

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ \_РСФСР  
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт  
им. С.П. КОРОЛЕВА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО КУРСУ  
"ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ"

Рассмотрен и утвержден  
редакционным советом  
института  
9 декабря 1973 года

Куйбышев 1974

**СОСТАВИТЕЛИ:** и. о. доцента А.И. Имманов - работы № I-7,  
доцент Ю.В.Пшеничкиков - введение, работы № 8-I7

**РЕЦЕНЗЕНТ** - доцент А.А. Подольский

© Куйбышевский авиационный институт, 1974

**Лабораторный практикум по курсу**  
**"Электронные приборы"**

Редактор В.Я. Резникова  
Техн. редактор Н.М. Каленки  
Корректор Т.Н. Лысова

Подписано к печати 28.V.1974 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub> .  
Объем 6,25 н.л. Тираж 500 экз. Цена 42 коп.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151

Ротапринтный цех областной типографии им. Маяки,  
г. Куйбышев, ул. Венцева, 60. Заказ № 4532.

## ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей лабораторного практикума по курсу "Электронные приборы" является изучение физических основ действия электровакуумных, ионных и полупроводниковых приборов, их характеристик и параметров. Практикум готовит студентов к сознательному практическому использованию этих приборов.

Для выработки навыков самостоятельной регулярной работы студентов в течение семестра составители отказались от теоретических введений к каждой лабораторной работе, поскольку все вопросы теории изложены в учебниках Л1, Л2. В конце каждой работы приведены контрольные вопросы, которые составлены так, чтобы стимулировать изучение теоретических разделов курса, облегчая подготовку к экзаменам.

Содержание каждой работы позволяет достаточно полно изучить тот или иной электронный прибор. Однако в зависимости от специализации студентов и времени, отводимого на практикум, объем отдельных работ может быть сокращен.

### Основные правила безопасности при работе в лаборатории электронных приборов

1. Перед началом занятий группы преподаватель проверяет исправность распределительной сети электропитания и комплектность стендов.

2. Студенты могут включать стенды и начинать работу только с разрешения преподавателя.
3. При поданном на схему напряжении нельзя прикасаться к открытым контактам схемы.
4. При пользовании вольтметрами, осциллографами и другими приборами со щупами нельзя касаться электропроводящей части щупа.
5. При получении электрической травмы студенты должны немедленно вызвать преподавателя, под руководством которого пострадавшему оказывается необходимая помощь.
6. По окончании работы питание стенда и измерительных приборов должно быть выключено.

#### Проведение занятий

Перед началом выполнения каждой работы преподаватель проверяет подготовленность студентов к занятию, правильность понимания ими цели и содержания очередной работы.

С теорией этой работы студенты обязаны ознакомиться заранее, используя конспект лекций и литературу, указанную в работе. При подготовке следует использовать контрольные вопросы, приведенные в конце каждой работы.

Допущенные к работе студенты знакомятся со стендом и с измерительными приборами, необходимыми для выполнения работы. При знакомстве со стендами следует иметь в виду, что принципиальные схемы, изображенные на лицевых панелях стендов, могут не совпадать со схемами, приведенными в описании. Так, например, в работе № 9 "Полупроводниковые диоды" в описании приведены три отдельные схемы для снятия прямой и обратной ветви вольт-амперной характеристики и измерения дифференциального сопротивления и сопротивления базы диода, тогда как на стенде изображена полная схема, позволяющая путем переключений выполнить все эти измерения для нескольких конкретных диодов.

На стенде указано основное назначение прибора, схема расположения выводов, основные параметры, номинальные и предельно допустимые режимы работы. Все эти данные должны быть внимательно изучены студентами и внесены в протокол испытаний; в соответствии с ними выбираются значения напряжений и токов при измерениях.

Перед началом измерений студенты наносят на миллиметровую бу-

магу оси координат для отсчета измеряемых величин. Масштаб на осях указывается в соответствии с ГОСТом ( 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 и т.д. единиц в большой клетке графика). Масштаб выбирается в соответствии с пределами возможного изменения измеряемой величины, которая устанавливается из паспортных данных.

При проведении экспериментов на график наносятся точки, соответствующие измеряемым величинам. По нанесённым точкам строится немедленно график, до перехода к снятию следующей характеристики. Если при этом оказывается, что некоторые точки отклоняются от кривой ( не соответствуют теоретической зависимости ), то производится повторное снятие сомнительной точки и вносятся необходимые исправления. Если точки располагаются слишком редко и не определяют достаточно точно хода кривой, то делаются дополнительные измерения.

Экспериментальные точки и кривые наносятся только карандашом. Следует обратить внимание на точность, аккуратность и чистоту выполнения графиков, являющихся основной документацией работы. Выполнение графиков начерно не допускается.

На графиках необходимо указать тип испытанного прибора, а также режим испытания.

При выполнении работы несколькими студентами на одном стенде составляется один экземпляр протокольных записей и графиков, который визируется преподавателем.

### Оформление и защита отчета

Отчет о проделанной работе представляется каждым студентом индивидуально на текущем или следующем занятии.

Содержание отчета по каждой работе и предъявляемые к нему требования изложены в описании к работе,

Электронные приборы, а также все детали электронных схем должны быть изображены в соответствии с ЕСКД ( ГОСТ 2.723 + 2.731 -68), а размерности измеренных и вычисленных величин указаны в соответствии с принятой Международной системой единиц ( СИ ).

При защите используются контрольные вопросы, приведенные в конце каждой работы.

Студенты, успешно защитившие отчеты в течение семестра, по мере выполнения лабораторных работ, получают зачет по лаборатории без дополнительного собеседования с преподавателем.

РАБОТА № I (72)<sup>x</sup>)

## Т Р И О Д

### I. Цель и содержание работы

Ознакомиться с физическими основами работы триода, изучить его характеристики и параметры 1, стр.53 - 108; 2, стр.45 - 76.

В работе изучаются анодные, анодно-сеточные, сеточные и сеточно-анодные характеристики триода. Определяются параметры триода в разных режимах по характеристикам, а также методом трех отсчетов. По статическим анодным характеристикам триода строится рабочая анодно-сеточная характеристика и сравнивается с полученной экспериментально. Рассчитываются рабочие параметры  $S_{\text{раб}}$ ,  $M_{\text{раб}}$  (крутизна и коэффициент усиления).

Изучается токораспределение в триоде в различных режимах, рассчитывается коэффициент токораспределения для режима прямого переключения.

Изучаются токи в цепи сетки, когда ее потенциал отрицателен. Определяется величина сеточного тока с преобладающей ионной компонентой.

### 2. С х е м ы

Схема на рис.1 дает возможность семейства анодных  $I_a = f(U_a)$ , анодно-сеточных  $I_a = f(U_c)$ , сеточно - анодных  $I_c = f(U_a)$ , и сеточных  $I_c = f(U_c)$  характеристик триода. Регулирование анодного потенциала  $U_a$  производится потенциометром  $D_1$ . Потенциал сетки  $U_c$  регулируется с помощью  $D_2$ . При снятии рабочих характеристик триода в анодную цепь включается сопротивление нагрузки  $R_a$ . При снятии статических характеристик это сопротивление должно быть зашунтировано ключом  $K_1$ . Схема рис.2 позволяет

<sup>x</sup>) В скобках указаны старые номера, имеющиеся на некоторых стендах.

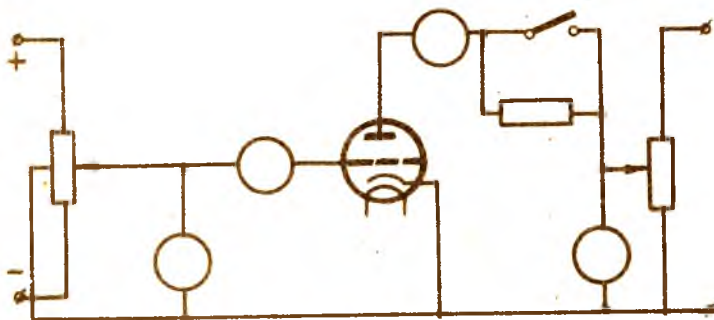


Рис. 1

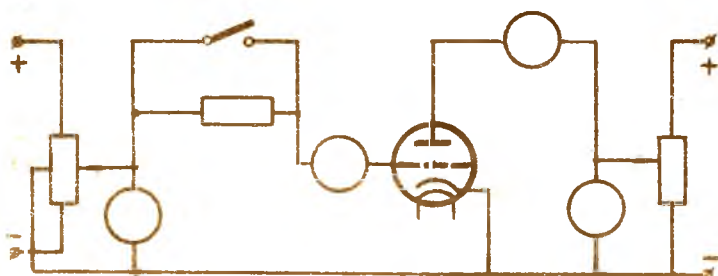


Рис. 2

исследовать распределение электронного тока между анодом и сеткой при различных значениях положительных потенциалов  $U_a$  и  $U_c$ , а также определить величину сеточного тока с преобладающей ионной компонентой.

### 3. За п а н и е

1. Записать паспортные данные триода и зарисовать его цоколевку.

2. Воспользовавшись значением наибольшей мощности, рассеиваемой анодом исследуемого триода  $P_{a \max}$ , рассчитать и построить кривую предельной мощности  $P_{a \max} = I_a \cdot U_a$  для  $U_a$  и  $I_a$ , лежащих

в принятых для исследования пределах.

3. Снять семейство статических анодных характеристик  $I_a = f(U_a)$  (рис.1) триода для нескольких значений потенциалов управляющей сетки  $U_c$ , в том числе для номинального значения  $U_{c\text{ ном}}$ .

Анодные потенциалы изменять от нуля до значения, ограничиваемого кривой предельной мощности, рассеиваемой анодом.

При положительных потенциалах управляющей сетки  $U_c$ , отмечая значения сеточных токов  $I_c$ , снять сеточно-анодные характеристики  $I_c = f(U_a)$  триода.

4. Снять семейство статических анодно-сеточных характеристик  $I_a = f(U_c)$  триода для нескольких значений анодного потенциала, в том числе для номинального значения  $U_{a\text{ ном}}$ . Потенциал сетки изменять от потенциала запираения до значения  $U_c$ , соответствующего максимально допустимому (при заданном  $U_a$ ) анодному току, определенному из кривой предельной мощности, рассеиваемой анодом.

5. При положительных значениях потенциала сетки  $U_c$ , отмечая значения сеточных токов  $I_c$ , снять сеточные характеристики  $I_c = f(U_c)$  триода.

6. Измерить статические параметры триода методом трех отсчетов (см. ниже разд.4).

7. Включив в анодную цепь сопротивление  $R_a$ , снять рабочие анодно-сеточную  $I_a = f(U_c)$  и сеточную  $I_c = f(U_c)$  характеристики цепи с триодом при постоянном напряжении питания анодной цепи  $E_a$ .

8. Снять характеристики  $I_a = f(U_c)$  и  $I_c = f(U_c)$  триода при постоянном анодном потенциале  $U_a = 5$  в (рис.2). Сопротивление  $R_c$  при этом должно быть зашунтировано ключом К2. Обе характеристики снимать одновременно.

9. Снять анодно-сеточные характеристики  $I_a = f(U_c)$  триода при постоянном значении анодного потенциала и  $R_c = 0$ , а также при включенном в цепь сетки сопротивлении  $R_c = 2 + 3$  Мом. Потенциал сетки изменять от нуля до запираения лампы. Обе характеристики снимать одновременно, включая и выключая  $R_c$ .

#### 4. Методические указания

1. При экспериментальном определении параметров триода методом трех отсчетов рекомендуется придерживаться следующего порядка измерений (таблица 1):



Таблица I

Отсчеты	$U_a$	$U_c$	$I_a$
Первый ( а )	$U_a'$	$U_c'$	$I_a'$
Второй ( б )	$U_a'$	$U_c''$	$I_a''$
Третий ( в )	$U_a''$	$U_c''$	$I_a'$

а) установить номинальные значения анодного  $U_a'$  и сеточного  $U_c'$  напряжений и измерить полученный при этом анодный ток  $I_a'$  ;

б) затем (второй отсчет), оставляя неизменным анодное напряжение  $U_a'$  , немного повысить сеточное напряжение  $U_c''$  и измерить получившееся значение анодного тока  $I_a''$  .

в) при третьем отсчете оставить неизменным сеточное напряжение  $U_c''$  и так изменить анодное напряжение  $U_a''$  , чтобы получить первоначальное значение анодного тока  $I_a'$  . Все данные свести в таблицу.

При вычислении параметров пользуются теми же формулами, что и при расчете по характеристикам.

2. Для изучения распределения электронного тока между анодом и сеткой токи  $I_a$  и  $I_c$  измеряются при сравнительно больших значениях положительного потенциала сетки  $U_c$  .

Потенциал анода  $U_a$  задается равным 5 в , поэтому можно подавать на сетку положительный потенциал  $U_c$  , в несколько раз больший потенциала анода  $U_a$  . В этом случае токораспределение между анодом и сеткой исследуется в широком интервале измерений отношения  $U_c/U_a$  .

