, нужно при неизменном входном напряжении $U_{\text{вх}}$ снять несколько значений $U_{\text{вых}}$ и $I_{\text{вых}}$. Измерения производят через определенные интервалы времени t , например, через 1 мин. Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 27.2).

Таблица 27.2

$$U_{\text{вых}}(I_{\text{вых}}) = f(t) \text{ при } U_{\text{вх}} = \text{const} \text{ и } I_{\text{вх}} = \text{const}$$

$U_{\text{вх}} = \dots, \text{В} = \text{const}$		
$t, \text{ мин}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$
t_0		
t_1		
t_2		
t_3		
t_4		•

* Для более точной исходной балансировки каскада резисторы, входящие в схему, могут быть переменными.

По результатам наблюдений в прямоугольной системе координат строят график зависимости

$$U_{\text{вых}} = f(t) \text{ и } I_{\text{вых}} = f'(t) \text{ при } U_{\text{вх}} = \text{const}; I_{\text{вх}} = \text{const}.$$

При наличии высокочувствительных приборов можно снять временной дрейф нуля на выходе усилителя при отключенном источнике входного сигнала. Данные наблюдений записывают в таблицу, аналогичную табл. 27.2.

Снятие зависимостей $U_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{вх}})$ и $I_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$

Напряжение и ток на входе усилителя изменяют с помощью двух магазинов сопротивлений R' и R'' . При этом вольтметр будет показывать напряжение

$$U_{\text{вх}} = E_{\text{вх}} \frac{R''}{R' + R''}.$$

С помощью миллиамперметра mA_1 можно измерять входной ток усилителя

$$I_{\text{вх}} = \frac{E_{\text{вх}}}{R' + R''}.$$

Напряжение и ток на выходе усилителя снимают для нескольких значений $U_{\text{вх}}$ и $I_{\text{вх}}$ (в том числе и при перемене полярности источника $E_{\text{вх}}$). Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 27.3).

Т а б л и ц а 27.3
 $U_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{вх}}); I_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$

$U_{\text{вх}}, \text{ В}$					
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$					
$I_{\text{вх}}, \text{ мА}$					
$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$					

Построение графиков зависимостей $U_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{вх}})$ и $I_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$

По данным табл. 27.3 в прямоугольной системе координат строят зависимости выходного напряжения и вы-

ходного тока от напряжения и тока на входе усилителя. Примерный вид графика зависимости $U_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{вх}})$ показан на рис. 27.2. Аналогичную форму имеет график зависимости $I_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$.

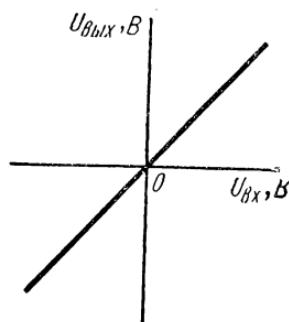


Рис. 27.2. График зависимости $U_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{вх}})$

Определение коэффициентов усиления по напряжению K_u , току K_i и мощности K_p

Для определения коэффициентов усиления схемы по напряжению, току и мощности необходимо в формулы

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}, \quad K_i = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} \quad \text{и} \quad K_p = K_u K_i$$

подставить данные табл. 27.3.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования транзисторного усилителя постоянного тока с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицы наблюдений;
- 4) графики зависимостей $U_{\text{вых}} = f_1(U_{\text{вх}})$ и $I_{\text{вых}} = \varphi(I_{\text{вх}})$;
- 5) расчет коэффициентов усиления схемы по напряжению, току и мощности;
- 6) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 28

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ

Цель работы — изучение резонансных явлений в последовательном и параллельном колебательных контурах.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 205—226].

Контрольные вопросы

1. Объясните процесс возникновения и установления колебаний в контуре.
2. От чего зависит амплитуда и частота свободных колебаний в контуре?
3. Что такое добротность контура?
4. В чем отличие вынужденных колебаний от свободных?
5. При каких условиях в последовательном колебательном контуре возникает резонанс? Каковы основные свойства последовательного контура при резонансе?
6. При каких условиях возникает резонанс в параллельном контуре? Расскажите о свойствах параллельного контура при резонансе.
7. Какую зависимость изображает резонансная кривая контура? От чего зависит форма резонансной кривой?
8. Что такое полоса пропускания колебательного контура и как она определяется по резонансной кривой?
9. Укажите области применения последовательных и параллельных колебательных контуров.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для исследования колебательных контуров используются схемы, приведенные на рис. 28.1. Источником переменного напряжения служит генератор высокой частоты типа Г4-18А. Для измерения высокочастотного напряжения на контурах используется вольтметр типа ВК7-9Б. Основные технические данные этих приборов и правила пользования ими приведены в приложениях II и VIII.

Частоту собственных колебаний f_0 контуров выбирают в пределах диапазона частот генератора Г4-18А (порядка сотен килогерц). Катушка индуктивности имеет индуктивность $2 \div 3$ мГ. Емкость конденсатора C — сотни пикофарад.

В схеме рис. 28.1, *а* величину сопротивления резистора R , включаемого в схему с помощью переключателя B , выбирают порядка 100 Ом; в схеме рис. 28.1, *б* сопротивление резистора R_0 составляет десятки килоом, а $R=75 \div 100$ Ом. Величины сопротивлений этих резисторов уточняют при опробовании схемы.

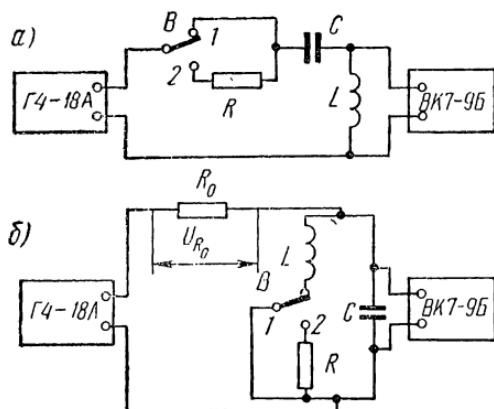


Рис. 28.1. Схема исследования последовательного (*а*) и параллельного (*б*) колебательных контуров

Переключателями B в схемах служат тумблеры на два положения типа МТ-1.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы исследования последовательного контура.
2. Снятие резонансных кривых контура $\frac{U_L}{U_{L \text{рез}}} = \varphi(f)$.
3. Сборка и опробование схемы исследования параллельного контура.
4. Снятие резонансных кривых: а) $\frac{U_K}{U_{K \text{рез}}} = \varphi_1(f)$;
- б) $I_0 = \varphi_1(f)$.

5. Построение графиков резонансных кривых.
6. Определение основных параметров контуров: положения пропускания и добротности.

Сборка и опробование схемы исследования последовательного контура

Для исследования последовательного контура собирают схему, приведенную на рис. 28.1, а. Проверив собранную схему, к сети подключают генератор высокой частоты и вольтметр ВК7-9Б. Переключатель B устанавливают в положение 1. На контур подают напряжение порядка 0,8—1 В. Затем определяют рабочий диапазон частот генератора, на который настроен колебательный контур. Для этого устанавливают указатель плавной настройки в среднее положение по шкале частот и переключателем диапазонов включают поочередно различные диапазоны частот до получения заметного напряжения на катушке контура, указанного вольтметром. Плавно изменяя частоту генератора, определяют наибольшее значение напряжения на катушке, соответствующее резонансу. Переключатель B переводят в положение 2. При этом напряжение на катушке контура должно уменьшиться. Если этого не происходит, то следует подобрать сопротивление резистора R большей величины.

Снятие резонансных кривых контура
$$\frac{U_L}{U_{L \text{рез}}} = \varphi(f)$$

Резонансные кривые $\frac{U_L}{U_{L \text{рез}}} = \varphi(f)$ снимают для двух

положений переключателя B . Вначале устанавливают переключатель в положение 1. На контур подают напряжение порядка 0,8—1 В от генератора. Это напряжение поддерживают неизменным. Изменяя частоту генератора, добиваются резонанса напряжений. По вольтметру замечают напряжение $U_{L \text{рез}}$, затем для 15—20 значений частоты генератора снимают показания вольтметра. Аналогичные измерения производят при включении в контур резистора R .

Результаты наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 28.1).

$$\frac{U_L}{U_{L \text{ рез}}} = \varphi(f)$$

		$U_r = \dots, B = \text{const}$					
$R = 0, \text{ Ом}$	$f, \text{ кГц}$						
	$U_L, \text{ В}$						
	$\frac{U_L}{U_{L \text{ рез}}}$						
$R = \dots, \text{ Ом}$	$U_L, \text{ В}$						
	$\frac{U_L}{U_{L \text{ рез}}}$						

Сборка и опробование схемы исследования параллельного контура

Схему исследования параллельного контура собирают в соответствии с рис. 28.1, б. Собранный схему проводят и опробуют. Переключатель B устанавливают в положение 1. Включают в сеть генератор и вольтметр. На выходе генератора напряжение должно быть порядка 1 В. Находят диапазон частот генератора, в котором лежит собственная частота колебаний контура. Плавно изменяя частоту генератора, настраивают контур в резонанс, признаком которого может быть получение максимального напряжения на контуре, измеряемого вольтметром. При снятии зависимости $\frac{U_k}{U_{k \text{ рез}}} = \varphi_1(f)$ в схему

следует включить резистор R_0 . Величина его сопротивления должна быть в несколько раз больше резонансного сопротивления контура R_{oe} .

Затем устанавливают переключатель в положение 2 и убеждаются, что резонансное напряжение на контуре при этом несколько снижается.

Для снятия зависимости $I_0 = \varphi_1'(f)$ переключатель вновь устанавливают в положение 1, а высокоомный резистор R_0 заменяют низкоомным (порядка нескольких

сотен Ом): Параллельно этому резистору (см. рис. 28.1, б) подключают вольтметр ВК7-9Б. Изменяя частоту генератора, добиваются минимальных показаний вольтметра, т. е. настраивают контур в резонанс по минимуму тока $I_0 = \frac{U_{R_0}}{R_0}$. Поскольку величина сопротивления резистора известна (сотни Ом), то определить ток I_0 в неразветвленной цепи не сложно.

Снятие резонансных кривых параллельного контура

Порядок снятия зависимостей $\frac{U_k}{U_{k \text{рез}}} = \varphi_1(f)$ и $I_0 = \varphi_1'(f)$ описан выше. Данные наблюдений записывают в таблицы наблюдений (табл. 28.2 и 28.3):

Т а б л и ц а 28.2

$$\frac{U_k}{U_{k \text{рез}}} = \varphi_1(f)$$

		$U_\Gamma = \dots$ В; $R_0 = \dots$ Ом					
$R = 0$, Ом	f , кГц						
	U_k , В						
	$\frac{U_k}{U_{k \text{рез}}}$						
$R = \dots$, Ом	U_k , В						
	$\frac{U_k}{U_{k \text{рез}}}$						

Т а б л и ц а 28.3

$$I_0 = \varphi_1'(f)$$

		$U_\Gamma = \dots$ В; $R_0 = \dots$ Ом					
f , кГц							
U_{R_0} , В							
I_0 , мА							

Измерения производят примерно для двадцати различных значений частоты генератора.

Построение графиков резонансных кривых

На основании данных табл. 28.1—28.3 в прямоугольной системе координат строят графики резонансных кривых последовательного и параллельного контуров. Для сравнения кривые, снятые при различных значениях активного сопротивления R , включаемого в контур, строятся на одном графике. Примерный вид резонансных кривых приведен на рис. 28.2.