3. Для определения сеточного тока с преобладающей ионной компонентой в цепь сетки включается сопротивление достаточно большой величины (примерно 2-3 Мом). Анодно-сеточная характеристика триода в этом случае снимается дважды: при  $R_c = 2 \div 3$  Мом и  $R_c = \infty$  . Эти характеристики сдвинуты относительно друг друга (при отрицательных потенциалах сетки) на величину  $\Delta U_c$  , равную падению напряжения на сопротивлении  $R_c$  из-за прохождения по нему сеточного тока. Зная  $R_c$  , можно определить величину сеточного тока с преобладающей ионной компонентой, разделив  $\Delta U_c$  на  $R_c$  .

## 5. Обработка результатов измерений

1. Рассчитать статические параметры триода в точке пересечения нагрузочной прямой с анодной характеристикой, снятой при  $U_c = U_{c \text{ ном}}$ . Нагрузочную прямую построить для  $E_a = U_{a \text{ ном}}$  и использованного в работе сопротивления  $R_a$ .

2. Рассчитать рабочие параметры  $S_{\text{роб}}$  и  $\mu_{\text{роб}}$  по статическим параметрам триода для того же режима работы лампы.

3. Рассчитать параметры триода  $S_i$ ,  $\mu$  и  $R_i$  по данным метода трех отсчетов.

4. Построить рабочую анодно-сеточную характеристику триода  $I_a = f(U_c)$ , воспользовавшись снятым семейством анодных характеристик триода  $I_a = f(U_a)$  и нагрузочной прямой, построенной для  $E_a = U_{a \text{ ном}}$  и сопротивления  $R_a$ .

5. Построенную рабочую характеристику  $I_a = f(U_c)$  нанести на один график с полученной экспериментально характеристикой  $I_a = f(U_c)$ .

6. Подсчитать рабочую крутизну характеристики  $S_{\text{роб}}$  в точке на экспериментальной характеристике  $I_a = f(U_c)$ , где  $U_c = U_{c \text{ ном}}$ .

7. Рассчитать коэффициент токораспределения  $\gamma = I_a / I_c$  для режима прямого перехвата.

8. Построить график зависимости тока сетки от величины отрицательного потенциала сетки  $I_c = f(U_c)$ , используя п. 9 разд. 3.

## 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

1. Паспортные данные и цоколевку исследуемого триода.

2. Схему испытания электронной лампы.

3. Анодные  $I_a = f(U_a)$  и сеточно-анодные  $I_c = f(U_a)$  характеристики триода, снятые при разных потенциалах управляющей сетки  $U_c$  и  $R_a = 0$ .

4. Расчет статических параметров триода, определенных в точке пересечения нагрузочной прямой с анодной характеристикой, снятой при значении потенциала сетки  $U_c = U_{c \text{ ном}}$ .

5. Расчет рабочих параметров  $S_{\text{роб}}$  и  $\mu_{\text{роб}}$  по статическим параметрам триода для того же режима работы лампы.

6. Анодно-сеточные  $I_a = f(U_c)$  и сеточные  $I_c = f(U_c)$  характеристики триода, снятые при разных потенциалах  $U_a$  анода и  $R_a = 0$ .

7. Расчет статических параметров триода  $S, \mu$  и  $R_i$  по данным метода трех отсчетов.

8. Рабочие анодно-сеточную  $I_a = f(U_c)$  и сеточную  $I_c = f(U_c)$  характеристики, снятые экспериментально.

9. Рабочую анодно-сеточную  $I_a = f(U_c)$  характеристику, построенную с помощью семейства статических анодных характеристик  $I_a = f(U_a)$  триода и нагрузочной прямой. Сравнить построенную и полученную экспериментально рабочие характеристики  $I_a = f(U_c)$ .

10. Расчет рабочей крутизны  $S_{раб}$  в точке на экспериментальной рабочей анодно-сеточной характеристике триода, где  $U_c = U_{c ном}$ . Сравнить результаты вычисления с данными, п.5.

11. Расчет коэффициента токораспределения для режима прямого перехвата.

12. График зависимости  $I_c = f(U_c)$  для отрицательных значений потенциала сетки.

### 7. Вопросы для подготовки

1. Каково назначение сетки в триоде?
2. Что такое действующий потенциал триода и как он определяется?
3. Что такое проницаемость лампы  $D$ , какой физический смысл имеет эта величина?
4. Как зависит проницаемость триода от геометрических размеров сетки?
5. Какие характеристики триода называются анодными, анодно-сеточными, сеточно анодными? Нарисуйте эти характеристики.
6. Назовите основные параметры триода и дайте их определение.
7. Как определяются параметры триода по характеристикам?
8. Как зависят параметры триода (крутизна характеристики  $S$ , коэффициент усиления  $\mu$  и внутреннее сопротивление  $R_i$ ) от геометрических размеров электродов?
9. Как зависят параметры триода  $S, \mu, R_i$  от режима работы лампы (от  $U_H; U_a; U_c$ )?
10. В каких случаях коэффициент усиления  $\mu = I_c/I_a$ ?
11. Почему коэффициент усиления  $\mu$  триодов обычно не превышает 100?
12. Что такое рабочие параметры цепи с триодом?
13. Что такое режим прямого перехвата и режим возврата?
14. На какие компоненты может быть разложен сеточный ток при

отрицательном потенциале сетки? Какой величины он бывает?

15. Каким методом определяется в данной работе величина сеточного тока при отрицательном потенциале сетки?

16. Как можно определить качество вакуума в триоде?

17. Какие величины указываются в предельно-допустимых эксплуатационных данных триода?

18. Какова долговечность триодов? Что является критерием их долговечности?

19. Каковы недостатки триодов, ограничивающие их область применения? Расскажите о применении триодов в электронных схемах.

РАБОТА № 2 ( 73 )

П Е Н Т О Д

### 1. Цель и содержание работы

Ознакомиться с физическими основами работы пентода и его важнейшими характеристиками и параметрами 1, стр.127 - 148; 2, стр. 78 - 109 .

В работе изучаются характеристики зависимости токов анода и экранной сетки от потенциалов всех электродов пентода. Определяются параметры пентода  $S, \mu, R_i$  для номинального режима. Рассчитываются параметры пентода по экранной сетке, а также определяется полная крутизна характеристики пентода.

Изучается двойное управление анодным током пентода и рассчитывается коэффициент преобразования лампы.

Исследуется работа пентода в тетродном режиме. Определяется район динатронного эффекта.

### 2. С х е м а

С помощью схемы на рис.3 можно снять анодные ( $I_a = f(U_a)$ ) анодно-сеточные  $I_a = f(U_{c1})$ , экранно-анодные  $I_{c2} = f(U_a)$  и экранно-сеточные  $I_{c2} = f(U_{c1})$  характеристики пентода, а также исследовать управление анодным током по третьей сетке. Кроме того, при небольшом изменении этой схемы ( см.ниже ,разд.4) можно изучить работу пентода в тетродном режиме. Регулирование потенциалов всех электродов пентода осуществляется соответствующими потенциометрами.

### 3. Задание

1. Записать паспортные данные пентода и зарисовать его цоколевку.

2. Построить кривую максимальной мощности  $P_{a \max} = I_a \cdot U_a$  ,

определяющую допустимые значения потенциалов и токов.

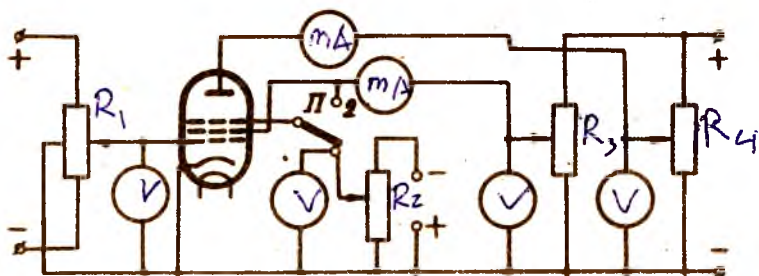


Рис. 3

3. Снять семейства анодно-сеточных  $I_a = f(U_{c1})$  и экранно-сеточных  $I_{c2} = f(U_{c1})$  характеристик пентода при номинальных значениях  $U_{aном}$  и  $U_{c2ном}$ , а также при  $U_a < U_{aном}$  и  $U_{c2} < U_{c2ном}$  (рис. 3).

Потенциал управляющей сетки изменять от запирания лампы до значения  $U_{c1}$  соответствующего максимально допустимому току  $I_a$  (или  $I_{c2}$ ), определенному из кривой предельной мощности, рассеиваемой анодом (или экранной сеткой). Переключатель режима антидинаatronной сетки должен находиться в положении I.

Характеристики  $I_a = f(U_{c1})$  и  $I_{c2} = f(U_{c1})$  построить на отдельных графиках.

4. Снять анодно-экранные характеристики  $I_a = f(U_{c2})$  пентода при  $U_a = U_{aном}$  и нескольких отрицательных значениях  $U_{c1}$  в пределах от нуля или небольшого положительного значения  $U_{c1}$  до  $U_{c1}$ , при котором лампа запирается.

5. Снять зависимости  $I_a = f(U_{c3})$  и  $I_{c2} = f(U_{c3})$  при номинальных значениях  $U_{aном}$  и  $U_{c2ном}$  и при  $U_{c1}$ , соответствующем приблизительно середине участка анодно-сеточной характеристики.

6. Снять семейство характеристик  $I_a = f(U_{c3})$  при нескольких отрицательных потенциалах управляющей сетки  $U_{c1}$  и номинальных значениях  $U_{aном}$  и  $U_{c2ном}$ .

7. Снять семейство характеристик  $I_a = f(U_{c1})$  при нескольких отрицательных потенциалах  $U_{c3}$  и номинальных значениях  $U_{aном}$  и  $U_{c2ном}$ .

8. Снять семейства анодных  $I_a = f(U_a)$  и экранно-анодных

$I_{c2} = f(U_a)$  характеристик пентода при номинальном значении  $U_{г0м}$  и при различных потенциалах первой сетки  $U_{c1}$ . Взять четыре значения  $U_{c1}$  от нуля до величины, близкой к запарированию лампы.

9. Снять анодную  $I_a = f(U_a)$  и экранино-анодную  $I_{c2} = f(U_a)$  характеристики пентода в тетродном режиме при одном из значений  $U_{c1}$ , выбранных в п.8.

#### 4. Методические указания

1. В процессе всех измерений необходимо следить за постоянством заданных потенциалов на электродах пентода, регулируя их потенциометрами.

2. При снятии всех характеристик необходимо следить, чтобы токи не превосходили предельно допустимых.

3. При исследовании пентода в тетродном режиме третья сетка соединяется непосредственно со второй с помощью переключателя П (положение 2).

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Подсчитать параметры пентода  $S, \mu$  и  $R_i$  для номинального режима, воспользовавшись снятыми анодными характеристиками пентода.

2. Подсчитать параметры пентода по экранной сетке  $S_{c2}, R_{ic2}$  и  $\mu_{c2}$  при номинальных значениях  $U_{c1}; U_{c2}; U_a$  по формулам

$$S_{c2} = \frac{\partial I_{c2}}{\partial U_{c1}}; \quad R_{ic2} = \frac{\partial U_{c2}}{\partial I_{c2}}; \quad \mu_{c2} = - \frac{\partial U_{c2}}{\partial U_{c1}}.$$

3. Подсчитать полную крутизну характеристики пентода  $S_K$  по формуле

$$S_K = \frac{\partial I_K}{\partial U_{c1}} = S + S_{c2}$$

4. На график характеристик  $I_a = f(U_a)$  и  $I_{c2} = f(U_a)$ , снятых в тетродном режиме, нанести характеристики  $I_{c2} = f(U_a)$ ,  $I_a = f(U_a)$  пентода, снятые при  $U_{c3} = 0$  и том же  $U_{c1}$ . Отметить область динаatronного эффекта.

5. Воспользовавшись снятыми характеристиками  $I_a = f(U_{c3})$  для разных  $U_{c1}$ , рассчитать и построить графики зависимости крутизны характеристики по третьей сетке  $S_3 = \frac{\partial I_a}{\partial U_{c3}}$  от потенциала  $U_{c3}$  для разных значений потенциала управляющей сетки  $U_{c1}$ .

6. По снятым характеристикам  $I_a = f(U_{c1})$  для разных  $U_{c3}$  рассчитать и построить графики зависимости крутизны характеристики по первой сетке  $S = \frac{\partial I_a}{\partial U_{c1}}$  от потенциала  $U_{c1}$  для разных значений

потенциала третьей сетки  $U_{c3}$ .

7. Рассчитать коэффициент преобразования или постоянную преобразования  $k_{пр}$  по формуле

$$k_{пр} = \frac{\partial S}{\partial U_{c3}} = \frac{\partial S_3}{\partial U_{c1}} = \frac{\partial^2 I_a}{\partial U_{c1} \cdot \partial U_{c3}}$$

## 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

1. Паспортные данные и цоколевку исследованного пентода.
2. Схему испытания электронной лампы.
3. Анодно-сеточные  $I_a = f(U_{c1})$  и экранно-сеточные  $I_{c2} = f(U_{c1})$  характеристики пентода при номинальных значениях  $U_{aном}$  и  $U_{c2ном}$ , а также при пониженных значениях  $U_a$  и  $U_{c2}$ .
4. Анодно-экранные характеристики  $I_a = f(U_{c2})$  пентода при  $U_a = U_{aном}$  и нескольких отрицательных значениях  $U_{c1}$ .
5. Характеристики управления током пентода по третьей сетке  $I_a = f(U_{c3})$  и  $I_{c2} = f(U_{c3})$ .
6. Анодные  $I_a = f(U_a)$  и экранно-анодные  $I_{c2} = f(U_a)$  характеристики пентода при номинальном значении  $U_{c2ном}$  и различных потенциалах первой сетки  $U_{c1}$ .
7. Анодную  $I_a = f(U_a)$  и экранно-анодную  $I_{c2} = f(U_a)$  характеристики пентода, снятые при работе пентода в тетродном режиме. На этом же графике должны быть нанесены характеристики  $I_a = f(U_a)$  и  $I_{c2} = f(U_a)$  снятые ранее при  $U_{c3} = 0$  и том же  $U_{c1}$ , а также отмечен район динаotronного эффекта.
8. Расчет параметров пентода  $S$ ,  $\mu$  и  $R_i$  для номинального режима.
9. Расчет параметров пентода  $S_{c2}$ ,  $R_{ic2}$ ,  $\mu_{c2}$  по экранно-сеточным характеристикам для номинальных значений  $U_{c1}$ ,  $U_{c2}$ ,  $U_a$ .
10. Расчет полной крутизны характеристики пентода  $S_k$ .
11. Характеристики управления анодным током пентода  $I_a = f(U_{c3})$  по третьей сетке при разных потенциалах  $U_{c1}$ .
12. Графики зависимости крутизны по третьей сетке  $S_3$  от  $U_{c3}$  для разных  $U_{c1}$ .
13. Характеристики управления анодным током пентода  $I_a = f(U_{c3})$  по первой сетке при разных потенциалах  $U_{c3}$ .
14. Графики зависимости крутизны по первой сетке  $S$  от  $U_{c1}$  для разных  $U_{c3}$ .
15. Расчет коэффициента преобразования пентода  $k_{пр}$ .



## 7. Вопросы для подготовки

1. Начертите график распределения потенциала в пентоде.
2. Объясните назначение каждой из трех сеток пентода.
3. Как распределяется ток катода между электродами пентода?
4. В каких областях пентодной системы существенно влияние объёмного заряда и почему?
5. Как изменяются при изменении анодного потенциала полный ток катода, ток анода и ток экранной сетки?
6. Что такое коэффициент токораспределения, как он изменяется при увеличении анодного потенциала?
7. Назовите основные параметры пентода, дайте их определение.
8. Как зависят параметры пентода  $S, \mu$  и  $R_i$  от потенциала управляющей сетки?
9. Как зависят параметры пентода  $S, \mu$  и  $R_i$  от потенциала анода?
10. Как зависят коэффициент усиления  $\mu$  и крутизна характеристики  $S$  пентода от потенциала экранной сетки?
11. Каково внутреннее сопротивление пентода?
12. Каков коэффициент усиления современных пентодов?
13. Каково соотношение между полной крутизной характеристики пентода и крутизной анодного тока?
14. Как выбрать рабочий режим пентода, пользуясь семейством анодных характеристик?
15. Чем отличаются анодные и анодно-сеточные характеристики пентода от аналогичных характеристик триода?
16. Как зависят токи в цепях электродов пентода от потенциала экранной сетки?
17. Как меняется анодный ток пентода в зависимости от потенциала антидиффузионной сетки? Как используется эта зависимость?
18. Чем отличаются анодные характеристики пентода от анодных характеристик лучевого тетрода? Как объяснить это отличие?
19. Сравните триод и пентод по величине **мехатронных** емкостей. Какие преимущества у пентода при работе на высоких частотах?
20. Чем различаются по конструкциям и по параметрам пентоды, применяемые для усиления мощности, от пентодов, используемых для усиления напряжения?
21. Назовите наиболее распространенные типы пентодов, применяемые для усиления напряжения.

РАБОТА № 3 (82)

ЭЛЕКТРОННО-СВЕТОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

1. Цель и содержание работы

Ознакомиться с конструкцией, физическими основами работы, характеристиками и параметрами электронно-световых индикаторов 2, стр.132 - 134 .

В работе изучаются анодные и анодно-сеточные характеристики триодной части индикатора и определяются ее параметры  $S$  и  $\mu$  .

Снимаются характеристики величины угла темного или светлого сектора экрана  $\varphi$  от потенциалов анода и управляющей сетки для разных режимов. Рассчитывается чувствительность индикаторной части прибора  $a_1$  .

Строится график зависимости угла  $\varphi$  от отношения потенциалов управляющего электрода и светящегося экрана.

Рассчитывается общая чувствительность электронно- светового индикатора  $a$  и строится график зависимости  $a$  от потенциала управляющей сетки.

2. С х е м а

Схема на рис. 4 дает возможность снять общую характеристику электронно-светового индикатора, а также характеристики отдельных его частей-триодной и индикаторной.

На анод, световой экран и управляющую сетку подаются регулируемые с помощью соответствующих потенциометров потенциалы от источников постоянного напряжения. При положении 1 ключа  $K$  можно снять статические характеристики триодной части индикатора или характеристики индикаторной части. При положениях 2 и 3 ключа  $K$  в анодную цепь индикатора включаются омические сопротивления  $R_a$  . В этом случае можно снять общие характеристики электронно-светового индикатора.

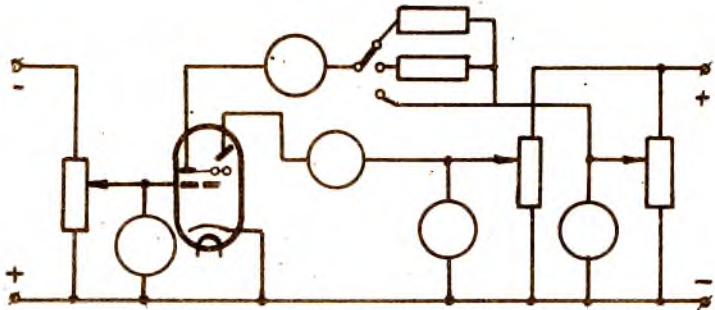


Рис. 4

### 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные индикатора и зарисовать его цоколевку.

2. Воспользовавшись значением максимальной мощности, рассеиваемой анодом триодной части индикатора, построить кривую наибольшей мощности  $P_{max} = I_a \cdot U_a$  для  $U_a$  и  $I_a$ , лежащих в принятых для исследования пределах.

3. Снять семейство статических анодных  $I_a = f(U_a)$  характеристик триодной части индикатора при постоянном потенциале экрана  $U_3 = U_{3ном}$  для нескольких значений потенциалов управляющей сетки  $U_c$ , в том числе для номинального значения  $U_{cном}$  (рис. 4). Анодные потенциалы изменять от нуля до значения, ограничиваемого кривой предельной мощности, рассеиваемой анодом.

4. Снять семейство статических анодно-сеточных  $I_a = f(U_c)$  характеристик триодной части индикатора при постоянном потенциале экрана  $U_3 = U_{3ном}$  для нескольких значений анодных потенциалов  $U_a$ , в том числе для номинального значения  $U_{aном}$ . Потенциал сетки  $U_c$  изменять от нуля до запирающего лампы.

5. При  $R_a = 0$  снять зависимость угла  $\varphi$  от анодного потенциала  $U_a = U_{упр}$  при постоянных  $U_3 = U_{3ном}$  и  $U_c$ , изменяя значение  $U_a$  от  $U_a = U_{3ном}$  до нуля. Значение  $U_c$  устанавливается равным потенциалу запирающего лампы при  $U_a = U_{3ном}$ . Углы темного сектора считать положительными, а светлого-отрицательными.

6. Снять зависимость угла  $\varphi$  от потенциала управляющей сетки  $U_c$  при постоянных  $U_3 = U_{3ном}$  и  $E_a = U_{aном}$  для двух

значений  $R_a$ , изменяя  $U_c$  от нуля до запырания лампы. Углы темного сектора считать положительными, а светлого отрицательными.

Одновременно измерять зависимость тока экрана  $I_{\Sigma} = f(U_c)$  для тех же режимов.

7. Снять зависимость угла  $\varphi$  от потенциала управляющей сетки  $U_c$  при постоянных  $U_{\Sigma} = 0,5 U_{\Sigma \text{ном}}$  и  $E_a = 0,5 U_{a \text{ном}}$

для двух значений  $R_a$ , изменяя  $U_c$  от нуля до запырания лампы. Углы темного сектора считать положительными, а светлого-отрицательными.

Одновременно измерять зависимость тока экрана  $I_{\Sigma}$  от  $U_c$  для тех же режимов.

#### 4. Методические указания

1. При снятии характеристик необходимо, чтобы анодный ток  $I_a$  не превосходил предельно-допустимой величины, определяемой для каждого  $U_a$  из условия  $I_a \cdot U_a = P_{a \text{max}}$ .

2. Измерение углов темного и светлого секторов на светящемся экране индикатора производится специальным угломером-диском с нанесенной на нем шкалой в градусах, который прикрепляется к лампе. При каждом измерении угломер следует поворачивать так, чтобы начало отсчета совпадало с краем темного или светлого сектора.

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Подсчитать коэффициент усиления  $\mu$  и крутизну характеристики  $S$  триодной части электроно-светового индикатора.

2. Подсчитать чувствительность индикаторной части прибора

$$\alpha_1 = \frac{\partial \varphi}{\partial U_{упр}} \text{ при } U_{\Sigma} = const.$$

Чувствительность индикаторной части-величина, показывающая на сколько градусов изменяется угол темного или светлого сектора  $\varphi$  при изменении потенциала управляющего электрода  $U_{упр}$  на 1 в.

Величина  $\alpha_1$  измеряется в град/в (цилиндрическая конструкция экрана) или в мм/в (плоская конструкция экрана).

3. Построить графики зависимости угла  $\varphi$  от отношения потенциалов  $U_{упр}/U_{\Sigma}$  для использованных в работе режимов.

4. Подсчитать общую чувствительность электроно-светового индикатора

$$\alpha = \frac{\partial \varphi}{\partial U_c} \text{ при } U_{\Sigma} = const.$$

Чувствительность электронно-светового индикатора-величина, показывающая на сколько градусов изменяется угол темного или светлого сектора  $\varphi$  при изменении потенциала управляющей сетки  $U_c$  на  $I$  в.

$\alpha$  измеряется в тех же единицах, что и  $\alpha_1$ .

5. Проверить справедливость соотношения  $\alpha = \alpha_1 \mu_{\text{раб}}$ , где  $\mu_{\text{раб}}$  - рабочий коэффициент усиления схемы с триодом.

6. Построить график зависимости общей чувствительности индикатора  $\alpha$  от потенциала управляющей сетки  $\alpha = f(U_c)$  при  $E_a = U_{a\text{ном}}$  и  $U_{3\text{ном}}$  для одного выбранного значения  $R_a$ . На этот же график нанести кривую зависимости  $\varphi = f(U_c)$  для того же режима.

## 6. Отчет

Отчет должен содержать:

I. Паспортные данные и цоколевку исследованного электронно-светового индикатора.

2. Схему испытания электронно-светового индикатора.

3. Анодные  $I_a = f(U_a)$  и анодно-сеточные  $I_a = f(U_c)$  характеристики триодной части индикатора.

4. Расчет параметров триодной части индикатора  $\mu$  и  $S$ .

5. Характеристику индикаторной части прибора  $\varphi = f(U_a)$  или  $\varphi = f(U_{\text{упр}})$ .

6. Расчет чувствительности индикаторной части прибора.

7. Характеристики зависимости угла  $\varphi$  от потенциала управляющей сетки:  $\varphi = f(U_c)$  - для всех исследованных режимов испытания прибора.

8. График зависимости угла  $\varphi$  от отношения потенциалов управляющего электрода и экрана:  $\varphi = f\left(\frac{U_{\text{упр}}}{U_3}\right)$  для использованных режимов.

9. Расчет общей чувствительности электронно-светового индикатора  $\alpha$ .

10. Расчет  $\mu_{\text{раб}}$  и результаты проверки формулы  $\alpha = \alpha_1 \mu_{\text{раб}}$ .

II. График зависимости общей чувствительности индикатора от потенциала управляющей сетки  $\alpha = f(U_c)$ .

## 7. Вопросы для подготовки

I. Расскажите о конструкциях и принципе действия электронно-световых индикаторов настройки.

2. Чем определяется потенциал управляющего электрода индикатора?