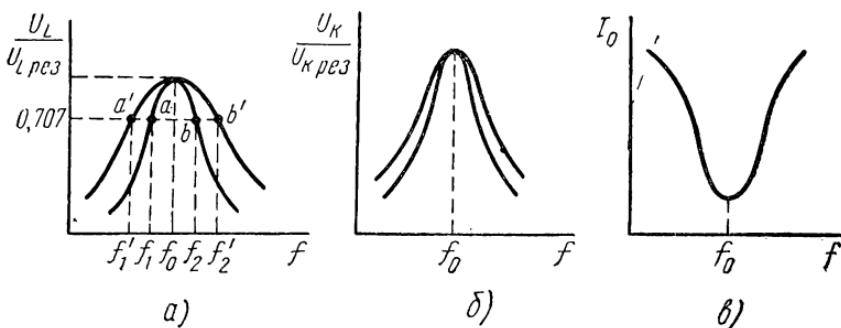


Рис. 28.2. Резонансные кривые последовательного (a) и параллельного (b и в) контуров

Определение основных параметров контуров: полосы пропускания и добротности

По резонансным кривым можно определить полосу пропускания контура (см. рис. 28.2, a). Для этого необходимо из точек a и b (или a и b'), соответствующих $U_L = 0,707 U_{L \text{рез}}$ опустить перпендикуляры на горизонтальную ось. По полученным значениям частот f_1 и f_2 (или f_1' и f_2') находят полосу пропускания

$$2\Delta f = f_2 - f_1 \text{ (или } 2\Delta f = f_2' - f_1' \text{).}$$

Добротность контура

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f}. \quad (28.1)$$

Измерения производят по резонансным кривым, соответствующим обоим положениям переключателей *B*. Результаты вычислений сравнивают между собой.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схемы исследования контуров с краткой характеристикой входящих в них элементов;
- 3) таблицы наблюдений;
- 4) графики резонансных кривых;
- 5) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 29

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы — изучение работы схемы и определение основных технических показателей резонансного усилителя высокой частоты.

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 381—394; Л. 2, стр. 219—222; Л. 4, стр. 94—96].

Контрольные вопросы

1. Начертите схему резонансного усилителя и объясните назначение деталей.
2. Что называется избирательностью резонансного усилителя?
3. Приведите маркировку типичных ламп, применяемых в схемах резонансных усилителей высокой частоты.
4. Определите полосу пропускания резонансного усилителя, настроенного на $f_0=600$ кГц, если добротность нагруженного контура $Q=120$.
5. Определите максимально допустимый (устойчивый) коэффициент усиления резонансного усилителя, если в качестве лампы используется пентод 6К4П, а верхняя частота диапазона $f_{\max}=1,5$ МГц (параметры лампы 6К4П взять из справочника).
6. Начертите примерный график частотной характеристики резонансного усилителя.
7. Расскажите о применении резонансных усилителей.

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования резонансного усилителя приведена на рис. 29.1.

Высокочастотный сигнал поступает на сетку лампы от генератора высокой частоты типа Г4-18А. Для измерения переменного напряжения на выходе усилителя используется вольтметр типа ВК7-9Б. Правила пользования эти-

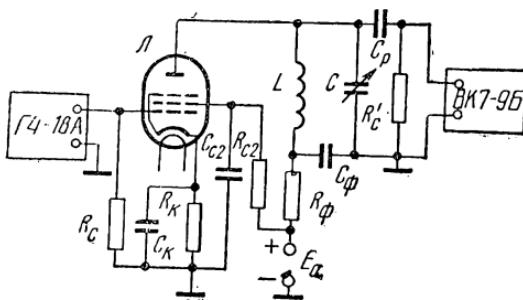


Рис. 29.1. Схема исследования резонансного усилителя

ми приборами приведены в приложениях II и VIII. Данные остальных деталей схемы указаны в табл. 29.1.

В качестве источника питания используется выпрямитель на 250 В (типа УИП-1).

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Снятие зависимости коэффициента усиления от частоты (частотная характеристика) $K=\varphi(f)$.
3. Построение графика частотной характеристики резонансного усилителя.
4. Определение полосы пропускания усилителя.

Сборка и опробование схемы

Схему исследования резонансного усилителя собирают в соответствии с рис. 29.1. После проверки схему опробуют. Включают источник анодного питания и подключают к сети измерительные приборы.

Таблица 29.1

Элементы схемы исследования резонансного усилителя

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
L	Лампа 6К4П	
R_c	Резистор МЛТ-0,25	510 кОм $\pm 5\%$
R_k	Резистор МЛТ-1	430 Ом $\pm 5\%$
R_{c2}	То же	820 кОм $\pm 5\%$
R_ϕ	То же	10 кОм $\pm 10\%$
R'	Резистор МЛТ-0,25	510 кОм $\pm 5\%$
C_k	Конденсатор КСО-5-250	0,01 мкФ
C_{c2}	Конденсатор КСО-5-250	0,01 мкФ
C_ϕ	То же	0,01 мкФ
C_p	Конденсатор КСО-1-250	220 пФ
C	Конденсатор переменной емкости	12—450 пФ
L	Катушка индуктивности	100 витков провода ПЭЛШО-0,1 на каркасе диаметром 10 мм

Напряжение на выходе генератора устанавливают в пределах 1 В. Настройку усилителя на частоту усиливающего сигнала можно производить двумя способами: изменяя емкость переменного конденсатора контура при постоянной частоте генератора или частоту генератора при неизменной емкости контура. Признаком резонанса является максимальное напряжение на контуре, отмечаемое вольтметром. Изменяя частоту генератора, уточняют рабочий диапазон частот усилителя, в котором вольтметр дает показания.

Если собранный усилитель возбуждается, то надо уменьшить его коэффициент усиления за счет снижения напряжения на экранирующей сетке или уменьшения добротности контура подключением добавочного сопротивления (порядка нескольких килоом) параллельно контуру.

Снятие частотной характеристики усилителя

Установив ротор переменного конденсатора контура в среднее положение, подают на вход усилителя напряжение $U_{\text{вх}}=1$ В от генератора типа Г4-18А. Изменяя частоту генератора, настраивают его на резонансную частоту

контура усилителя. При последующих измерениях величину выходного напряжения генератора поддерживают неизменной. Затем изменяют частоту генератора в сторону увеличения и уменьшения от резонансного значения и снимают зависимость выходного напряжения усилителя от частоты.

Аналогичные измерения надо произвести для максимального и минимального значений емкости переменного конденсатора контура. С помощью этих измерений можно определить усилительные и избирательные свойства каскада в пределах рабочего диапазона.

Результаты наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 29.2).

Т а б л и ц а 29.2
 $K = \varphi(f)$

$C_{\text{ср}}$	$f, \text{ кГц}$				
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				
	$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$				
C_{max}	$f, \text{ кГц}$				
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				
	$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$				
C_{min}	$f, \text{ кГц}$				
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$				
	$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$				

Построение частотной характеристики резонансного усилителя

По данным табл. 29.1 в прямоугольной системе координат строят частотные характеристики усилителя для трех значений емкости переменного конденсатора (для

трех точек диапазона). Примерный вид частотной характеристики резонансного усилителя показан на рис. 29.2. Значения резонансных коэффициентов усиления для крайних и средней частот диапазона сравнивают с расчетными данными.

Определение полосы пропускания усилителя

Полосу пропускания $2\Delta f$ усилителя определяют по частотным характеристикам для трех точек рабочего диапазона. Определить полосу пропускания можно по графику (см. рис. 29.2).

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования резонансного усилителя с краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицу наблюдений;
- 4) графики частотных характеристик;
- 5) результаты вычислений полосы пропускания по частотным характеристикам;
- 6) краткие выводы о работе.

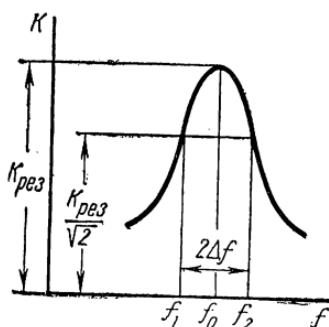


Рис. 29.2. Частотная характеристика резонансного усилителя

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 30

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРА ТИПА LC

Цель работы — изучение схемы и определение технических показателей лампового генератора синусоидальных колебаний высокой частоты (типа *LC*).

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 422—432; Л. 2, стр. 276—283].

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы лампового генератора с самовозбуждением типа LC .
2. Назовите условия самовозбуждения незатухающих колебаний в ламповом генераторе типа LC .
3. Каким должен быть угол сдвига фаз между переменными напряжениями на аноде и сетке лампы для выполнения условия баланса фаз?
4. Определите индуктивность катушки контура лампового генератора, если волновое сопротивление контура $\rho = 600$ Ом, а средняя частота диапазона $f_0 = 500$ кГц.
5. Для чего и как создается напряжение смещения в генераторе с самовозбуждением?
6. Объясните назначение элементов схемы параллельного анодного питания лампового генератора типа LC .
7. Как определить частоту колебаний генератора с помощью осциллографа?
8. Расскажите о способах стабилизации частоты генераторов.
9. Укажите области применения генераторов типа LC .
10. Составьте схемы транзисторных генераторов типа LC .

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Для исследования генератора типа LC используется схема, приведенная на рис. 30.1.

В качестве источника анодного питания можно использовать выпрямитель с напряжением E_a порядка 250—

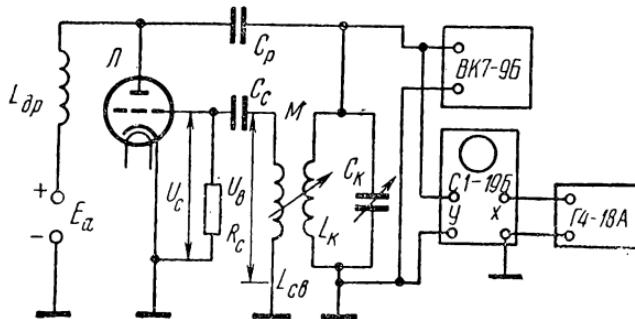


Рис. 30.1. Схема исследования генератора с самовозбуждением (типа LC)

300 В (типа УИП-1). Вольтметром (типа ВК7-9Б) измеряют высокочастотное напряжение на контуре. Для наблюдения формы электрических колебаний используют электронный осциллограф (типа С1-19Б). Частоту

генерируемых колебаний определяют по фигурам Лиссажу на экране осциллографа, для чего на горизонтальный вход осциллографа подают напряжение эталонного генератора (типа Г4-18А). Правила пользования радиоизмерительными приборами приведены в приложениях II, III и VIII.

Данные остальных деталей схемы указаны в табл. 30.1.

Таблица 30.1

Элементы схемы исследования лампового генератора типа *LC*

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
L	Лампа 6С4С	
R_c	Резистор МЛТ-0,5	10 кОм $\pm 5\%$
C_p	Конденсатор КСО-5-500-А	4300 пФ
C_c	Конденсатор КСО-1-250-А	240 пФ
C_k	Конденсатор переменной емкости	12—450 пФ
L_{dp}	Дроссель высокой частоты	
L_k	Катушка контура	
L_{sv}	Катушка связи	

Дроссель высокой частоты намотан на каркасе резистора ВС-1 с сопротивлением не менее 1 МОм проводом ПЭЛ-0,25 в один слой до заполнения. Катушки L_k и L_{sv} намотаны на цилиндрическом каркасе из изоляционного материала. Диаметр каркаса, количество витков и диаметр провода подбираются такими, чтобы индуктивность каждой катушки составила 100—200 мГ. Одну катушку закрепляют на каркасе неподвижно, другую можно перемещать вдоль каркаса, изменяя степень связи между катушками.

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Исследование условий самовозбуждения генератора:
 - а) проверка условия баланса фаз;

- б) проверка условия баланса амплитуд.
 3. Определение диапазона частот генератора.