3. Как подсчитать потенциал той точки пространства, где расположен управляющий электрод для плоской и цилиндрической систем электродов?

4. Каковы причины появления светлого сектора на экране индикатора?

5. В каком случае наблюдается равномерное свечение всего экрана индикатора?

6. Нарисуйте основные характеристики триодной части индикатора.

7. Нарисуйте характеристики индикаторной части прибора.

8. Назовите основные параметры электронно-световых индикаторов.

9. Как влияет величина сопротивления в анодной цепи  $R_a$  на величину темного сектора на экране индикатора?

10. Что такое чувствительность индикаторной части прибора  $a_1$  и как она определяется?

11. Что такое общая чувствительность электронно-светового индикатора  $a$  и как она зависит от величины сопротивления в анодной цепи?

РАБОТА № 4 ( 81 )

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА  
С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКОЙ  
И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ОТКЛОНЕНИЕМ

I. Цель и содержание работы

Ознакомиться с конструкцией электронно-лучевой трубки с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением и изучить характеристики и параметры основных ее элементов I, стр, 530-549; 2, стр.312 - 339 .

В работе изучаются свойства основных элементов электронно-лучевой трубки: электронного прожектора, отклоняющей системы и экрана.

Исследуются основные характеристики электронного прожектора. Измеряется и рассчитывается чувствительность отклоняющей системы трубки и исследуется зависимость ее величины от режима работы трубки. Изучается влияние различных факторов на яркость свечения экрана.

2. С х е м а

На рис.5 приведена схема для изучения работы электронно-лучевой трубки.

Выводы всех электродов трубки присоединены к различным точкам делителя напряжения, подсоединенного к высоковольтному выпрямителю.

Потенциалы модулятора, первого и второго анодов могут регулироваться с помощью потенциометров  $D_1$  и  $D_2$ , что приводит к изменению яркости и фокуса луча. Система сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  позволяет осуществлять центровку луча на экране трубки.

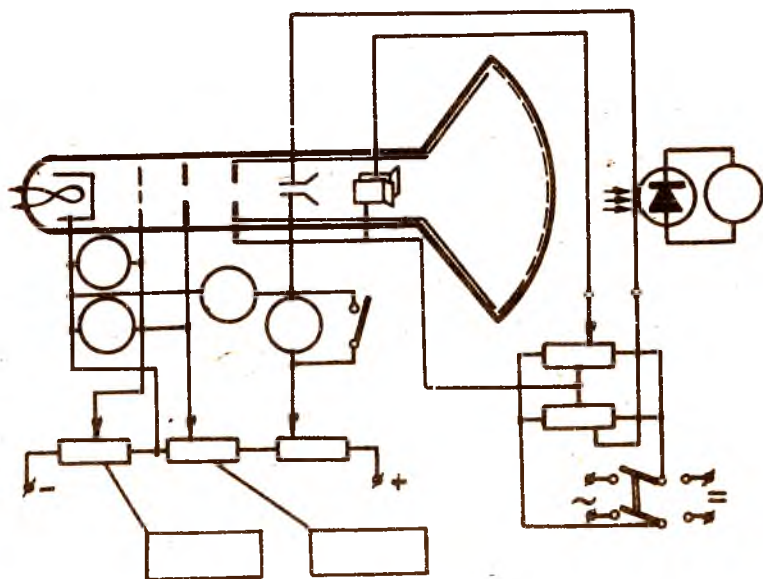


Рис. 5

Потенциалы  $U_m$ ,  $U_{a1}$  и  $U_{a2}$  измеряются вольтметрами. В качестве последних используются микроамперметры, подключаемые к соответствующим гнездам, у которых смонтированы добавочные сопротивления. Эти сопротивления рассчитаны так, что при измерении  $U_m$  вся шкала прибора соответствует 150 в, при измерении  $U_{a1}$  - 600 в, при измерении  $U_{a2}$  - 2 кв. Когда измеряется  $U_m$ , полярность включения прибора следует изменить на обратную.

При исследовании трубок без последующего ускорения микроамперметр, измеряющий ток луча, включается в цепь второго анода.

При определении чувствительности трубки по отклонению к отключающим пластинкам подводится переменное напряжение, а перемещение светящегося пятна на экране осуществляется с помощью постоянного напряжения, которые коммутируются переключателем П от внутренних источников питания.

Для измерения яркости свечения экрана трубки используется фото-



электрический прибор с микроамперметром ( на 50 мка ).

### 3. Задание

1. Ознакомиться с устройством исследуемой электронно-лучевой трубки, записать ее паспортные данные и зарисовать схему соединения электродов с выводами.

2. Подав напряжения на электроды трубки, близкие к указанным в паспортных данных, получить на экране яркое, хорошо сфокусированное пятно. Измерить потенциалы всех электродов трубки  $U_M$ ;  $U_{A1}$ ;  $U_{A2}$  и ток луча  $I_L$ , получавшийся при этом. Считать этот режим " номинальным ". Определить потенциал зашпирания трубки  $U_{No}$  для  $U_{A2 ном}$ .

3. Снять зависимость тока луча  $I_L$  от потенциала модулятора  $I_L = f(U_M)$  для нескольких потенциалов второго анода  $U_{A2}$  и первого анода  $U_{A1}$ , соответствующих условию наилучшей фокусировки в каждом случае. При измерении тока луча ключ  $K$  должен находиться в разомкнутом состоянии.

4. Снять зависимость потенциала первого анода  $U_{A1}$  от потенциала второго анода  $U_{A1} = f(U_{A2})$  при наилучшей фокусировке.

5. Подключить отклоняющие пластины к источнику отклоняющего напряжения.

6. Снять зависимость величины отклонения луча на экране  $\Delta$  для горизонтальных и вертикальных отклоняющих пластин от отклоняющего напряжения  $\Delta = f(U_{отк})$  при номинальном режиме работы трубки.

7. Снять зависимость чувствительности трубки к отклонению для обеих пар пластин  $\delta_x$  и  $\delta_y$  от потенциала второго анода  $U_{A2}$ .

8. Подать на горизонтальные или вертикальные отклоняющие пластины переменное напряжение такой величины, чтобы светящаяся линия имела длину несколько сантиметров.

9. При помощи фотоэлектрического прибора снять зависимость яркости свечения экрана  $B$  ( в условных единицах ) от тока луча  $I_L$ ,  $B = f(I_L)$ , при заданных потенциалах второго анода  $U_{A2}$ .

10. Снять зависимость яркости свечения экрана  $B$  ( в условных единицах ) от потенциала второго анода  $U_{A2}$ ,  $B = f(U_{A2})$  при заданных потенциалах модулятора  $U_M$ .

#### 4. Методические указания

1. До начала работы следует ознакомиться с правилами по технике безопасности при работе с высокими напряжениями. Все переключения в схеме можно производить лишь при выключенных источниках высокого напряжения.

2. При выполнении пп. 7, 9, 10 разд.3 напряжение первого анода при каждом измерении устанавливается такой величиной, чтобы обеспечивались оптимальные условия фокусировки луча на экране.

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Подсчитать чувствительность трубки к отклонению для обеих пар пластин  $B_x$  и  $B_y$  по экспериментальным результатам п.6 разд.3.

2. Построить графики зависимостей  $\delta_x = f\left(\frac{1}{U_{a2}}\right)$ ,  $\delta_y = f\left(\frac{1}{U_{a2}}\right)$ .

3. Построить график зависимости потенциала запирающей трубки  $U_{no}$  от потенциала анода  $U_{no} = (U_{a2})$ .

#### 6. Отчет

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры исследованной электронно-лучевой трубки и схему соединения ее электродов с выводами.

2. Схему испытания электронно-лучевой трубки.

3. Значения напряжений и токов, соответствующих яркому, хорошо сфокусированному пятну на экране.

4. Характеристики зависимостей тока луча от потенциала модулятора  $I_A = f(U_M)$  для разных значений  $U_{a2}$ .

5. График зависимости потенциала запирающей модулятора от потенциала ускоряющего электрода (второго анода)

$$U_{no} = f(U_{a2}).$$

6. График зависимости  $U_{a1} = f(U_{a2})$  для условий оптимальной фокусировки электронного луча.

7. Графики зависимости отклонения луча от величины отклоняющей разности потенциалов для обеих пар пластин  $\Delta x = f(U_{отк})$  и  $\Delta y = f(U_{отк})$  при номинальном режиме работы трубки.

8. Расчет чувствительности трубки к отклонению для обеих пар пластин  $\delta_x$  и  $\delta_y$  на основе полученных экспериментальных

результатов при выполнении п.6 разд.3.

9. Графики зависимости  $\delta = f\left(\frac{I}{Ua_2}\right)$  для обжек пар пластики.

10. Характеристики зависимости яркости свечения экрана от режима работы трубки (тока луча и потенциала второго анода):

$$B = f(I_A) \text{ и } B = f(Ua_2).$$

### 7. Вопросы для подготовки

1. Назовите основные элементы электронно-лучевой трубки с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением и расскажите об их назначении.

2. Расскажите об устройстве электронного прожектора и его работе. Из каких электронных линз состоит электронный прожектор? Почему электронные прожекторы современных осциллографических трубок строятся по двухлинзовой системе?

3. Как зависит ток луча от напряжения модулятора и почему?

4. Каким способом можно изменять качество фокусировки электронного луча? Каково назначение первого анода трубки?

5. Как устранить влияние регулировки яркости свечения на фокусировку луча?

6. Нарисуйте конструкции электронного прожектора с нулевым током первого анода и расскажите о его преимуществах.

7. Расскажите об устройстве системы электростатического отклонения. Для чего отклоняющим пластинам придают изогнутую форму?

8. Что такое чувствительность трубки к отклонению и от каких параметров отклоняющей системы зависит эта величина?

9. Зависит ли чувствительность к отклонению от величины отклоняющего напряжения?

10. Как зависит чувствительность трубки к отклонению от ускоряющего напряжения?

11. Чем определяется максимальный угол отклонения отклоняющих пластин?

12. Что такое симметричное и несимметричное включение отклоняющих пластин и каковы преимущества симметричного включения?

13. Для какой пары отклоняющих пластин осциллографической трубки чувствительность больше и почему?

14. Какова предельная частота  $f_{пред}$  современных осциллографических трубок с электростатическим отклонением?

15. Какие факторы определяют наибольшую (предельную) частоту электрических процессов, которые еще могут быть исследованы с помощью электронно-лучевой трубки с электростатическим отклонением?

16. Как зависит *f<sub>прег</sub>* от напряжения второго анода?

17. Какие вещества применяются в качестве люминесцирующих материалов для экранов электронно-лучевых трубок?

18. Какими факторами определяется яркость свечения экрана трубки? Как ее можно изменять?

19. Расскажите о назначении третьего анода электронно-лучевой трубки? (Трубки с послеускорением луча).

20. Для чего на внутреннюю поверхность колбы трубки наносят проводящий слой аквадагат?

21. Как отводится электрический заряд с экрана трубки?

22. Какое влияние на работу трубки оказывает вторичная эмиссия электронов с экрана?

23. Расскажите об изготовлении составных экранов, обладающих длительным послесвечением.

РАБОТА № 5 (55)

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

### 1. Цель и содержание работы

Ознакомиться с устройством, физическими основами действия электронного и ионного фотоэлементов, фотосопротивления и фотодиода, изучить их характеристики и параметры 1, стр.577-591; 2, стр. 346-364 .

В работе исследуются анодные и световые характеристики фотоэлектрических приборов. Определяются интегральные чувствительности в номинальном режиме, рассчитываются чувствительности по напряжению. Измеряется зависимость величины фототока от длины волны падающего света.

Изучается процесс утомления фотокатодов. Рассчитываются и строятся графики утомляемости фотокатодов. Измеряется темновой ток фотоприборов.

### 2. С х е м ы

Для исследования анодных, **вольтамперных**, световых и спектральных характеристик фотоэлементов и фотосопротивления используется схема, изображенная на рис.6, а для исследования фотодиода - схема на рис.7. Питание осуществляется от источников постоянного напряжения, потенциалы регулируются с помощью потенциометров. Переключатель  $П_1$  и ключ  $К$  на рис.6 поочередно подключают фотоэлектрические приборы к источнику питания.

Для изучения характеристик с нагрузкой в цепи имеется сопротивление  $R_a$  или  $R_n$ . При снятии статических характеристик оно должно быть зашунтировано переключателем  $П_2$ .

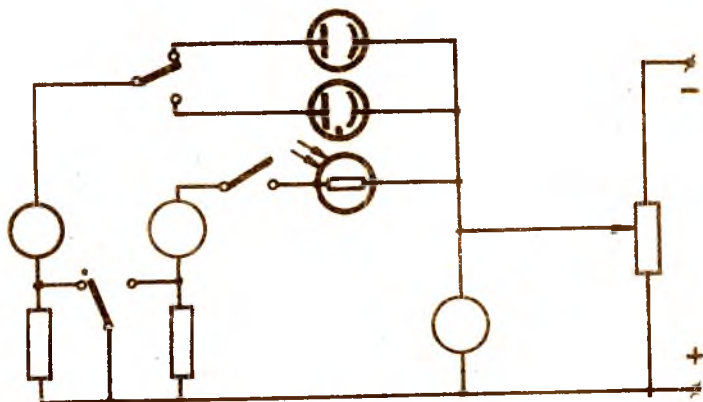


Рис. 6

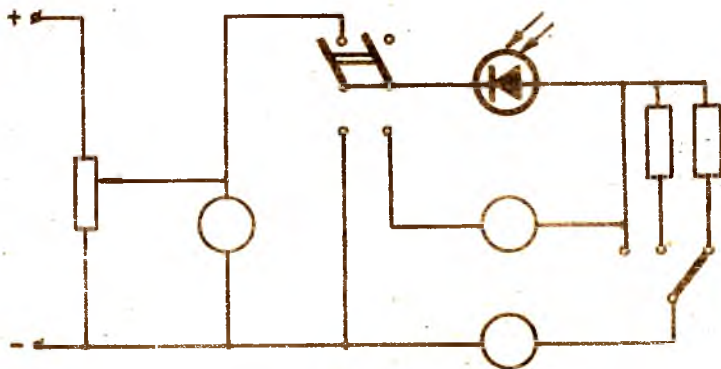


Рис. 7

### 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные исследуемых фотоэлектрических приборов и зарисовать схемы соединения их электродов с выводами.

2. Проследить за процессом утомления фотокатода, отмечая изменение фототока во времени в течение 12-15 мин после включения схемы и поддерживая в процессе этих измерений постоянными анодный потенциал и световой поток (см. разд. 4).

3. Снять семейство статических характеристик  $I = f(U)$  фотоэлектрических приборов при различных световых потоках  $\Phi$
4. Снять семейство статических световых характеристик  $I = f(\Phi)$  фотоприборов при нескольких потенциалах
5. Снять рабочие световые характеристики  $I = f(\Phi)$  фотоприборов при постоянном входном напряжении и включенном сопротивлении нагрузки  $R_a$ . Статические и рабочие световые характеристики построить на одном графике для каждого фотоэлектрического прибора.
6. Снять световые характеристики фотодиода в вентильном режиме  $I = f(\Phi)$  при различных сопротивлениях нагрузки  $R_H$  (переключатель  $\Pi_1$  рис.7 должен быть в положении 2).
7. Снять характеристику зависимости фототока от длины волны падающего света фотоприбора,  $I = f(\lambda)$ , при заданном потенциале  $U_a$  (см.разд.4).
8. Измерить темновой ток фотоприбора  $I_T$  (см.разд.4).

#### 4. Методические указания

1. В процессе всех измерений необходимо следить за постоянством тока накала осветительной лампочки.
  2. Перед началом всех измерений необходимо установить заданный режим первого испытания (анодный потенциал  $U_a$  и световой поток  $\Phi$ ). Затем, выключив напряжение и установив фотоэлемент, отметить величину фототока в первый момент после включения схемы и далее выполнить п.2 разд.3, поддерживая постоянными  $U_a$  и  $\Phi$ .
  3. Перед снятием анодных, световых и спектральных характеристик следует убедиться, что фототок из-за утомления фотокатода не изменяется.
  4. При измерении темнового тока фотоприбора  $I_T$  вместо микроамперметра включить гальванометр со шкалой 0-0,1 - 1 мкА.
  5. Перед снятием спектральной характеристики следует подобрать режим работы фотоэлектрических приборов и величину светового потока таким образом, чтобы в отсутствие светофильтров в цепи фотоэлемента протекал ток не менее 100 мкА. Последовательно заменяя светофильтры и увеличивая таким образом пропускаемую ими длину волны, измерять величину фототока. Длины волн  $\lambda$  указаны на светофильтрах.
- Перед сменой светофильтров необходимо отключать напряжение питания фотоэлемента.

### 5. Обработка результатов измерений

1. Построить график утомляемости фотокатодов электронного и ионного фотоэлементов относительных единицах  $I_a/I_{анод} = f(t)$ .

По графикам утомляемости фотокатодов определить время установления постоянного рабочего режима.

2. По световым статическим характеристикам подсчитать интегральную чувствительность фотоэлектрических приборов  $K_{\Sigma}$  и удельную чувствительность фотосопротивления  $K_0$

$$K_{\Sigma} = \frac{\partial I}{\partial \Phi} ; K_0 = \frac{\partial I}{\partial \Phi \cdot \partial U_a}$$

3. Определить коэффициент газового усиления  $K_r$  ионного фотоэлемента.

4. Подсчитать крутизну **вольтамперных** характеристик фотоэлектрических приборов в рабочей точке  $S = \frac{\partial I}{\partial U}$ .

5. Подсчитать чувствительность фотоэлектрических приборов по напряжению, воспользовавшись снятыми световыми характеристиками с нагрузкой  $R_a$  или  $R_H$ , а также по формулам:

а) для электронного фотоэлемента

$$K_H = \frac{\partial I}{\partial \Phi} R_a = K_{\Sigma} R_a ;$$

б) для ионного фотоэлемента

$$K_H = K_{\Sigma} R_a \frac{1}{1 + R_a S} ;$$

в) для фотосопротивления

$$K_H = K_{\Sigma} \frac{R_{\Phi}}{\left(1 + \frac{R_{\Phi}}{R_H}\right)^2}$$

где  $K_{\Sigma} = \frac{\partial I}{\partial \Phi}$  - интегральная чувствительность фотосопротивления;  
 $R_{\Phi}$  - сопротивление фоторезистора;

г) для фотодиода

$$K_H = \frac{\partial (I R_H)}{\partial \Phi}$$

6. Рассчитать по световой характеристике  $I_{к.з.} = f(\Phi)$  интегральную чувствительность фотодиода в вентильном режиме  $K_{\Sigma} = \frac{\partial I_{к.з.}}{\partial \Phi}$  при  $R_H = 0$ .

7. Построить спектральные характеристики фотоэлектрических приборов  $I = f(\lambda)$ .



## 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

1. Паспортные данные фотоэлектрических приборов и схемы соединения их электродов с выводами.
2. Схемы испытаний фотоэлектрических приборов.
3. Кривые утомления фотокатодов электронного и ионного фотоэлементов  $I = f(t)$  и график утомляемости фотокатода в относительных единицах  $I/I_{нач} = f(t)$ . На графике должно быть указано время установления постоянного рабочего режима.
4. Вольтамперные характеристики фотоприборов, снятые при нескольких световых потоках.
5. Статические световые характеристики фотоприборов  $I = f(\varphi)$ , снятые при нескольких потенциалах  $U_a$ .
6. Расчет интегральной чувствительности фотоприборов  $K_E$  и удельной чувствительности  $K_0$ .
7. Рабочие световые характеристики фотоприборов  $I = f(\varphi)$ , снятые с включенным сопротивлением  $R_a$ .
8. Расчет чувствительности фотоприборов по наклонению по эквивалентным характеристикам и по формулам.
9. Расчет интегральной чувствительности фотоэнода  $K_E$  в вакуумном режиме при  $R_N = 0$ .
10. График чувствительности на длине волны падающего света  $I = f(\lambda)$ .
11. Размеры камерных трубок ионных фотоприборов  $\Gamma$ .

### Вопросы для подготовки

1. Назовите основные законы фотоэффекта.
2. Почему фотоэлементы, облучаемые светом, не могут быть изготовлены из таких веществ, как вольфрам, молибден, никель?
3. Что такое экстернатная чувствительность фотокатода?  
Что такое интрататная чувствительность фотокатода?
4. Что такое явление "утомления" фотокатода? Как оно зависит от длины волны падающего света?
5. Какие типы камерных трубок наиболее часто применяются в современных фотоэлектронных приборах?
6. Расскажите об устройстве вакуумного и ионного фотоэлементов. Почему поверхность фотокатода должна быть возможно большей?
7. Каким газом и до какого давления наполняется ионные фотоэлементы.

8. Почему фотоэлемент целесообразно освещать широким световым потоком, падающим на большую поверхность катода?

9. Какого вида разряд происходит в ионных фотоэлементах?

10. Нарисуйте основные характеристики фотоэлектрических приборов: спектральную, анодную, световую и частотную.

11. Почему в газонаполненных фотоэлементах световые характеристики линейны только при малых световых потоках? Какие причины вызывают нелинейность световых характеристик?

12. Что такое коэффициент газового усиления? Как его можно определить экспериментально? От чего зависит величина коэффициента газового усиления?

13. Назовите основные параметры фотоэлектрических приборов?

14. Как зависит чувствительность ионного элемента от частоты изменения светового потока?

15. Каковы недостатки ионных фотоэлементов, ограничивающее их применение?

16. Почему ионные фотоэлементы в отношении стабильности их характеристик при изменении температуры уступают электронным?

17. Каков диапазон рабочей температуры окружающей среды для ионного фотоэлемента?

18. Расскажите о применении ионных фотоэлементов.

19. Как устроены фоторезисторы? Какие вещества используются для их изготовления? Назовите основные типы фоторезисторов.

20. Нарисуйте основные характеристики фоторезисторов: электрические, световые, спектральные.

21. Назовите основные параметры фоторезисторов.

22. Что такое постоянная времени фоторезисторов?

23. Как изменяется чувствительность фоторезисторов с ростом температуры?

24. В каких случаях чувствительность фоторезисторов значительно превышает чувствительность электровакуумных фотоэлементов.

25. Расскажите о преимуществах фоторезисторов по сравнению с электронными и с ионными фотоэлементами. Каковы недостатки фоторезисторов, ограничивающие их применение.

26. Расскажите о применении фоторезисторов.

27. Назовите возможные режимы работы фотодиодов.

28. Расскажите о принципе работы фотодиода в фотодиодном режиме.

29. Расскажите об образовании фотод.с. при освещении светом р-н перехода.

30. Чем ограничена максимальная фотоэ.д.с. фотодиода, работающего в вентильном режиме.

31. Нарисуйте характеристики фотодиодов в фотодиодном и вентильном режимах.

32. Назовите основные параметры фотодиода в фотодиодном и вентильном режимах.

33. Чем объяснить зависимость интегральной чувствительности фотодиода, работающего в фотодиодном режиме, от напряжения питания.

34. Чем объяснить сильную зависимость темного тока от температуры окружающей среды фотодиода?

РАБОТА № 6 (78)

ТИРАТРОН ДУГОВОГО РАЗРЯДА

1. Цель и содержание работы

Ознакомиться с физическими основами работы тиратрона дугового разряда, изучить его характеристики и параметры [ 1, стр.518 - 529; 2, стр.370 + 373 ].

В работе исследуются анодные, анодно-сеточные и сеточные характеристики тиратрона, а также его пусковые характеристики. Изучается влияние на работу тиратрона величины сопротивления в цепи сетки.

2. С х е м а

Схема для исследования характеристик тиратрона в различных режимах показана на рис.8. Регулирование потенциалов сетки и анода

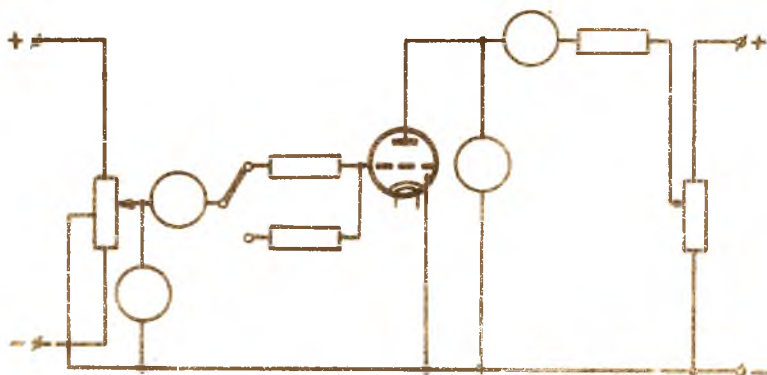


Рис.8

производится потенциометрами. В цепь сетки включены сопротивления  $R_c$  коммутируемые переключателем  $\Pi$ , в анодную цепь — балластное сопротивление  $R_d$ .

### 3. З а д а н и е

1. Записать параметры типового режима исследуемого тиратрона и зарисовать его цоколевку.

2. Снять анодные характеристики  $U_a = f(I_a)$  тиратрона при нескольких значениях потенциала  $U_c$ . Характеристики снимаются при постоянном сопротивлении  $R_c$ .

3. Снять семейство анодно-сеточных характеристик  $I_a = f(U_c)$  тиратрона при нескольких значениях потенциала анода, характеристики снимаются при постоянном сопротивлении  $R_c$ .

Попытаться погасить разряд в тиратроне увеличением отрицательного потенциала сетки. Записать результаты наблюдений в отчет.

4. Снять семейство сеточных характеристик  $I_c = f(U_c)$  тиратрона при нескольких значениях тока анода  $I_a$ . Характеристики снимаются при постоянном  $R_c$ .