Сборка и опробование схемы

Рассчитав элементы схемы генератора и подобрав радиоизмерительную аппаратуру, собирают схему исследования лампового генератора в соответствии с рис. 30.1. Собранную схему проверяют и опробуют. Включают источник питания и изменяют расстояние между катушками L_k и L_{cv} до возникновения генерации. По показаниям вольтметра и с помощью осциллографа обнаруживают незатухающие колебания в контуре. Если колебания не возникают, то надо поменять местами концы катушки связи L_{cv} , т. е. изменить полярность напряжения возбуждения, подаваемого на сетку лампы.

Исследование условий самовозбуждения

После получения высокочастотных колебаний в контуре $L_k C_k$, изменяют фазу напряжения возбуждения U_b , поменяв местами концы катушки L_{cv} . Колебания в контуре при этом срываются.

Конденсатор переменной ёмкости C_k устанавливают в среднее положение. Изменяя степень связи между катушками L_k и L_{cv} , вольтметром измеряют напряжение на контуре. Степень связи между катушками можно регулировать изменением расстояния между ними. Чем больше расстояние, тем меньше степень связи, и наоборот. Поэтому вместо зависимости $U_{mk} = \varphi(K)$ (где K — коэффициент связи) можно снять зависимость $U_{mk} = \varphi(l)$ (где l — расстояние между катушками). Результаты наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 30.2).

Таблица 30.2
 $U_{mk} = \varphi(l)$

l , мм							
U_{mk} , В							

По данным таблицы в прямоугольной системе координат строят график зависимости $U_{mk} = \varphi(l)$.

Определение диапазона частот генератора

Измерение частоты генерируемых колебаний производят с помощью осциллографа и эталонного генератора по фигурам Лиссажу. Для определения верхней частоты диапазона переменный конденсатор C_k устанавливают в положение минимальной емкости. Изменяя частоту эталонного генератора (при коэффициенте модуляции $m=0$), на экране осциллографа получают изображения в виде эллипса. По шкале эталонного генератора определяют частоту, равную верхней частоте диапазона f_{\max} . Так же измеряют f_{\min} при максимальном значении емкости переменного конденсатора C_k .

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования лампового генератора с само-возбуждением и краткой характеристикой входящих в нее элементов;
- 3) таблицу наблюдений;
- 4) график зависимости $U_{mk} = \varphi(l)$;
- 5) данные измерений f_{\max} и f_{\min} по фигурам Лиссажу;
- 6) краткие выводы о работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 31

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРА ТИПА RC

Цель работы — изучение схемы и определение технических показателей лампового генератора синусоидальных колебаний низкой частоты (типа RC).

I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Рекомендуемая литература: [Л. 1, стр. 437—443; Л. 2, стр. 283—286].

Контрольные вопросы

1. В чем состоит принцип работы генератора синусоидальных колебаний типа RC ?
2. Почему генераторы типа RC используют в основном на низких частотах?

3. Начертите схему лампового генератора типа RC и объясните назначение ее элементов.
4. Расскажите об условиях самовозбуждения генераторов типа RC .
5. Какой фазовый сдвиг должна вносить каждая ячейка фазо-вращающей цепи в генераторе типа RC ?
6. Как можно изменить частоту колебаний генератора типа RC ?
7. Как можно измерить частоту колебаний генератора типа RC ?
8. Влияет ли величина коэффициента усиления генераторной лампы на выполнение условий самовозбуждения генератора типа RC ?
9. Укажите области применения генераторов типа RC .
10. Приведите схемы транзисторных генераторов типа RC .

Схема исследования, необходимые приборы и детали

Схема исследования низкочастотного генератора типа RC приведена на рис. 31.1.

Источником питания схемы служит выпрямитель на 250—300 В (например, УИП-1). Для измерения величи-

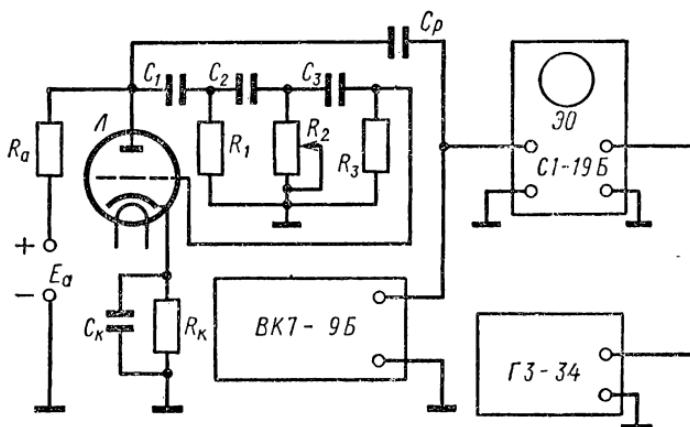


Рис. 31.1. Схема исследования генератора с самовозбуждением (типа RC)

ны выходного напряжения применяют вольтметр типа ВК7-9Б.

С помощью осциллографа типа С1-19Б наблюдают форму генерируемых колебаний и измеряют диапазон частот генератора (по фигурам Лиссажу). Для измерения частоты к горизонтальному входу осциллографа подводят напряжение низкой частоты от эталонного генератора типа Г3-34. Правила пользования радиоизмери-

тельной аппаратурой приведены в приложениях II, III, VI.

Данные остальных деталей схемы указаны в табл. 31.1.

Таблица 31.1

Элементы схемы исследования генератора типа RC

Обозначение	Наименование и тип	Основные данные и номиналы
L	Лампа 6С5С	
R_a	Резистор МЛТ-2	51 кОм $\pm 5\%$
R_k	Резистор МЛТ-0,5	1 кОм $\pm 10\%$
R_1, R_3	То же	240 кОм $\pm 5\%$
R_2	Резистор СП-II-A2	470 кОм
C_k	Конденсатор К50-6	5 мкФ, 25 В
C_1, C_2, C_3	Конденсатор КСО-I-250-А	300 пФ
C_p	Конденсатор БМТ	0,1 мкФ, 400 В

II. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

План работы

1. Сборка и опробование схемы.
2. Определение диапазона частот генератора..
3. Снятие зависимости величины выходного напряжения генератора от частоты $U_{ma} = \varphi(F)$.

Сборка и опробование схемы

Подобрав элементы схемы генератора типа RC и радиоизмерительные приборы, соединяют им между собой в соответствии с рис. 31.1. После проверки приступают к опробованию схемы. Включают источник питания и изменяют величину сопротивления резистора R_2 до получения на выходе схемы незатухающих синусоидальных колебаний. Генератор будет работать нормально, если появится напряжение U_{ma} , измеряемое вольтметром, и синусоидальная кривая на экране осциллографа. Если колебания не возникают, необходимо изменить величину сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов фазовращающей цепи. При появлении заметных искажений синусоидального выходного напряжения надо тщательно подобрать величину сопротивлений резисторов R_a и R_k .

Добившись устойчивой генерации, с помощью осциллографа проверяют влияние величины сопротивления резистора R_2 на частоту генерируемых колебаний. При недостаточном влиянии изменяют величину переменного резистора R_2 . Если в какой-то части диапазона происходит срыв колебаний, то необходимо повышать коэффициент усиления схемы (увеличивая R_a) пока не возникнут колебания.

Определение диапазона частот генератора

Изменяя величину сопротивления резистора R_2 и наблюдая генерируемые колебания на экране осциллографа, определяют минимальное и максимальное значения сопротивления резистора R_2 ($R_{2\min}$ и $R_{2\max}$), в пределах которых форма выходного напряжения близка к синусоидальной. Затем к горизонтальному входу осциллографа подсоединяют эталонный генератор звуковой частоты типа ГЗ-34. Для четырех-шести значений сопротивления резистора R_2 в пределах $R_{2\min} - R_{2\max}$ определяют частоту генерируемых колебаний по фигурам Лиссажу. Если частоты исследуемого и эталонного генераторов совпадают, на экране осциллографа появляется изображение эллипса или окружности.

Для этих случаев по шкале эталонного генератора замечают значения частоты. Данные наблюдений записывают в таблицу наблюдений (табл. 31.2).

Таблица 31.2

$$F = \varphi(R_2), U_{ma} = \varphi_1(F)$$

R_2 , кОм								
F , Гц								
U_{ma} , В								

По результатам этой таблицы 31.2 определяют диапазон частот генератора типа RC.

Снятие зависимости величины выходного напряжения генератора от частоты $U_{ma} = \varphi(F)$

Величину выходного напряжения исследуемого генератора измеряют вольтметром ВК7-9Б. Наблюдения можно производить одновременно с изменением частоты, за-

писывая для каждого значения F величину U_{ma} в табл. 31.2. По результатам этой таблицы в прямоугольной системе координат строят зависимость $U_{ma}=\varphi_1(F)$.

III. УКАЗАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

- 1) точное наименование и цель работы;
- 2) схему исследования генератора типа RC с краткой характеристикой ее элементов;
- 3) таблицу наблюдений;
- 4) график зависимости $U_{ma}=\varphi_1(F)$;
- 5) осциллограммы выходного напряжения генератора;
- 6) краткие выводы о работе.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Универсальный источник питания УИП-1

Источник питания УИП-1 (рис. П.1.1) предназначен для питания анодных, экранных и сеточных цепей радиоустройств стабилизированным напряжением постоянного тока и накальных цепей нестабилизированным напряжением переменного тока. Этот прибор можно использовать в лабораторных и цеховых условиях, а также и в условиях подвижных и стационарных мастерских.

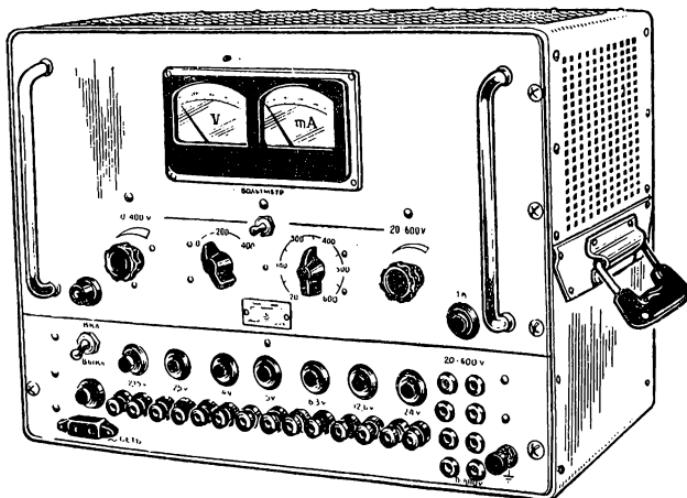


Рис. П.1.1. Внешний вид прибора УИП-1

Прибор УИП-1 питается от сети переменного тока напряжением $220 \text{ В} \pm 10\%$, частотой $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$.

На выходе прибор обеспечивает:

а) стабилизированные выпрямленные напряжения: от 20 до 600 В при токе нагрузки до 600 мА и от 0 до 400 В при токе нагрузки до 5 мА;

б) нестабилизированные переменные напряжения: 2,15; 2,5; 4 и 5 В при токе нагрузки до 4 А; 12,6; 24 В при токе нагрузки до 2,5 А; 6,3 В при токе нагрузки до 25 А.

Стабильность выходных напряжений от 0 до 400 В и от 100 до 600 В не хуже $\pm 0,5\%$ в любой точке диапазона напряжений при изменении питающего напряжения от -15% до $+5\%$ от номинала питающей сети.

Стабильность выходных напряжений в любой точке от 100 до 600 В диапазона 20—600 В и при максимальном напряжении диапазона 0—400 В на выходе не хуже $\pm 0,5\%$ при неизменном напряжении сети в зависимости от изменения нагрузки от 0 до 600 мА и от 0 до 5 мА соответственно.

Величина пульсаций выходных напряжений при полной нагрузке не превышает 0,1%, а на пределе 20—150 В не более 100 мВ.