5. Снять пусковые характеристики  $U_g = f(U_c)$  тиратрона для различных сопротивлений в цепи сетки  $R_c$ .

6. Измерить максимальный ток горения тиратрона  $I_{a \text{ max}}$ .

### 4. Методические указания

1. При снятии любых характеристик тиратрона в анодной цепи должно быть исключено балластное сопротивление  $R_d$  для ограничения тока анода в момент "зажигания" тиратрона.

2. При любых переключениях в схеме необходимо обязательно выключать анодное напряжение.

3. При снятии анодно-сеточных характеристик  $I_a = f(U_c)$  следует установить сначала при  $U_a = 0$  большой отрицательный потенциал  $U_c$ , а затем — требуемый для снятия характеристик анодный потенциал  $U_a$ .

4. Для снятия пусковой характеристики при  $U_a = 0$  устанавливают определенное значение потенциала  $U_c$  (начиная с малых отрицательных значений), затем с помощью потенциометра увеличивают анодный потенциал от нуля до возникновения в тиратроне разряда. Момент возникновения разряда контролируется по миллиамперметру, включенному в анодную цепь.

5. При определении минимального тока  $I_{a \text{ мин.}}$  горения разряда в тиратроне анодный ток следует постоянно уменьшать с помощью потенциометра анодной цепи от значения, соответствующего  $U_{a \text{ гор}}$  при заданном  $U_c$ , до гашения тиратрона.

#### 5. Обработка результатов измерений

По пусковым характеристикам  $U_3 = f(U_c)$ , снятым экспериментально для разных сопротивлений в цепи сетки, построить пусковую область зажигания тиратрона, зависящую также от различных внешних причин (температуры и т.д.).

#### 6. Отчет

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры и цоколевку исследованного тиратрона.
2. Схему испытания тиратрона.
3. Анодные характеристики  $U_a = f(I_a)$  тиратрона, снятые при разных потенциалах сетки  $U_c$ .
4. Анодно-сеточные характеристики  $I_a = f(U_c)$  тиратрона при разных потенциалах анода  $U_a$ .
5. Сеточные характеристики  $I_c = f(U_c)$  тиратрона.
6. Пусковые характеристики  $U_3 = f(U_c)$  тиратрона для разных сопротивлений в цепи сетки  $R_c$ .
7. Измеренное значение минимального тока горения разряда  $I_{a \text{ мин.}}$

#### 7. Вопросы для подготовки

1. Какого вида разряд происходит в тиратроне с накалимым катодом?
2. От чего зависит потенциал зажигания разряда в тиратроне?
3. Что такое плазма газового разряда?
4. Какова роль положительных ионов в тиратроне?
5. Начертите распределение потенциала между электродами тиратрона до зажигания разряда и после его возникновения.
6. Расскажите о действии сетки в тиратроне.
7. Для чего в цепь сетки включается большое сопротивление  $R_c$ ?
8. Начертите основные характеристики тиратрона.
9. Начертите в одной системе координат пусковые характеристики нескольких тиратронов, имеющих различные по конструкции управляющие сетки (густые, в виде диска с широкими отверстиями, редкие). Как

влияет конструкция управляющей сетки тиратрона на вид пусковой характеристики? В каком случае она получается положительной, в каком отрицательной?

I0. Назовите основные параметры тиратрона.

I1. Что такое ширина пусковой области и от чего зависит ее величина?

I2. Что такое время восстановления управляющего действия сетки? От чего зависит его величина, какого порядка она бывает?

I3. Как влияет на работу ртутных тиратронов температура окружающей среды?

I4. Почему тиратрон не может работать без балластного (ограничительного) сопротивления  $R_g$  в анодной цепи?

I5. Расскажите о конструктивных особенностях электродов тиратрона (катода, сеток и анода).

I6. Назовите основные области применения тиратронов.

I7. В чем заключаются преимущества и недостатки тиратронов по сравнению с электронными лампами при работе в выпрямительных схемах?

I8. Каковы критерии долговечности тиратронов?

РАБОТА № 7 ( 84 ) СТАБИЛИТРОНЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И  
КРЕМНИЕВЫЕ

I. Цель и содержание работы

Цель - ознакомиться с физическими основами действия, конструкциями, характеристиками и параметрами стабилитронов тлеющего разряда и кремниевых [1, стр. 500-508, стр. 272 + 289; 2 стр. 373-374, стр. 233 + 234 ] .

В работе снимается характеристика  $U = f(I)$  стабилитрона тлеющего разряда, определяются напряжения зажигания разряда  $U_z$ , рабочий диапазон токов, напряжение стабилизации  $U_{ст}$ . Снимаются обратные характеристики кремниевого стабилитрона, исследуется область стабилизации. Рассчитываются дифференциальное  $R_i$  и статическое  $R_{ст}$  сопротивления стабилитронов, а также коэффициенты стабилизации по напряжению  $K_{ст}$ . Измеренные и рассчитанные параметры сравниваются с паспортными.

Изучается работа стабилитронов с нагрузкой  $R_H$ . Рассчитывается величина необходимого балластного сопротивления  $R_B$  для заданного режима, а также диапазон изменения  $R_H$ , в котором напряжение на нагрузке останется не ниже заданной величины.

2. С х е м и

Схема на рис.9 позволяет снять характеристику зависимости напряжения от тока стабилитрона тлеющего разряда  $U = f(I)$ , измерить коэффициент стабилизации, а также изучить работу стабилитрона с нагрузкой  $R_H$ .

Входное напряжение  $E$  подается от источника постоянного напряжения, регулируется потенциометром  $D_1$  и контролируется вольтметром  $V_1$ . Напряжение на стабилитроне и включенном параллельно ему сопротивлении нагрузки  $R_H$  контролируется вольтметром  $V_2$ .

Схема на рис.10а позволит снять обратные характеристики крем-



ниевое стабилитрона и измерить коэффициент стабилизации.

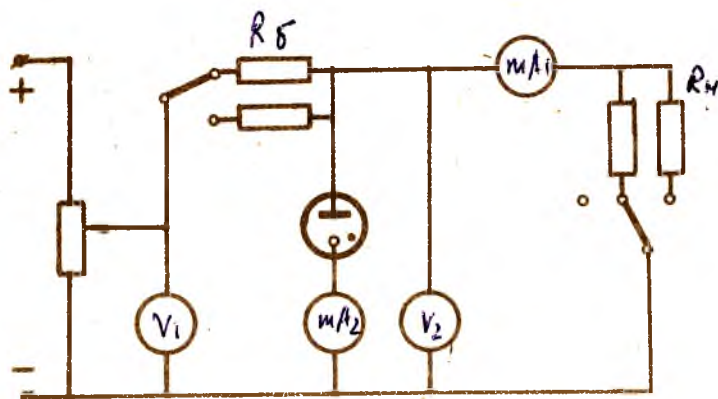


Рис. 9

1. Записать паспортные данные и зарисовать цоколёвку исследуемых стабилитрона тлеющего разряда и оформление кремниевого стабилитрона.

2. Снять зависимости напряжения от тока  $U = f(I)$  стабилитрона тлеющего разряда по схеме рис.9, одновременно отмечая величину входного напряжения  $E$ . Переключатель  $\Pi_2$  при этих измерениях должен быть разомкнут. Измерить потенциал зажигания разряда стабилитрона. На полученном графике отметить область стабилизации.

3. Замкнуть переключатель  $\Pi_2$  и снять для стабилитрона тлеющего разряда зависимости напряжения на нагрузке  $U_R$  и тока через стабилитрон  $I$  от тока нагрузки  $I_R$  при постоянном входном напряжении  $E$

$$U_R = f(I_R) \text{ и } I = f(I_R).$$

4. Снять внешнюю характеристику  $U_R = f(E)$  при постоянном сопротивлении нагрузки  $R_H$  стабилитрона тлеющего разряда и различных балластных сопротивлениях  $R_B$

5. Снять обратную характеристику  $I = f(U)$  кремниевого стабилитрона по схеме рис. 10а (при разомкнутом  $\Pi_1$ ).

6. Исследовать область стабилизации диода: снять характеристику  $\Delta U_T = f(I_{cm})$ .

7. Снять нагрузочные характеристики кремниевого стабилизатора зависимости напряжения на нагрузке  $U_R$  и тока через стабилизатор  $J$  от тока нагрузки  $J_R$  и постоянном входном напряжении  $E$  :

$$U_R = f(J_R) \text{ и } J = f(J_R).$$

#### 4. Методические указания

1. Определить по вольт-амперной характеристике основные параметры исследованного в работе стабилизатора: напряжение зажигания  $U_3$ , напряжение стабилизации  $U_{см}$ , рабочий диапазон токов  $J_{амин} - J_{амакс}$ , максимальное изменение стабилизируемого напряжения  $\Delta U$  в рабочем диапазоне токов, дифференциальное  $R_c = \frac{dU}{dJ}$  и статическое  $R_{см} = \frac{U}{J}$  сопротивления.

2. Коэффициент стабилизации по напряжению определяется по формуле

$$K_{см} = \frac{\Delta E}{E} : \frac{\Delta U}{U},$$

где  $\frac{\Delta E}{E}$  - относительное изменение входного напряжения, требуемого стабилизации;

$\frac{\Delta U}{U}$  - относительное изменение выходного напряжения (на стабилизаторе).

3. Коэффициент стабилизации по напряжению можно также определять по формуле

$$K_{см} = \frac{\frac{1}{R_\delta} + \frac{1}{R_H} + \frac{1}{R_c}}{\frac{1}{R_\delta} + \frac{1}{R_H} + \frac{1}{R_{см}}},$$

где  $R_\delta$  - величина балластного сопротивления;

$R_H$  - величина сопротивления нагрузки.

4. Коэффициент стабилизации по току определяется по формуле

$$K'_{см} = \frac{\Delta J_R}{J_R} : \frac{\Delta U}{U},$$

где  $J_R$  - величина тока, протекающего по сопротивлению  $R_H$ , включенному параллельно стабилизатору.

5. Так как изменения напряжения  $U_{см}$  в области стабилизации невелики в широком диапазоне изменения токов диода, то для изме-

рения приращения этого напряжения  $\Delta U_{cm}$  лучше пользоваться компенсационным методом. При снятии характеристик  $\Delta U_{cm} = f(I_{cm})$  необходимо отмечать на графике величину увеличивающегося напряжения.

### 5. Обработка результатов измерений

1. Построить графики зависимостей выходного напряжения  $U$  от входного напряжения  $E$  по данным измерений при отключённом сопротивлении  $R_H$ .

2. Подсчитать коэффициенты стабилизации по напряжению  $K_{cm}$  и коэффициент стабилизации по току  $K'_{cm}$ .

3. Построить графики зависимости выходного напряжения  $U_R$  от величины сопротивления нагрузки  $R_H$ .

4. Построить график зависимости суммарного тока (через стабилизатор и сопротивление нагрузки) от тока нагрузки

$$I + I_R = f(I_R)$$

при постоянном напряжении питания  $E$ .

5. Подсчитать процентное изменение  $U_R$  в области стабилизации.

6. Рассчитать величину балластного сопротивления  $R_B$  для заданного типа стабилизатора и заданного режима.

7. Рассчитать при заданном входном напряжении  $E$  диапазон изменения  $R_H$  в котором изменение  $U$  остаётся не ниже заданной величины.

8. На снятой характеристике кремниевого стабилизатора  $U_{cm} = f(I_{cm})$  отметить границы области стабилизации.

9. Подсчитать дифференциальное сопротивление кремниевого стабилизатора в режиме стабилизации для заданных значений тока, используя характеристику  $\Delta U_{cm} = f(I_{cm})$ .

10. Подсчитать коэффициент стабилизации  $K$ , рис.106 по формуле

$$K = \frac{\Delta U_{вх} \cdot U_{cm}}{\Delta U_{cm} \cdot U_{вх}}$$

### 6. Отчёт

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры, посылку и схему расположения выводов исследуемых стабилизаторов.

2. Схемы испытаний стабилизаторов.

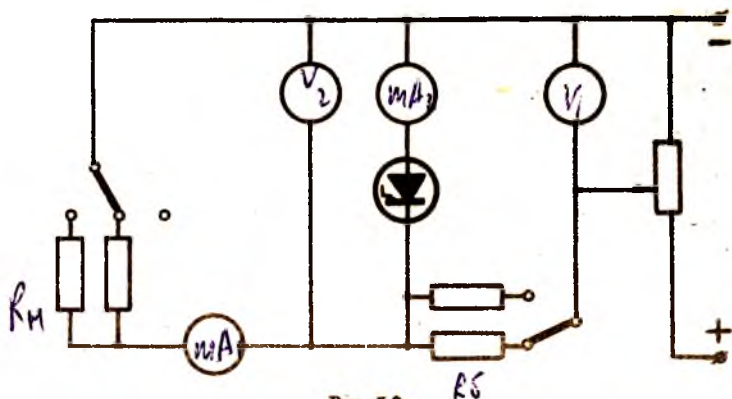


Рис.10а



Рис.10б

3. Характеристики  $U = f(I)$  и  $U_{ст} = f(I_{ст})$  исследуемых стабилизаторов с указанием потенциалов зажигания разряда  $U_{ст}$  и области стабилизации, а также характеристику  $\Delta U_{ст} = f(I_{ст})$ .

4. Расчёт дифференциальных  $R_i$  и статических  $R_{ст}$  сопротивлений стабилизаторов.

5. Характеристики зависимости выходного напряжения  $U$  от входного напряжения  $E$ .

6. Графики зависимостей выходного напряжения стабилизаторов от величины сопротивления  $U_R = f(R_N)$  и тока нагрузки  $U_R = f(I_R)$ , а также  $(I + I_R) = f(I_R)$  и  $I = f(I_R)$ .

7. Внешнюю характеристику  $U_R = f(E)$  при постоянной величине  $R_N$ .

8. Расчёт коэффициентов стабилизации по напряжению  $K_{cm}$  и по току  $K'_{cm}$  для стабилизаторов.

9. Расчёт величины балластного сопротивления  $R_{\delta}$ .

10. Расчёт диапазона изменения  $R_H$  при заданном  $E$ , в пределах которого  $\Delta U$  стабилизаторов остается не ниже заданной величины.

### 7. Вопросы для подготовки

1. Начертите распределение потенциала между плоскими электродами при тлеющем разряде. Что такое катодное падение потенциала и какими факторами оно определяется?

2. Каков механизм тлеющего разряда?

3. Назовите закономерности нормального и аномального тлеющего разрядов. Как возникает тлеющий разряд в стабилизаторе?

4. Что такое потенциал зажигания разряда  $U_z$  и от чего зависит его величина?

5. Какой электрод газового стабилизатора имеет большую поверхность и почему?

6. Какие материалы используются при изготовлении катодов стабилизаторов? Из каких условий выбирается величина площади поверхности катода газового стабилизатора?

7. Какими газами и до какого давления наполняются стабилизаторы?

8. Для чего в цепь газоразрядного прибора включается балластное сопротивление и из каких соображений выбирается его величина?

9. Назовите основные параметры стабилизаторов.

10. Как определяется коэффициент стабилизации по напряжению?

11. Как зависит коэффициент стабилизации от величины балластного сопротивления  $R_{\delta}$ , сопротивления нагрузки  $R_H$  и соотношений дифференциального и статического сопротивлений стабилизаторов?

12. Какое влияние на величину  $R_{\delta}$  оказывают параметры источника стабилизированного напряжения?

13. Какие меры предпринимаются при изготовлении стабилизаторов для повышения стабильности их параметров?

14. Расскажите о работе стабилизаторов в режиме опорного напряжения.

15. Что такое температурный коэффициент напряжения (ТКН) стабилизаторов?

16. Какова долговечность стабилизаторов? Что является критерием их долговечности?

17. Назовите основные виды пробоев  $p-n$  - переходов.

18. Какие виды пробоев используются в кремниевых стабилитронах?

19. Как влияет проводимость исходных материалов на величину напряжения пробоя  $p-n$  - перехода стабилитронов?

20. Нарисуйте характеристику кремниевого стабилитрона. Расскажите, какие физические процессы определяют форму характеристики на разных участках.

21. Почему в качестве материала стабилитронов выбран кремний, а не германий?

22. Какой основной параметр характеризует работу стабилитрона при разных температурах?

23. Каким способом можно уменьшить ТКН стабилитронов? Для каких напряжений пробоя  $p-n$  - перехода ТКН близок к нулю?

24. Чем ограничена величина наибольшего тока стабилизации стабилитрона?

25. Что такое коэффициент стабилизации?

26. Каковы преимущества и недостатки кремниевых стабилитронов по сравнению со стабилитронами тлеющего разряда?

27. Назовите типы стабилитронов и расскажите об их применениях.

РАБОТА № 8 (76)

РАЗБРОС ПАРАМЕТРОВ И КРИТЕРИИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

1. Цель и содержание работы

Ознакомиться с методами массовой проверки электровакуумных приборов с помощью прибора ИИ-14. Изучить причины разброса параметров, а также критерии долговечности электровакуумных приборов.

В работе производится проверка партии кенотронов одного и того же типа на короткое замыкание между электродами и величину выпрямленного тока, партий триодов и пентодов на короткое замыкание, величину анодного тока и крутизну характеристики, партии стабилизаторов на величину напряжения стабилизации и качество стабилизации. Проверяется также качество вакуума в серии электронных ламп.

По данным, полученным для электровакуумных приборов в результате их серийных испытаний, подсчитываются средние значения величин параметров, отклонения параметров каждого прибора от номинальных и средних величин для данного типа ( в единицах измерения величин параметров и в процентах к номинальным и средним значениям). Сценивается пригодность испытанных приборов по критериям долговечности.

2. С х е м а

Подробная схема испытательного устройства ИИ-14 и инструкция по его эксплуатации находятся в описании прибора. С описанием следует ознакомиться перед началом испытаний.

Принципиальная схема каждого эксперимента приводится ниже.

Проверка короткого замыкания между электродами  
испытываемой лампы

Короткое замыкание между электродами проверяется с помощью

схемы рис. II. Проверяемый электрод лампы (электрод I) присоединяется к движку специального переключателя П.

Остальные электроды соединяются накоротко с помощью контакта, имеющего форму незамкнутого кольца. Между движком и контактом прикладывается разность потенциалов 12 в.

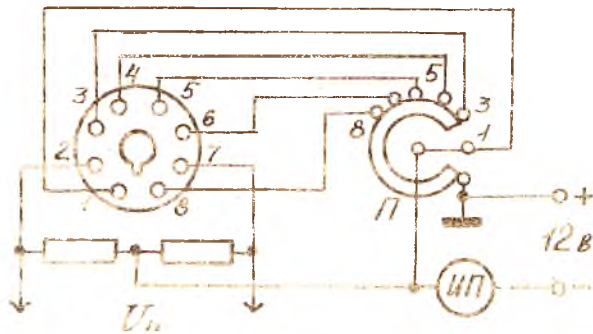


Рис. II

### Измерение анодного тока и проверки вакуума

Лампу для измерения прибором УП по схеме рис. II при замыкании ключа анодного тока электродом I соединяют с электродом II. Замыкается цепочка для управляющей сетки лампы и соответственно для катодной лампы сопротивлением  $R_{\text{к}}^{\text{л}}$ , включенного в цепь анода и шунтируемого конденсатором  $C$ . Сеточный электрод лампы  $E_{\text{с}}$  при замыкании анодного тока отключается от анода лампы.

При измерении вакуума нажатием кнопки П активируется сеточная сопротивлением  $R_{\text{с}}^{\text{л}}$  ионный ток сетки, протекая по этому сопротивлению, обладает падением напряжения в цепи сетки, которое вызывает увеличение анодного тока. По изменению показаний прибора УП (при разных положениях кнопки П) можно судить о качестве вакуума в лампе. Неизменные показания прибора до нажатия кнопки П свидетельствуют об отсутствии заметного ионного тока и, следовательно, о хорошем вакууме.



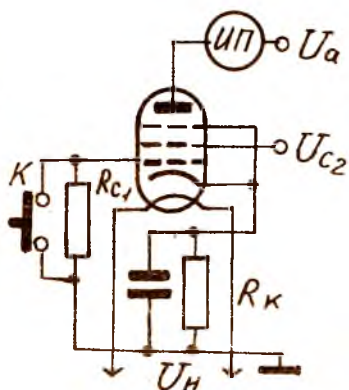


Рис. 12

Измерение крутизны характеристики

Крутизна характеристик измеряется по схеме рис. 13 путем подачи на управляющую сетку испытываемой лампы одного из калиброванных переменных напряжений: 1; 0,4 или 0,2 в. Переменная составляющая анодного напряжения, вызванная переменным напряжением в цепи сетки, усиливается и измеряется прибором ИП, включенным в цепь выпрямителя.

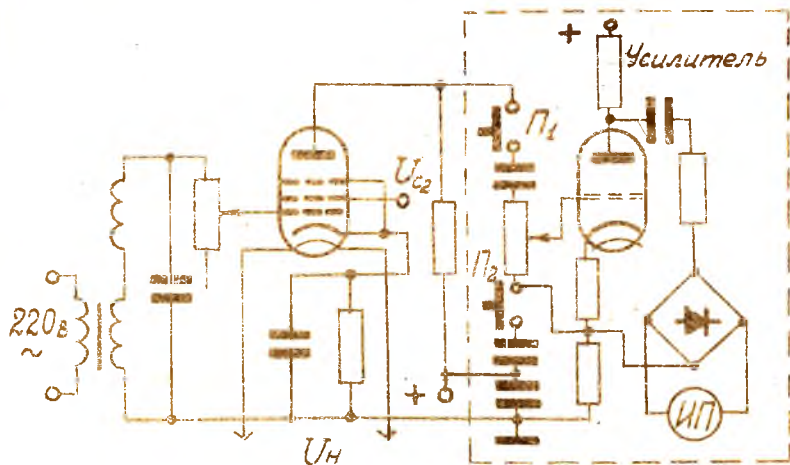


Рис. 13

В схеме предусмотрен постоянный контроль чувствительности вольтметра крутизомера (ИП), для чего с помощью кнопочного переключателя П, П2 на сетку лампы усилителя можно подать с обмотки трансформатора калиброванное напряжение в Iв (на схеме не показано).

Чувствительность вольтметра регулируется и устанавливается изменением величины переменного напряжения управляющей сетки лампы усилителя с помощью потенциометра  $R_c$ .

### Проверка стабилитронов

Стабилитроны испытываются с помощью схемы рис. I4. Нажатием кнопки К ("отсчет") включается измерительный прибор ИП и проверяется напряжение между электродами стабилитрона.

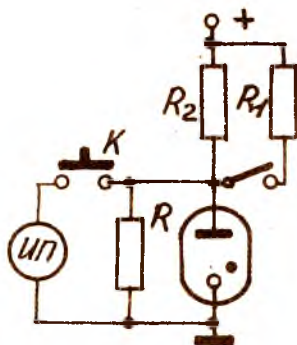


Рис. I4

При проверке качества стабилизации изменяется величина балластного сопротивления ( в приборе вынимается штепсель из коммутатора ) и, следовательно, ток в цепи стабилитрона.

### 3. З а д а н и е

1. Ознакомьтесь с прибором ИИ-14 и методикой работы на нем ( см. описание прибора и инструкцию по эксплуатации ).

2. Проверить электроды на замыкание и измерить анодный ток и крутизну характеристики десяти триодов одного типа ( в случае двойных триодов испытываются обе половины пяти триодов ). Для трех триодов проверить качество вакуума.

3. Проверить электроды на замыкание и измерить анодный ток и крутизну характеристики десяти пентодов одного типа. Для трех пентодов проверить качество вакуума.

4. Измерить напряжение стабилизации  $U_{ст}$  и проверить качество стабилизации  $\Delta U$  десяти стабилизаторов одного типа.

#### 4. Методические указания

1. При работе с прибором ИЛ-14 необходимо следить, чтобы каждая испытываемая лампа прогревалась после подключения к прибору в течение 20-30 сек, только после этого производить измерения.

2. Запрещается оставлять прибор включенным с испытываемой лампой больше того времени, которое требуется для проверки данной лампы (более 5 мин).

3. Запрещается оставлять прибор включенным при перерывах в работе.

4. При массовых испытаниях электровакуумных приборов протокол испытаний рекомендуется вести, пользуясь следующими образцами таблиц:

Таблица 1

Испытания электронных ламп

Тип лампы	: Номер лампы	: Короткое замыкание	: $I_a, mA$	: $S \frac{mA}{B}$	: Качество вакуума	: Примечание
-----------	---------------	----------------------	-------------	--------------------	--------------------	--------------

Таблица 2

Тип стабилизатора	: Номер стабилизатора	: $U_{ст}, B$	: $\Delta U, B$	: Примечание
-------------------	-----------------------	---------------	-----------------	--------------

5. При наличии короткого замыкания в электронной лампе в таблице следует указать между какими электродами оно отмечается.

6. Качество стабилизации  $\Delta U$  характеризуется изменением напряжения, отмечаемого прибором ИЛ при изменении анодного тока.

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Для электронных ламп по данным, полученным в результате их серийных испытаний:

а) подсчитать средние значения тока и крутизны характеристики;

- б) сравнить полученные средние величины с номинальными, указанными в паспорте для данного типа прибора;
- в) указать отклонения от номинальных и средних величин, подсчитанные в единицах измерения данных величин и в процентах к номинальным и средним значениям;
- г) указать находятся ли найденные отклонения в допустимых пределах для использования ламп и пригодны ли испытанные лампы по критерию долговечности.