Потребляемая мощность 1500 ВА, габариты 530 \times 390 \times 325 мм, вес прибора около 46 кг.

Работа с прибором

Перед включением прибора в сеть необходимо переключатель поддиапазонов от 20 до 600 В поставить в положение от 20 до 150 В, а ручку плавной регулировки стабилизированных напряжений — в крайнее левое положение. Это соответствует наименьшим выходным напряжениям. Затем надо заземлить установку и присоединить ее кабелем питания к сети. Тумблер в цепи питания следует перевести вверх по направлению стрелки. При включении прибора должна загореться сигнальная лампочка.

Напряжение на выходных клеммах низкого напряжения можно использовать сразу после включения прибора, а высокое напряжение только после прогрева ламп в течение 5 мин.

Установку выходных стабилизированных напряжений производят по вольтметру переключателями поддиапазонов от 20 до 600 В, от 0 до 400 В и ручками плавной регулировки от 20 до 600 В и от 0 до 400 В.

При этом ток нагрузки стабилизатора от 0 до 400 В не должен превышать 5 мА, а от 20 до 600 В — 600 мА, иначе прибор выйдет из строя. По выходным переменным

напряжениям ток не должен быть выше значений, указанных градуировкой, при общей снимаемой мощности не более 250 Вт.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Вольтметр ВК7-9Б

С помощью прибора ВК7-9Б (рис. П.И.1) измеряют напряжения постоянного тока от 0,1 В до 500 В на пределах 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000 В; переменные напряжения от 0,3 В до 100 В в частотном диапазоне от

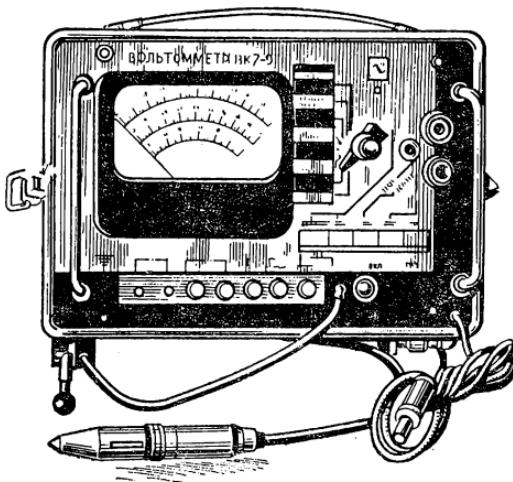


Рис. П.И.1. Внешний вид прибора ВК7-9Б

2 Гц до 700 МГц и от 100 В до 1000 В в частотном диапазоне от 20 Гц до 300 МГц на пределах 1, 3, 10, 30, 100, 300, 1000 В и сопротивления от 10 Ом до 1000 МОм. С делителем ДН-1 пределы измерения напряжений постоянного тока можно расширить до 20 кВ.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением $220 \text{ В} \pm 10\%$ частотой $50 \pm 0,5 \text{ Гц}$ и $115 \text{ В} \pm 3\%$ или $220 \text{ В} \pm 3\%$ частотой 400 Гц $-3\% \div +7\%$.

Время прогрева прибора 15 мин с момента его включения. Потребляемая прибором от сети мощность не превышает 26 ВА. Размеры прибора $313 \times 228 \times 145 \text{ мм}$, вес не более 6,5 кг.

На передней панели прибора расположены: измерительный стрелочный прибор; ручка переключателя пределов; клавиши переключателя вида работ; входные клеммы; клемма заземления; ручки потенциометров установки электрического нуля при измерении постоянного и переменного напряжений; выведенная под шлиц ось потенциометра установки нуля при измерении сопротивлений; разъем для подключения высокочастотного пробника; держатель предохранителя; тумблер включения прибора; индикатор включения.

Для установки прибора в более удобное положение (под углом) на его кожухе есть специальные ножки, снабженные резиновыми амортизаторами.

Работа с прибором

1. Перед включением прибора в сеть присоединить заземление к клемме $\frac{\perp}{\equiv}$.

2. Проверить правильность установки предохранителя в положение, соответствующее напряжению питающей сети.

3. Подключить кабель сетевого питания к сетевой розетке и поворотом ручки тумблера в положение «Вкл» включить прибор. О включении свидетельствует свечение указателя.

4. После 15-минутного прогрева переключатель пределов поставить в положение «0,3 V», нажать клавишу «U+» и установить стрелку прибора на нулевую отметку шкалы.

Затем перевести переключатель пределов в положение «IV», нажать клавишу «U~» и соответствующей ручкой «УСТ.0 \approx IV» установить стрелку на нулевую отметку шкалы «~ IV». Перед установкой нуля клеммы $\pm 0,3 \div 500$ V и $\sim 1-100$ V закоротить. После этого можно проводить измерения.

5. При измерении напряжений постоянного тока надо пользоваться щупами, прилагаемыми к прибору. Специальным щупом с сопротивлением измеряют напряжения постоянного тока в высокочастотных цепях, например, на контурах. Щуп рекомендуется держать за рукоятку возможно дальше от контактной иглы.

6. Перед измерением постоянных напряжений с делиителем ДН-1 необходимо заземленный полюс предварительно обесточенного источника напряжения соединить

с одним заземляющим проводом делителя. Второй заземляющий провод, клемму « $\frac{1}{\infty}$ » прибора и корпус измеряемого источника заземлить. Заземление должно быть надежным, иначе оператор подвергается опасности.

Измерение на другом полюсе источника напряжения можно производить непосредственно штырем делителя (касанием) или присоединить к нему делитель крючком (при выключенном источнике измеряемого напряжения).

Перед измерением переключатель пределов необходимо перевести в требуемое положение и подключить к клеммам «0,3—500 В» вилку делителя так, чтобы штеккер, обозначенный «+», был подключен к клемме, имеющей знак «+», и нажать клавишу «+ U».

7. При измерении напряжения переменного тока низких и звуковых частот можно также пользоваться щупами. Для измерения высокочастотных напряжений пользуются пробником.

8. Для измерения сопротивлений необходимо нажать клавишу « r_x », поставить переключатель пределов в требуемое положение и ручкой «УСТ.∞» установить стрелку прибора на отметку «∞» шкалы « Ω ». Закоротить входные гнезда « r_x » и ручкой «УСТ.0», выведенной под шлиц, установить стрелку прибора на нулевую отметку шкалы « Ω ». После этого надо подключить измеряемое сопротивление и произвести отсчет показаний.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Электронный осциллограф С1-19Б

Осциллограф С1-19Б (рис. П.III.1) предназначен для визуального наблюдения и исследования электрических напряжений в диапазоне частот $0 \div 1$ МГц, а также для измерения амплитуды, длительности и частоты исследуемых сигналов. Прибор, оснащенный дополнительным блоком предварительного усиления БПУ-1, позволяет получать кривые Лиссажу, вольтамперные характеристики электронных приборов и др.

Прибор питается от сети переменного тока $220 \text{ В} \pm 10\%$, 50 Гц и $115 \text{ В} \pm 5\%$, 400 Гц .

Мощность, потребляемая от сети, не более 170 ВА.

Вес прибора 21 кг при размерах $500 \times 250 \times 360$ мм.

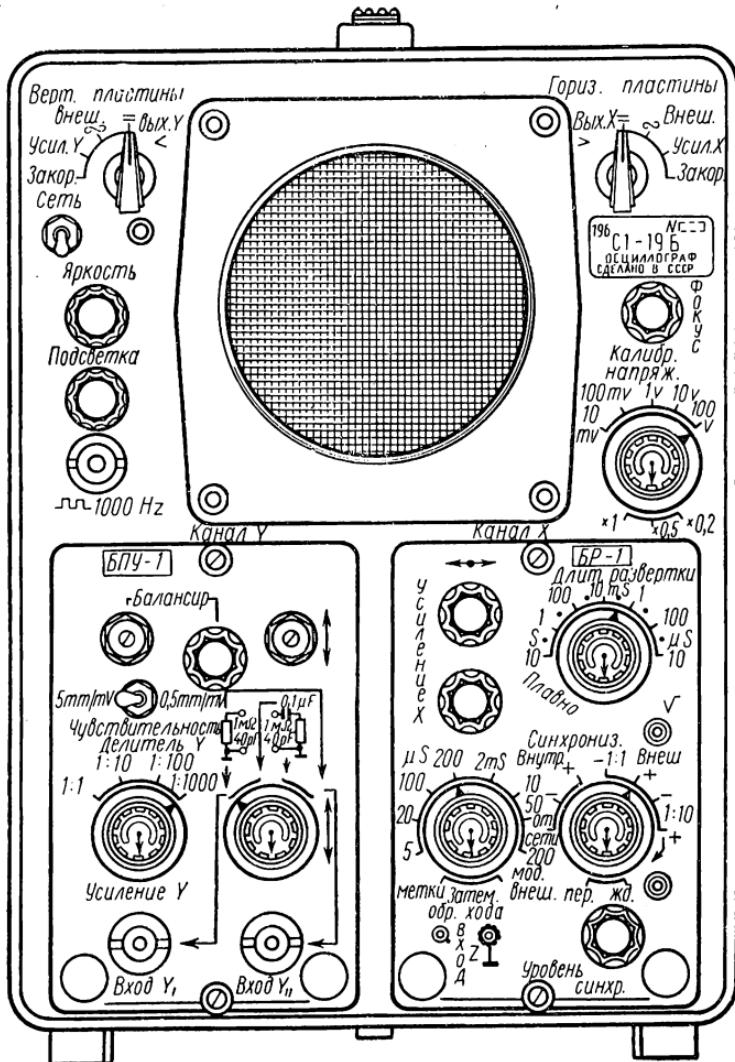


Рис. П.III.1. Лицевая панель осциллографа С1-19Б

Подготовка осциллографа к работе

1. Проверить соответствие установки переключателя сетевого напряжения напряжению сети и наличие соответствующего предохранителя.
 2. Установить ручки управления прибором: «Сеть» — в нижнее положение (выключено); «Верт. пластины» —

в положение «закор.»; «Гориз. пластины» — в положение «усил. X»; «Яркость» — в крайнее левое положение; «Фокус» — в среднее положение; «Балансир» — в среднее положение; « \uparrow » — в среднее положение; « $\leftarrow\rightarrow$ » — в среднее положение.

Вид работы канала «Z» — в положение «затем. обр. хода»; вид работы канала «X» — в положение «пер.»; «Уровень синхр» — в крайнее правое положение.

Остальные ручки могут находиться в произвольном положении.

3. Установить тумблер «Сеть» в верхнее положение (включено).

4. Через 1—2 мин после загорания индикаторной лампочки поворотом ручки «Яркость» вправо и ручкой «Фокус» добиться линии развертки.

5. Ручками « $\leftarrow\rightarrow$ » и «Усиление X» установить линию развертки в центре экрана длиной $90 \div 100$ мм.

6. Установить переключатель «Верт. пластины» в положение «Усиление Y» и ручкой « \uparrow » (блок БПУ-1) линию развертки установить в центре экрана.

7. В течение 30 мин прогрева периодически балансировать усилитель вертикального отклонения. Добиться отсутствия перемещения линии развертки по вертикали при регулировке усиления в крайнем левом положении ручки «Усиление Y» ручкой « \uparrow » и в крайнем правом положении ручки «Усиление Y» — ручкой «Балансир».

После проведения предварительных регулировок прибор готов к работе.

Работа с осциллографом

Наблюдение гармонических колебаний

Исследуемое напряжение подводят ко входу «Y», установив при этом переключатель «Верт. пластины» в положение «Усиление Y», а переключатель «Гориз. пластины» в положение «Усиление X».

Переключатель «Синхронизация» ставят в положение «Внутр.», а переключатель, определяющий вид работы генератора развертки, в положение «Пер.» (периодическое).

Ручками «Яркость», «Фокус», « \uparrow » и « $\leftarrow\rightarrow$ » добиваются необходимой яркости, четкости и месторасположения изображения.

Ручками «Чувствительность», «Делитель Y » (грубо) и «Усиление Y » (точно) устанавливают необходимую амплитуду наблюдаемого сигнала. При этом высота осциллограммы не должна быть более 50 мм, чтобы не сказывалась нелинейность амплитудной характеристики вертикального усилителя.

Переключателем «Длит. развертки» и ручками «Плавно» и «Уровень синхр» получают на экране осциллографа неподвижное изображение.

Наблюдение импульсных колебаний

При исследовании коротких импульсных колебаний необходимо пользоваться ждущей разверткой. Для этого переключатель вида работы устанавливают в положение «Жд.». Исследуемый сигнал подают на входе Y_1 и ручками «Длит. развертки» и «Синхрониз.» добиваются устойчивого изображения.

Измерение напряжения

Для измерения размаха исследуемого напряжения необходимо:

- 1) получить устойчивое изображение сигнала, поданного на вход Y_2 ;
- 2) с разъема « $\square \square \square$ 1000 Гц» напряжение, калиброванное по амплитуде, подать на разъем «вход Y_1 » усилителя;
- 3) переключателями входа «Делитель Y » и ручкой «Усиление Y » установить высоту изображения 50 мм;
- 4) переключатель входа установить в положение «Вход Y_1 » и переключателями «Калибр. напряж.» выставить разммер калибровочного напряжения, наиболее близкий к 50 мм;
- 5) определить величину размаха исследуемого сигнала из выражения:

$$U_{\text{иссл.}} = \frac{U_{\text{калибр}}}{H_{\text{калибр}}} \cdot 50 (\text{В}),$$

где $U_{\text{калибр}}$ — размах калибровочного напряжения, отсчитанный по положению переключателя «Калибр. напряж.», В; $H_{\text{калибр}}$ — размах калибровочного напряжения, отсчитанный по экрану осциллографа, мм;

6) для перевода в действующее значение при синусоидальном напряжении на входе следует разделить полученную величину на $2\sqrt{2}=2,82$.

Измерение частоты

Для измерения частоты исследуемого сигнала надо сравнить ее с частотой образцового генератора при помощи фигур Лиссажу (см. рис. П.ИII.2). При измерениях переключатель «Гориз. пластины» ставят в положение

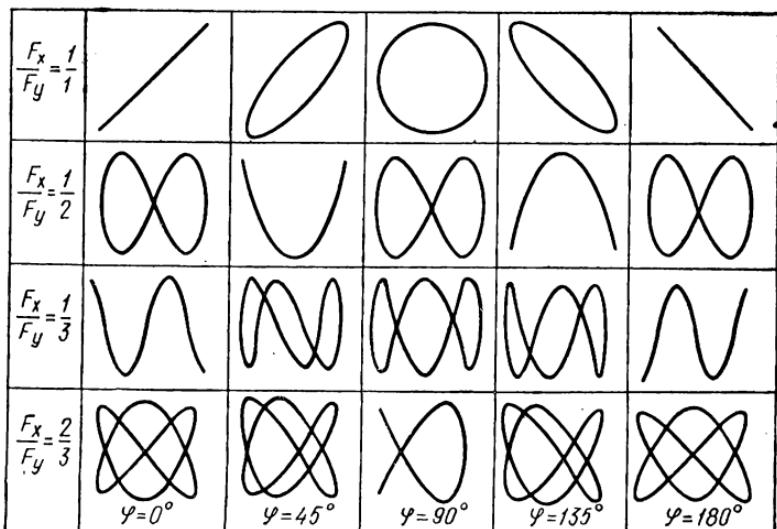


Рис. П.ИII.2. Фигуры Лиссажу

«Внеш» и напряжение от эталонного генератора подают на гнезда «Пластины гориз.», находящиеся на плате заднего кронштейна осциллографа, или (при малом уровне сигнала) — на вход блока предварительного усиления горизонтального канала (БПУ-1).

Исследуемый сигнал подводят ко входу Y_1 . Изменяя частоту образцового генератора F_x на экране осциллографа получают фигуру Лиссажу, которая должна быть простой и неподвижной.

Размеры фигуры Лиссажу можно менять регулировкой выходного напряжения эталонного генератора и ручками «Делитель Y » и «Усиление Y » осциллографа.

Искомая частота

$$F_y = \frac{m}{n} F_x,$$

где m — число точек пересечения фигуры Лиссажу горизонтальной линией; n — число точек пересечения фигуры Лиссажу вертикальной линией.

Для определения частоты F_y без расчетов на экране осциллографа необходимо получить окружность или эллипс. Тогда измеряемая частота равна частоте образцового генератора.

Определение угла сдвига фаз

Измерение угла сдвига фаз между двумя напряжениями, подведенными ко входу « Y » и горизонтальным пластинам, осуществляют по фигурам Лиссажу (см. рис. П.III.2). Если на экране установлен эллипс (см. рис. П.III.3), то фазовый угол

$$\varphi = \arcsin \frac{2u_x}{2U_x}$$

или

$$\varphi = \arcsin \frac{2u_y}{2U_y}.$$

Для большей точности измерений необходимо равенство расстояний $2U_x$ и $2U_y$.

Измерение длительности импульсов

Для измерения длительности импульсов необходимо:

1) получить неподвижное изображение импульса на экране;

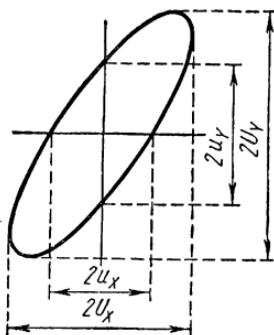


Рис. П.III.3. Определение угла сдвига фаз

2) установить переключатель рода работы канала «*Z*» в положение «Метки» и выбрать необходимую длительность маркерных меток переключателем « μS — mS »;

3) произвести подсчет количества маркерных меток, укладываемых в исследуемом сигнале, и умножив его на длительность маркерной метки, определить длительность исследуемого сигнала.

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

Осциллографирование вольтамперных характеристик электронных приборов

При осциллографировании вольтамперных характеристик горизонтальное смещение луча на экране должно быть пропорционально величине потенциала соответствующего электрода, а вертикальное — величине тока в рассматриваемой цепи. В этом случае на экране осцилло-

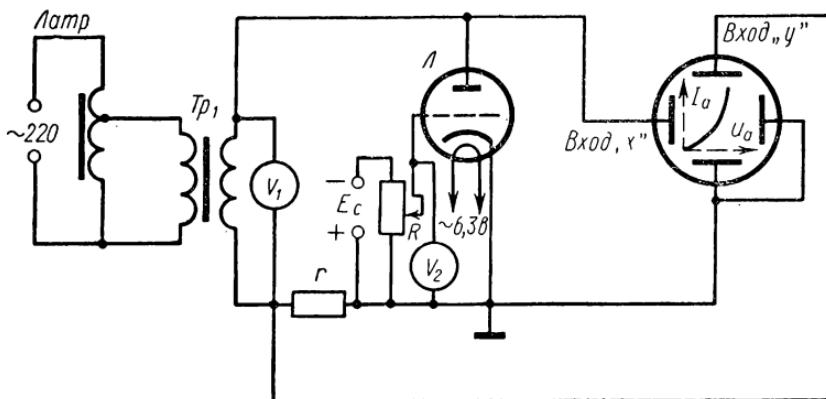


Рис. П.IV.1. Схема для осциллографирования анодных характеристик триода

графа вычерчивается график вольтамперной характеристики. Поэтому при всех экспериментах на вертикальный вход осциллографа (*y*) подается напряжение, снимаемое с резистора *r* и пропорциональное величине тока исследуемого прибора, а на горизонтальный (*x*) и в цепь соответствующего электрода — одинаковые пульсирующие напряжения (см. рис. П.IV.1—П.IV.13).

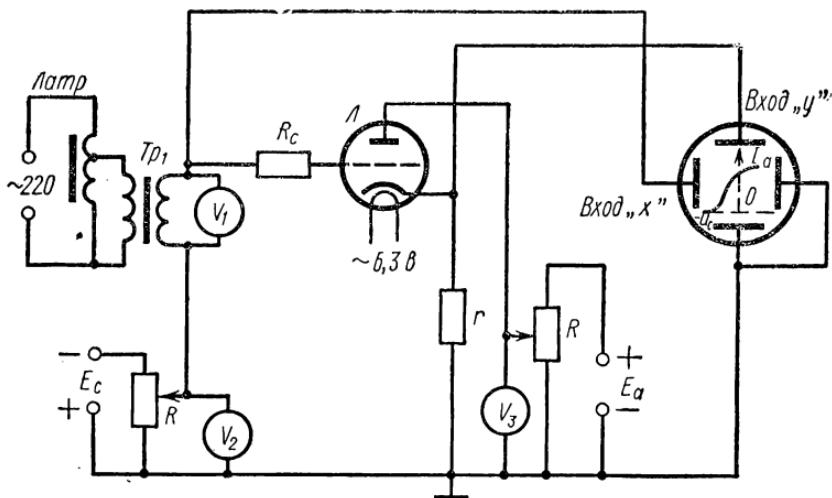


Рис. П.IV.2. Схема для осциллографирования анодно-сеточных характеристик триода

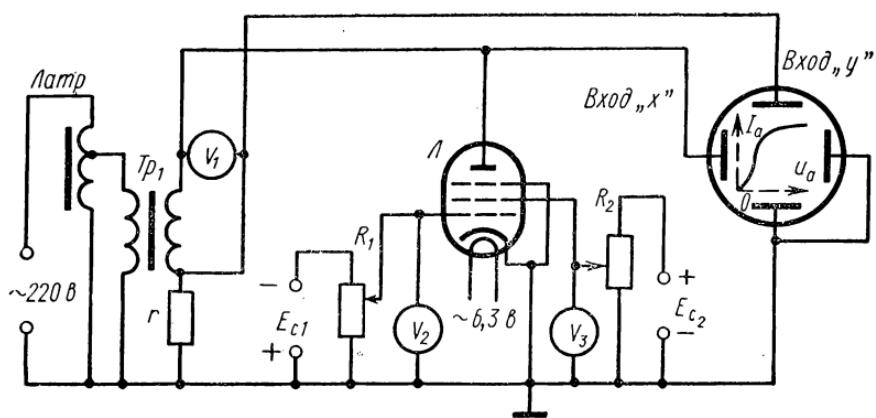


Рис. П.IV.3. Схема для осциллографирования анодных характеристик пентода

Для получения требуемых значений напряжения, подаваемого на соответствующий электрод прибора, в схемах используется лабораторный регулируемый автотрансформатор (желательно типа ЛАТР-2) и разделительные трансформаторы Tp_1 и Tp_2 — первый с коэффициентом трансформации $n=1$, а второй (понижающий) с коэффициентом трансформации $n=0,2$.

В качестве источников постоянного напряжения в схемах можно использовать выпрямители с величинами напряжений, указанными в лабораторных работах. При экспериментах особое внимание должно быть уделено выбору величины сопротивления r , выполняющего функцию датчика тока.

Для уменьшения погрешностей величину r следует выбирать небольшой (десятки — сотни Ом).

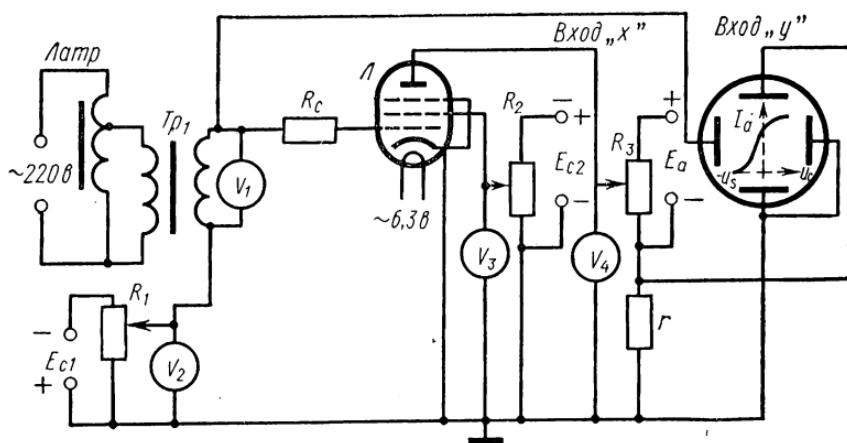


Рис. П.IV.4. Схема для осциллографирования анодно-сеточных характеристик пентода.

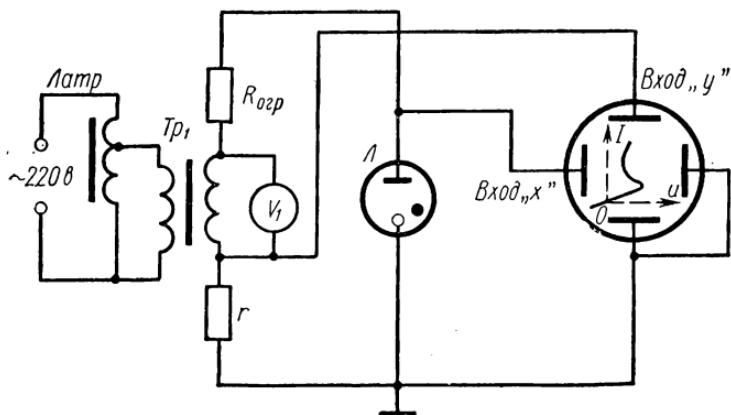


Рис. П.IV.5. Схема для осциллографирования вольтамперной характеристики стабилитрона тлеющего разряда

Градуировку осциллографа (определение масштабов по оси тока и напряжения) можно производить, используя известные напряжения, контролируемые вольтметрами.

При зарисовке осциллограмм необходимо следить, чтобы начало координат на экране и на графике совпадало.

При осциллографировании вольтамперных характеристик полупроводниковых приборов напряжение автотрансформатора надо увеличивать постепенно, не превышая величин, указанных в паспортных данных полупроводниковых приборов.

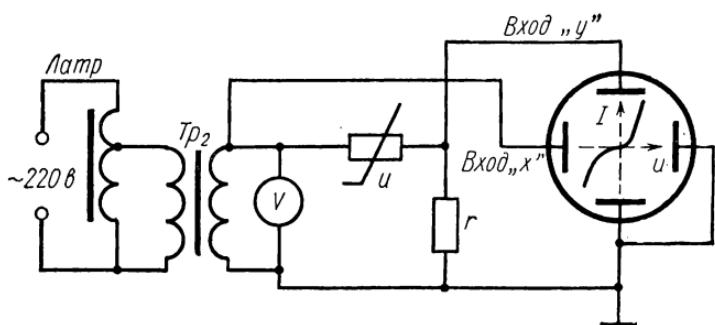


Рис. П.IV.6. Схема для осциллографирования вольтамперных характеристик варистора

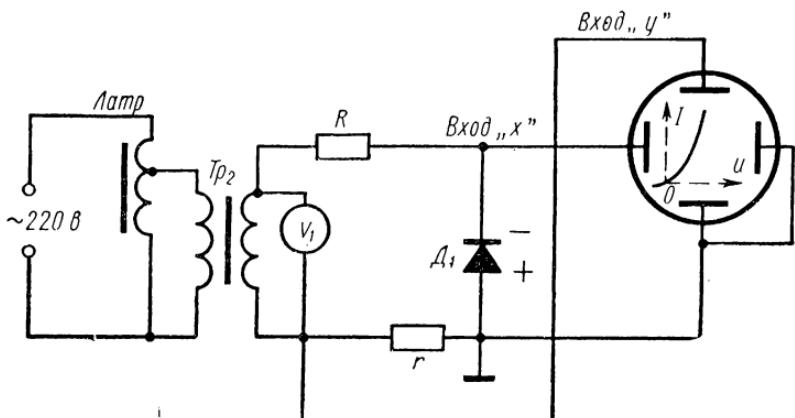


Рис. П.IV.7. Схема для осциллографирования вольтамперных характеристик полупроводникового диода

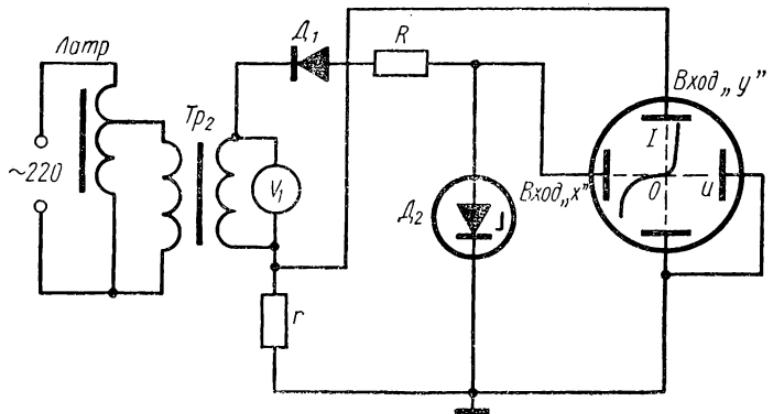


Рис. П.IV.8. Схема для осциллографирования вольтамперных характеристик кремниевого стабилитрона

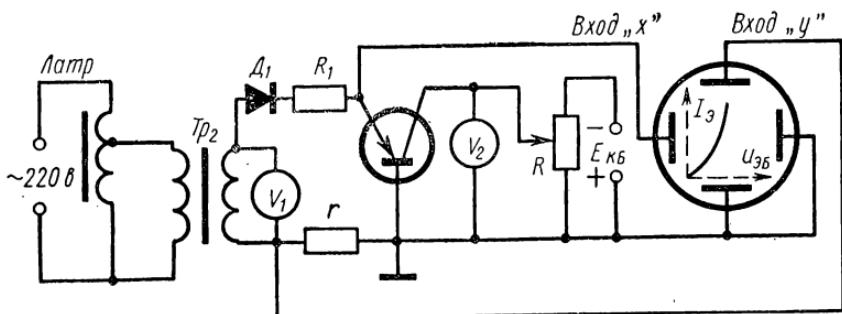


Рис. П.IV.9. Схема для осциллографирования входных характеристик транзистора с общей базой

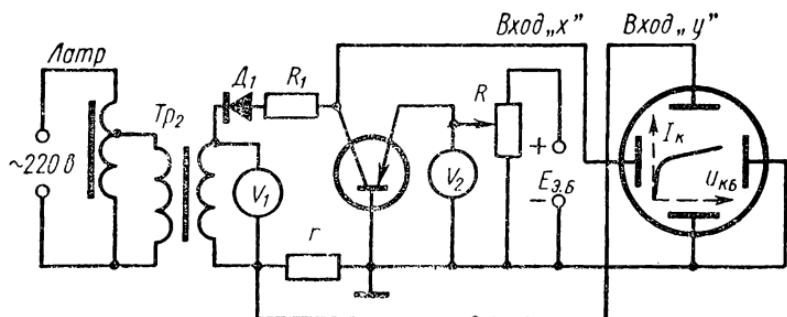


Рис. П.IV.10. Схема для осциллографирования выходных характеристик транзистора с общей базой

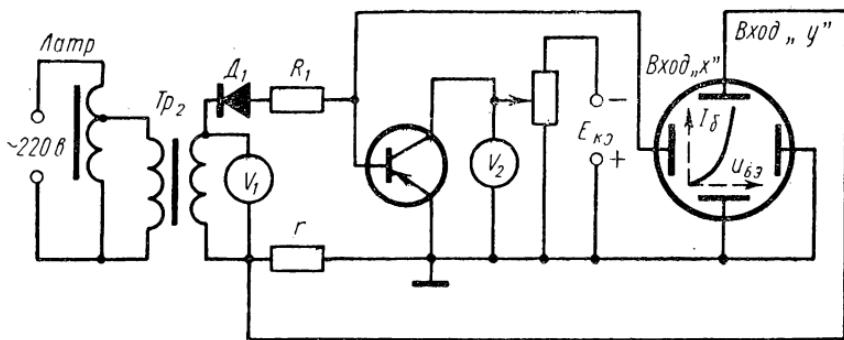


Рис. П.IV.11. Схема для осциллографирования входных характеристик транзистора с общим эмиттером

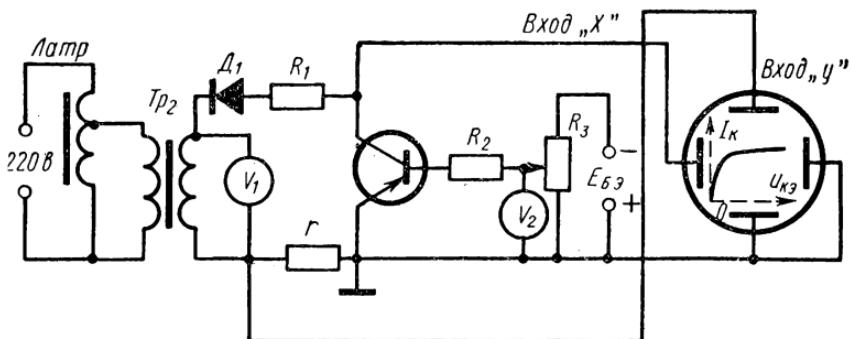


Рис. П.IV.12. Схема для осциллографирования выходных характеристик транзистора с общим эмиттером

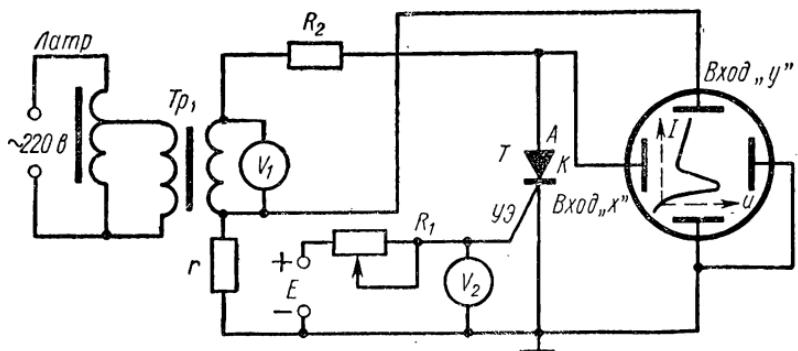


Рис. П.IV.13. Схема для осциллографирования вольтамперных характеристик тиристора

ПРИЛОЖЕНИЕ V

Магазин сопротивлений типа Р33

Рычажный магазин сопротивлений Р33 (рис. П.В.1) представляет собой переносный лабораторный прибор, состоящий из тридцати отдельных точно подогнанных сопротивлений, позволяющий в различных комбинациях установить любое значение сопротивления в пределах от 0,1 до 99999,9 Ом с интервалами в 0,1 Ом.

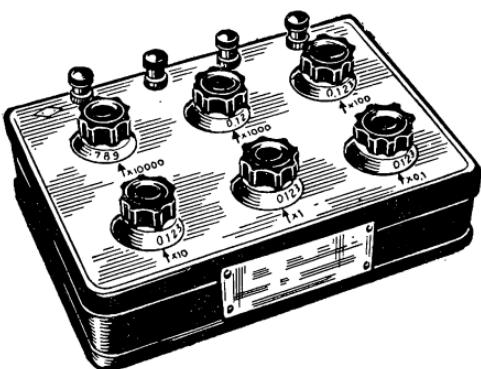


Рис. П.В.1. Внешний вид прибора Р33

Размеры прибора $260 \times 185 \times 110$ мм, вес 3 кг. Включают сопротивления при помощи шести рычажных переключателей, ручки которых выведены на лицевую панель магазина. Значения устанавливаемых сопротивлений отсчитываются в омах умножением соответствующих обозначений, выгравированных на лимбах ручек рычажных переключателей, на коэффициенты, выгравированные против каждого переключателя на лицевой панели магазина.

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

Генератор типа Г3-34

Генератор типа Г3-34 (рис. П.VI.1) представляет собой источник синусоидальных колебаний звуковой частоты и предназначен для регулировки и испытания низкочастотной электронной аппаратуры.

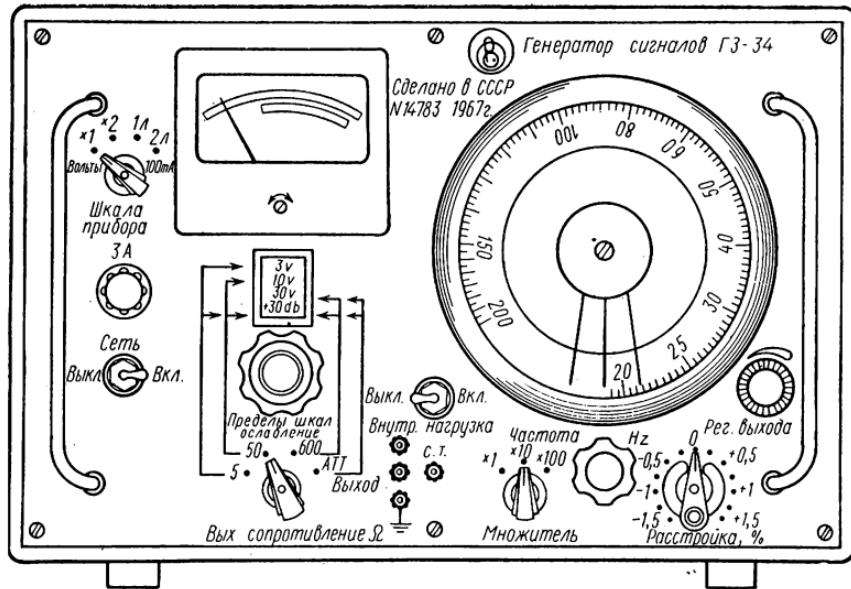


Рис. П.VI.1. Лицевая панель прибора Г3-34

Основные технические характеристики

1. Диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 20 кГц. Весь диапазон перекрывается при помощи трех поддиапазонов: 20—200 Гц; 200—2000 Гц; 2000—20 000 Гц.
2. Номинальная выходная мощность 0,5 Вт; максимальная выходная мощность 5 Вт.
3. Выходное сопротивление генератора рассчитано на согласованные нагрузки 5, 50 и 600 Ом.
4. Изменение выходного напряжения осуществляется плавно и с помощью аттенюатора ступенями через 10 дБ до 100 дБ относительно выходного уровня.
5. Питается генератор от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В $\pm 10\%$. Потребляемая мощность не превышает 150 ВА.
6. Габариты: 510 \times 340 \times 350 мм; вес не более 30 кг.

Работа с прибором

1. Вилку шнура включить в сеть переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В.

2. Поставить тумблер включения сети в положение «Вкл»; при этом должна загореться подсветка шкалы аттенюатора.

3. Работу надо начать после 30-минутного предварительного прогрева для получения большей точности и стабильности частоты.

4. Установить с помощью переключателя «Множитель» и ручки «Частота Hz» требуемую частоту.

5. Регулировку амплитуды выходного напряжения осуществляют плавно потенциометром «Рег. выхода» и ступенями через каждые 10 дБ переключателем аттенюатора, имеющего гравировку «Пределы шкал — ослабление», начальное положение которого «+30 дБ». При положении «ATT» переключателя «Вых. сопротивление Ω » нелинейные искажения и неравномерность частотной характеристики генератора минимальны.

6. При работе с внешними нагрузками 5, 50 и 600 Ом тумблер «Внутр. нагр.» должен находиться в положение «Выкл».

7. При работе прибора на сопротивление значительно больше 600 Ом необходимо включить внутреннюю нагрузку 600 Ом с помощью тумблера «Внутр. нагр.» для правильного деления аттенюатора и отсчета выходного напряжения.

8. Контроль выходного напряжения осуществляют по стрелочному прибору. В зависимости от величины выходного напряжения переключатель «Шкала прибора» ставится в положение « $X \times 1$ » или « $X \times 2$ ».

Контроль токов выходных ламп производят при положении «1Л», «2Л» переключателя «Шкала прибора»; при этом верхняя шкала стрелочного прибора имеет пределы 0—100 мА.

9. При работе генератора на высокочувствительные схемы, номинальные входные напряжения которых исчисляются единицами, десятками и сотнями микровольт, измерение выходного напряжения можно производить стрелочным прибором, шкала которого соответствует значению напряжения, указанного на шкале аттенюатора. При этом выходное напряжение отсчитывается в вольтах, милливольтах или децибелах. Перевод децибелов в отношение напряжений выполнен в таблице П.VI.1.

10. При установке переключателя «Вых. сопротивление Ω » — в одно из четырех положений стрелка, идущая к окну аттенюатора, указывает соответственно предель-

Таблица П.VI.I

Дицибелы	Отношение напряжений	Децибелы	Отношение напряжений
0	0	10	0,3162
1	0,8913	20	0,1
2	0,7943	30	$3,162 \cdot 10^{-2}$
3	0,7079	40	0,01
4	0,6310	50	$3,162 \cdot 10^{-3}$
5	0,5623	60	0,001
6	0,5012	70	$3,162 \cdot 10^{-4}$
7	0,4167	80	10^{-4}
8	0,3981	90	$3,162 \cdot 10^{-5}$
9	0,3548	100	10^{-5}

ное значение шкалы стрелочного прибора в точках 10 и 30, а также величину ослабления.

11. Для получения наименьших нелинейных искажений на низких частотах надо проверить баланс токов выходных ламп и при необходимости уравнять их через отверстие в боковой стенке прибора «Баланс токов».

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

Измеритель нелинейных искажений С6-1А

Прибор С6-1А см. рис. П.VII.1 предназначен для измерения коэффициента нелинейных искажений в звуковом диапазоне частот в пределах от 0,1% до 100%.

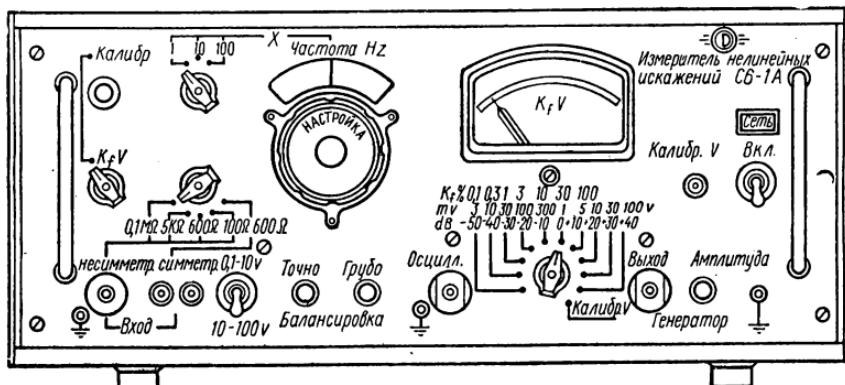


Рис. П.VII.1. Лицевая панель прибора С6-1А

Вольтметр эффективных значений, встроенный в прибор, позволяет измерять напряжения переменного тока как синусоидальное, так и с искаженной формой кривой, в пределах от 0,001 В до 100 В в диапазоне частот от 20 Гц до 200 кГц.

Время прогрева прибора 30 минут с момента его включения.

Основные технические характеристики

1. Прибор обеспечивает измерение коэффициента нелинейных искажений в пределах от 0,1% до 100% на следующих шкалах: 0,1%, 0,3%, 1%, 3%, 10%, 30%, 100%.

2. Диапазон частот прибора от 20 Гц до 20 кГц перекрывается тремя поддиапазонами: 20—200 Гц, 200—2000 Гц и 2000—20 000 Гц.

3. Уровень исследуемых входных напряжений может лежать в пределах от 100 мВ до 100 В.

4. Вольтметр эффективных значений позволяет измерять напряжения переменного тока от 0,001 В до 100 В на следующих шкалах: 0,003 В (−50 дБ); 0,01 В (−40 дБ); 0,03 В (−30 дБ); 0,1 В (−20 дБ); 0,3 В (−10 дБ); 1 В (0 дБ); 3 В (+10 дБ); 10 В (+20 дБ); 30 В (+30 дБ); 100 В (+40 дБ).

5. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В $\pm 10\%$ частотой 50 Гц $\pm 0,5$ Гц. Мощность, потребляемая от питающей сети, не превосходит 160 ВА.

6. Габариты: 525×210×340 мм, вес — 24 кГ.

Подготовка прибора к работе

1. Включить прибор в сеть переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В (питание прибора от феррорезонансного стабилизатора значительно увеличивает уровень собственного фона прибора и поэтому недопустимо).

2. После 30-минутного прогрева прибора поставить переключатель « K_f —V—dB» в положение «Калибр. V» и потенциометром «Калибр. V» выставить стрелку измерительного прибора на отметку 10 верхней шкалы. После этого можно приступить к работе.

3. Соединять С6-1А с исследуемыми объектами надо с помощью экранированных кабелей, входящих в комплект прибора.

Измерение коэффициента нелинейных искажений

1. Ручки управления установить так, чтобы их положения соответствовали:

«Входное напряжение» — выходному напряжению исследуемого объекта;

«1—10—100» — диапазону измеряемых частот; переключатель входного сопротивления — выходному сопротивлению исследуемого объекта;

«Калибр. — K_f — V » — «Калибр.»;

« K_f — V — dB» — шкале 100% (+10 дБ);

«Настройка» — частоте исследуемого напряжения.

2. Подать на соответствующий вход прибора исследуемое напряжение.

3. Ручкой «Калибр.» установить стрелку индикатора С6-1А на отметку 10 шкалы 100% (+10 дБ).

4. Перевести переключатель «Калибр. — K_f — V » в положение « K_f », и, манипулируя ручками «Настройка», «Точно» и «Грубо», добиться минимального отклонения стрелки индикатора лампового вольтметра, все время увеличивая его чувствительность переключателем « K_f — V — dB». Искажения в процентах соответствуют минимальному отсчету по шкале лампового вольтметра с учетом положения переключателя.

5. Для исследования характера искажений можно на осциллографе наблюдать форму кривой, образованной высшими гармониками. Осциллограф подключается к гнезду «Осцилл.». Визуально можно приближенно оценить состав высших гармоник в искаженном сигнале, а также при помощи специальной приставки к осциллографу сфотографировать осциллограмму.

Измерение напряжений

1. Переключатель «Калибр. — K_f — V » ставится в положение « V ».

2. Измеряемое напряжение подается на гнездо «Вход несимметр.»;

3. По показаниям прибора с учетом положения переключателя поддиапазонов « $K_f - V - \text{dB}$ » определяется величина напряжения.

4. Шкала 0—10 соответствует положениям переключателя « $K_f - V - \text{dB}$ » 0,01; 0,1; 1; 10; 100, шкала 0—3 соответствует положениям переключателя « $K_f - V - \text{dB}$ » 0,003; 0,03; 0,3; 3; 30. Число, соответствующее положению переключателя, обозначает верхний предел данного поддиапазона в вольтах.

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

Генератор типа Г4-18А

Прибор типа Г4-18А (рис. П. VIII.1) представляет собой генератор синусоидальных колебаний высокой частоты для проверки и настройки электронной аппаратуры, работающей в диапазоне от 0,1 до 35 МГц.

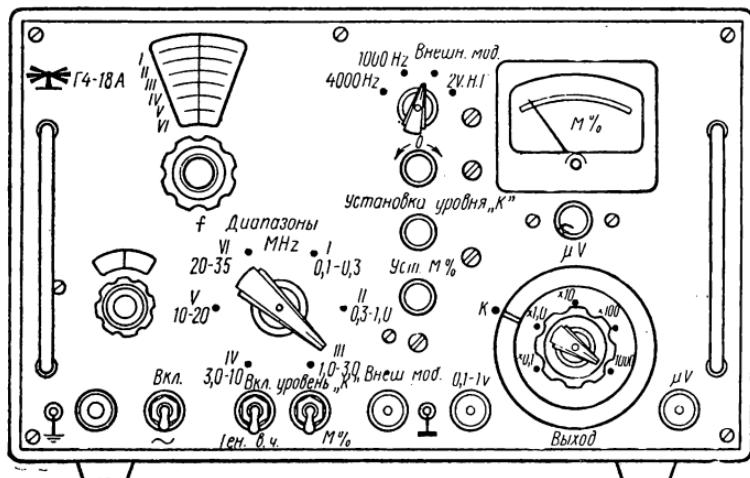


Рис. П.VIII.1. Лицевая панель прибора Г4-18А

Основные технические характеристики

1. Диапазон частот генератора перекрывается шестью поддиапазонами со следующими частотами: $0,1 \div 0,3 \div 1,0 \div 3 \div 10 \div 20 \div 35$ МГц. Погрешность установки частоты не более $\pm 1\%$.

2. Генератор обеспечивает калиброванное напряжение от 1 мкВ до 0,1 В на конце кабеля с нагрузочным сопротивлением 750 Ом. Дополнительный делитель на конце кабеля обеспечивает деление выходного напряжения в 10 раз (до 0,1 мкВ).

3. Генератор имеет некалиброванный выход от 0,1 до 1 В с выходным сопротивлением около 100 Ом.

4. Прибор обеспечивает следующие виды работ:

а) непрерывную генерацию (НГ);

б) внутреннюю амплитудную модуляцию синусоидальным напряжением с частотами 400 и 1000 Гц $\pm 5\%$;

в) внешнюю амплитудную модуляцию синусоидальным напряжением с частотами от 50 Гц до 15 кГц; высшая частота модуляции в зависимости от частоты несущей f_n определяется выражением $F_{max} \leq 0,02f_n$;

г) режим максимального выхода с напряжением на выходе около 2 В только при непрерывной генерации.

5. Коэффициент глубины модуляции, при внутренней и внешней модуляции регулируется от 10 до 95% при частотах модуляции от 50 Гц до 10 кГц и от 10 до 50% при частотах модуляции от 10 до 15 кГц.

6. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока частотой 50 Гц $\pm 0,5$ Гц напряжением 220 В $\pm 10\%$. Время самопрогрева прибора 30 мин. Вес прибора не более 18 кг. Габариты — 390 × 280 × 290.

Подготовка прибора к работе

1. Перед включением прибора в питающую сеть во избежание поражения электрическим током при неисправностях в приборе необходимо клемму для заземления, находящуюся в левом нижнем углу передней панели, соединить с земляной шиной.

2. Ручки операций установить в начальные положения:

а) ручки «Установка уровня «К», «Уст. М%» повернуть влево до отказа;

б) визир « μV » ручкой « μV » (сверху) поставить в крайнее левое положение;

в) выключатель сети и выключатель «Ген. ВЧ» поставить в нижнее положение.

После этого прибор можно подключить к питающей сети.

Работа в режиме непрерывной генерации

1. Выключатель питания поставить во включенное положение «Вкл». При этом должна загореться индикаторная лампочка.
2. Тумблер «Уровень «К» — «М %» поставить в положение «Уровень «К».
3. Вставить в гнездо « μ V» штеккер с кабелем и делителем на конце.
4. Установить переключатель вида работ в положение «Внеш. мод». Ручкой установки нуля установить стрелку измерителя на 0.
5. Включить выключатель анодного напряжения генератора («Ген. ВЧ.»).
6. Установить переключатель «Диапазоны MHz» в положение, соответствующее требуемому диапазону.
7. Установить нужную частоту в пределах диапазона прибора и более плавно отрегулировать ее верньерной ручкой (ручка с нониусными делениями).
8. Вращением ручки «Установка уровня «К» установить стрелку измерителя на риску «К». Визир « μ V» установить влево до отказа. Поворотом ручек делителя и визира « μ V» совместить нужное деление на лимбе с риской визира. При повороте ручки « μ V» стрелка индикатора уровня отклоняется влево, при этом уровень «К»правлять нельзя.
9. Установить необходимый множитель декадного делителя. Подключить исследуемую схему к нужному зажиму на выносном делителе. Манипулируя ручками аттенюаторов, ручкой « μ V», используя тот или иной зажим выносного делителя, можно получить требуемую величину выходного напряжения в пределах от 0,1 мкВ до 0,1 В.
10. Для получения напряжения свыше 0,1 В необходимо использовать второе выходное гнездо «0,1—IV», напряжение на которое поступает прямо с декадного аттенюатора с коэффициентом ослабления через 2 дБ. При помощи этого аттенюатора и ручки « μ V» можно регулировать величину снимаемого напряжения. Выходное напряжение с гнезда «0,1—IV» выводится кабелем без делителя на конце.

Работа в режиме внутренней амплитудной модуляции

1. При снятом модулирующем напряжении и верхнем («Уровень «К») положении тумблера «Уровень «К» — М %» производится установка стрелки измерителя

уровня выходного сигнала на контрольную риску (при этом визир « μ V» в левом крайнем положении).

2. Устанавливают переключатель вида работ в положение 400 или 1000 Гц.

3. Ставят тумблер «Уровень «K» — M%» в положение «M%» и по стрелочному измерителю устанавливают требуемый процент глубины модуляции в пределах от 10 до 95% с ручкой «Уст. M%».

Работа в режиме внешней амплитудной модуляции

Порядок работы в режиме внешней модуляции такой, как и при внутренней модуляции, за исключением того, что переключатель рода модуляции должен быть установлен в положение «Внеш. мод.». Напряжение от модулирующего генератора подается на гнездо «Внеш. мод.», расположенное в нижней части передней панели. Глубину модуляции устанавливают изменением выходного напряжения внешнего модулятора.

Работа в режиме максимального сигнала

Для получения сигнала напряжением больше 1 В, который необходим для проверки некоторых узлов и приборов, переключатель вида работ ставят в положение «2VНГ». Напряжение высокой частоты снимается с выхода «0,1—1V».

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веревкин Ю. Е. Основы электронной и полупроводниковой техники. Изд-во «Судостроение», М., 1969.
2. Гершунский Б. С. Основы электронной и полупроводниковой техники. Изд-во Киевского университета, 1967.
3. Дыкин А. В., Овечкин Ю. А. Электронные и полупроводниковые приборы. Изд-во «Энергия», М., 1971.
4. Гершунский Б. С. и др. Справочник по основам электронной техники. Изд-во Киевского университета, 1972.
5. Шкурин Г. П. Справочник по электро- и электронно-измерительным приборам. Воениздат, М., 1972.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	<i>Стр.</i>
Введение	3
Лабораторная работа № 1. Снятие характеристик и определение параметров диода	7
Лабораторная работа № 2. Снятие характеристик и определение параметров триода	13
Лабораторная работа № 3. Снятие характеристик и определение параметров тетродов и пентодов	19
Лабораторная работа № 4. Снятие характеристик и определение параметров стабилитрона	25
Лабораторная работа № 5. Исследование свойств и снятие характеристик тиристрона	31
Лабораторная работа № 6. Снятие световых и вольт-амперных характеристик фотоэлементов с внешним фотоэффектом и фоторезисторов	37
Лабораторная работа № 7. Изучение свойств, снятие характеристик и определение параметров терморезистора	45
Лабораторная работа № 8. Исследование варистора	52
Лабораторная работа № 9. Снятие вольтамперной характеристики полупроводникового диода	57
Лабораторная работа № 10. Исследование кремниевого стабилитрона	62
Лабораторная работа № 11. Снятие вольтамперной характеристики и определение параметров туннельного диода	67
Лабораторная работа № 12. Снятие характеристик и определение параметров транзистора по схеме с общей базой	72
Лабораторная работа № 13. Снятие характеристик и определение параметров транзистора по схеме с общим эмиттером	78
Лабораторная работа № 14. Снятие характеристик и определение параметров четырехслойного кремниевого переключающего диода	84
Лабораторная работа № 15. Снятие характеристик и определение параметров полевого транзистора	91
Лабораторная работа № 16. Исследование мостовой схемы полупроводникового выпрямителя	97
Лабораторная работа № 17. Исследование схем сглаживающих фильтров	102
Лабораторная работа № 18. Исследование лампового стабилизатора напряжения	108
Лабораторная работа № 19. Исследование полупроводникового стабилизатора напряжения	114
Лабораторная работа № 20. Исследование преобразователя напряжения на транзисторах	120

Лабораторная работа № 21. Исследование лампового усилителя напряжения на резисторах	124
Лабораторная работа № 22. Исследование схемы лампового усилителя мощности	129
Лабораторная работа № 23. Исследование схемы усилителя с отрицательной обратной связью	134
Лабораторная работа № 24. Исследование каскада предварительного усиления на транзисторе	139
Лабораторная работа № 25. Исследование однотактного выходного каскада транзисторного усилителя	144
Лабораторная работа № 26. Исследование двухтактного выходного каскада транзисторного усилителя	148
Лабораторная работа № 27. Исследование усилителя постоянного тока	153
Лабораторная работа № 28. Исследование свойств колебательных контуров	159
Лабораторная работа № 29. Исследование схемы избирательного усилителя	165
Лабораторная работа № 30. Исследование схемы генератора типа <i>LC</i>	169
Лабораторная работа № 31. Исследование схемы генератора типа <i>RC</i>	173
Приложение I. Универсальный источник питания УИП-1	178
Приложение II. Вольтметр ВК7-9Б	180
Приложение III. Электронный осциллограф С1-19Б	182
Приложение IV. Осциллографирование вольтамперных характеристик электронных приборов	188
Приложение V. Магазин сопротивлений типа Р33	194
Приложение VI. Генератор Г3-34	194
Приложение VII. Измеритель нелинейных искажений С6-1А	197
Приложение VIII. Генератор Г4-18А	200
Литература	225

Гершунский Борис Семенович,
Ранский Евгений Георгиевич

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОННОЙ
И ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ТЕХНИКИ

Редактор Е. А. Орехова
Переплет художника В. С. Панферова
Художественный редактор Н. Е. Ильинко
Технический редактор Л. А. Григорчук
Корректор М. И. Козлова

Сдано в набор 22/VIII—73 г. Подп. к печати 14/II—74 г.
Формат 84×108^{1/32} Бум. тип. № 3 Объем 6,5 печ. л.
10,92 усл. печ. л. 9,68 уч.-изд. л. Изд. № ЭР—149.
Тираж 31 000 экз. Цена 32 коп.

План выпуска литературы издательства «Высшая школа» (вузы и техникумы) на 1974 г., Позиция № 262.

Издательство «Высшая школа»
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Московская типография № 8 «Союзполиграфпрома»
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли,
Хохловский пер., 7, Зак. 3472,