2. Для стабилитронов по данным, полученным в результате их серийных испытаний:

- а) подсчитать средние значения напряжения стабилизации;
- б) сравнить полученную среднюю величину с номинальной, указанной в паспорте для данного прибора;
- в) указать отклонения от номинальной и средней величин, подсчитанные в единицах измерения данных величин и в процентах к номинальному и среднему значениям;
- г) указать находятся ли найденные отклонения в допустимых пределах для использования стабилитронов и пригодны ли стабилитроны по критерию долговечности.

## 6. Отчет

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры и критерии долговечности всех испытанных электровакуумных приборов.
2. Принципиальные схемы испытаний электровакуумных приборов на аппарате ИИ-14.
3. Таблицы измерений, проведенных на приборе ИИ-14 (см. выше, разд.4), с соответствующими расчетами (см. разд.5).

## 7. Вопросы для подготовки

1. Какие основные параметры определяют важнейшие свойства ламп? Дайте их определение.
2. Назовите, какие виды электрических испытаний проходят электронные лампы после их изготовления.
3. Каковы основные причины разброса параметров у разных образцов ламп одного и того же типа? Какой разброс считается допустимым для *S* и *M*?
4. Чем объясняется разброс величины анодного тока в электронных лампах? Какие пределы разброса анодного тока считаются допустимыми

для работы диода, триода и пентода?

5. Чем объясняется разброс значений крутизны характеристики для триода и пентода?

6. Чем объясняется разброс значений коэффициента усиления у пентодов?

7. Расскажите, как изменяются параметры электронных ламп ( $I_n$ ,  $I_a$ ,  $I_{c2}$ ,  $S$ ,  $R_i$ ,  $\mu$ , межэлектродные емкости, ток утечки между катодом и подогревателем, время разогрева катода и др.) с течением времени в процессе их длительной эксплуатации.

8. Какие режимы эксплуатации ламп стимулируют увеличение разброса их параметров?

9. Расскажите о причинах ухудшения параметров в течение срока службы. Какие конструктивные и технологические меры препятствуют изменениям свойств электровакуумных приборов с течением времени?

10. Почему с течением срока службы анодно-сеточные характеристики электронных ламп сдвигаются вправо? Как это явление изменяет параметры ламп?

11. Могут ли изменяться некоторые из свойств лампы во время их хранения в неработающем состоянии?

12. Как влияют изменения эмиссионных свойств термоэлектронных катодов на значения величин параметров  $S$  и  $R_i$ ?

13. Каким способом оценивается качество вакуума в лампе с помощью прибора ИЛ-14? Как сказывается несовершенный вакуум на характеристиках анодного и сеточного токов в триодах?

14. Почему выделяющийся в процессе срока службы лампы газ влияет на ее характеристики и параметры? Какие параметры изменяются наиболее сильно?

15. Чем определяется величина рабочего напряжения стабилизатора? От чего зависит коэффициент стабилизации напряжения? Каким образом проверяется качество стабилизации напряжения в приборе ИЛ-14?

16. Что называется критерием долговечности электронной лампы? Назовите параметры - критерии годности при испытаниях электровакуумных приборов на долговечность?

17. Какие величины указываются в справочниках в качестве критериев долговечности диода, триода и пентода?

18. Расскажите, какими конструктивными особенностями отличаются лампы повышенной надежности и долговечности?

19. Что такое надежность электронных ламп? Какие факторы определяют эксплуатационную надежность ламп? Расскажите об основных физи-

ческих процессах, определяющих надежность работы электронных ламп, используемых в различных условиях.

20. Назовите наиболее нежелательные варианты сочетаний режимов эксплуатации ламп с точки зрения ухудшения надежности их работы и уменьшения срока службы.

21. Что такое интенсивность отказов? Как она определяется? Как определяется вероятность безотказной работы электровакуумных приборов? Начертите график зависимости интенсивности отказов от времени.

22. Расскажите о механической стойкости ламп (виброустойчивости, вибропрочности, ударостойкости, устойчивости к воздействию постоянных ускорений).

## РАБОТА № 9 (71). ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

### 1. Цель и содержание работы

Исследовать характеристики и параметры точечных и плоскостных полупроводниковых диодов, изучить влияние температуры окружающей среды на их свойства [1, стр.252-283; 2, стр.198-228.]

В работе экспериментально исследуются точечные и плоскостные германиевые и кремниевые диоды. Снимаются прямые и обратные характеристики диодов при комнатной, а также при несколько повышенных температурах. Измеряются сопротивление базы и  $r_{\delta}$  и дифференциальное сопротивление диода в нулевой точке  $Z_{\delta 0}$  при  $U_{\delta} = 0, I = 0$ . Рассчитывается величина теплового тока. Строится график зависимости  $\ln \frac{I}{I_0} = f(\frac{U_{\delta}}{kT})$  и анализируются причины отклонения реальных характеристик от теоретических.

### 2. С х е м ы

На рис.15.1.6 приведен схем для снятия прямых и обратных характеристик полупроводниковых диодов. При измерении дифференциального сопротивления диодов в нулевой точке в температурно-стабилизированная база от звукового генератора  $\Omega$  через трансформатор на вход подается небольшое переменное напряжение. Температуру измеряется термометром, измеряются напряжение на диоде  $U_{\delta}$  и суммарное падение напряжения  $U_{\delta}$  на диоде и сопротивление  $R_{\delta}$  (рис.15.1.6).

По падению напряжения на последнем измеряется переменный ток через диод. При изучении влияния температуры окружающей среды на работу диодов используется термостат.

### 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные всех исследуемых диодов, зарисовать схему расположения выводов.
2. Снять прямые характеристики  $I = f(U_{\delta})$  диодов при ком-

натной температуре, а также при температуре  $40^{\circ}$  ( см. ниже, разд.4).

3. Снять обратные характеристики  $J_{обр} = f(U_{обр})$  диодов при комнатной температуре, а также при температуре  $40^{\circ}$ .

4. Включить для измерения сопротивления базы и дифференциального сопротивления диодов в нулевой точке ( рис. 15,в).

5. Измерить при заданном  $J_{np}$  сопротивление базы диодов  $Z_{\delta}$ .

6. Используя схему на рис. 15,в, измерить на переменном токе дифференциальные сопротивления  $Z_{\delta 0}$  всех диодов в нулевой точке при комнатной температуре.  
( $J = 0, U = 0$ )

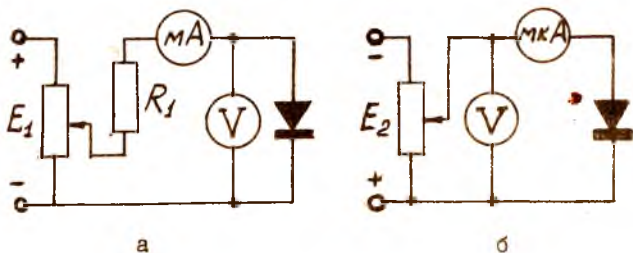


Рис.15

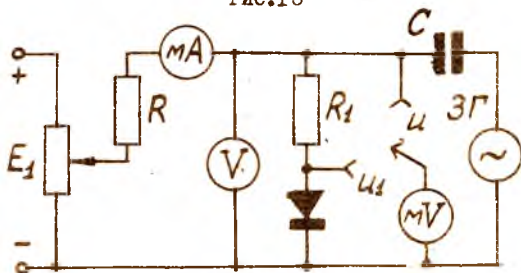


Рис.15,в

7. Помещая диоды в термостат, измерить дифференциальные сопротивления всех диодов в нулевой точке при температуре  $40^{\circ}$ .

#### 4. Методические указания

1. При всех измерениях следует помнить, что нельзя превышать ток выше номинального, указанного в паспортных данных прибора, а напряжение - выше максимально допустимого.

2. При снятии прямых характеристик диодов удобнее задавать величину тока через диод и отмечать получаемое при этом напряжение.



Для этого последовательно с диодом включается ограничивающее ток сопротивление  $R$ .

3. Прямая и обратная характеристики диода строятся на одном графике. Масштабы по вертикальной и горизонтальной осям при построении прямых и обратных характеристик выбираются различными. Для каждого диода следует построить отдельный график.

4. Для вычисления сопротивления базы  $Z_{\delta}$  и дифференциального сопротивления диода в нулевой точке  $Z_{g_0}$  следует пользоваться формулой

$$Z = \frac{U_1}{I} = \frac{U_1}{U - U_1} \cdot R_1.$$

( см. схему на рис.15, в )

Величина  $Z_{\delta}$  измеряется при заданном значении  $I_{np}$ , а  $Z_{g_0}$  - при  $U = 0$  и  $I = 0$ .

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Вычислить прямые сопротивления всех исследованных диодов по постоянному току  $R_{np}$  при номинальном прямом токе (или напряжении), а также обратные сопротивления  $R_{обp}$  всех диодов при номинальном обратном напряжении.

2. Построить графики зависимости прямого и обратного сопротивлений диодов по постоянному току от температуры.

3. Вычислить величины теплового тока  $J_0$  по измеренным значениям  $Z_{g_0}$  по формуле  $J_0 = \frac{\varphi_r}{Z_{g_0}}$ .

4. Построить графики зависимостей  $\ln \frac{J}{J_0} = f\left(\frac{U}{\varphi_r}\right)$  по прямым характеристикам, снятым при комнатной температуре.

#### 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры и схему расположения выводов исследованных диодов.

2. Схемы испытаний полупроводниковых диодов.

3. Прямые и обратные характеристики диодов, снятые при разных температурах.

4. Графики зависимостей прямого и обратного сопротивлений диодов по постоянному току от температуры.

5. Значения величины сопротивления базы  $Z_{\delta}$  диодов.

6. Измеренные на переменном токе величины  $Z_{g_0}$ , а также вычисленные по формуле значения теплового тока  $J_0$ .

7. Графики зависимостей  $\ln \frac{J}{J_0} = f\left(\frac{U}{\varphi_T}\right)$  при комнатной температуре для каждого диода.

### 7. Вопросы для подготовки

1. Что такое собственная, электронная и дырочная проводимости полупроводников?
2. Как на энергетических диаграммах полупроводников с собственной, электронной и дырочной проводимостями располагается уровень Ферми?
3. Как зависит положение уровни Ферми от концентрации примесей в примесных полупроводниках?
4. Как зависит концентрация неосновных носителей от температуры в полупроводниках?
5. Нарисуйте энергетическую диаграмму р-н гетехода.
6. Что такое контактная разность потенциалов двух полупроводников и чем определяется ее величина?
7. Нарисуйте энергетическую диаграмму р-н-п гетехода при включении его в прямом и обратном направлении.
8. На какие составляющие может быть разделена характеристика р-н-п гетехода при обратном включении?
9. Как зависит величина прямого и обратного тока гетехода от температуры и почему?
10. Чем отличаются характеристики гетехода от характеристик обычного диода?

... факторы характеризующая ...  
... диодов и почему  
... с точки зрения характеристик диода, построенной в ...  
... математическом выражении  $\ln \frac{J}{J_0} = f\left(\frac{U}{\varphi_T}\right)$ , причины отличий характеристик реального диода от теоретической характеристики, описываемой уравнением:

$$J = J_0 \left( e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

16. Как влияет температура окружающей среды на характеристики полупроводникового диода?
17. Назовите основные параметры точечных и плоскостных диодов.
18. Назовите преимущества и недостатки полупроводниковых диодов по сравнению с вакуумными.
19. Каковы основные области применения полупроводниковых диодов?

РАБОТА № 10 (83).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРА

## I. Цель и содержание работы

Исследовать характеристики транзистора и изучить его статические параметры 1, стр. 317-364; 2, стр. 235 - 260 .

В работе снимаются семейства характеристик: входных и выходных, передачи тока и обратной связи по напряжению при включении транзистора с общей базой и общим эмиттером. По полученным характеристикам для номинального режима вычисляются  $h$  - параметры. Определяются параметры эквивалентной Т-образной схемы транзистора.

## 2. С х е м ы

На рис. 16,а показана схема (ОБ) для исследования транзистора при включении его с общей базой, а на рис. 16,б - с общим эмиттером (ОЭ).

Полярность источников питания показана для случая исследования транзистора типа р-р-р.

## 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные исследуемого транзистора и зарисовать схему расположения выводов.

2. Снять семейство входных характеристик  $I_{\text{Э}} = f(U_{\text{ЭБ}})$  для нескольких  $U_{\text{КБ}}$  в схеме ОБ ( $U_{\text{КБ}} = 0 + 10 \text{ В}$ ).

3. Снять семейство выходных характеристик  $I_{\text{К}} = f(U_{\text{КБ}})$  для нескольких  $I_{\text{Э}}$ . ( $I_{\text{Э}} = 1 + 5 \text{ мА}$ ).

4. Снять семейство характеристик передачи тока  $I_{\text{К}} = f(I_{\text{Э}})$  для нескольких  $U_{\text{КБ}}$ .

5. Снять семейство характеристик обратной связи по напряжению  $U_{\text{ЭБ}} = f(U_{\text{КБ}})$  для нескольких  $I_{\text{Э}}$ .

6. Включить схему для исследования транзистора при включении с общим эмиттером (рис. 16,б).

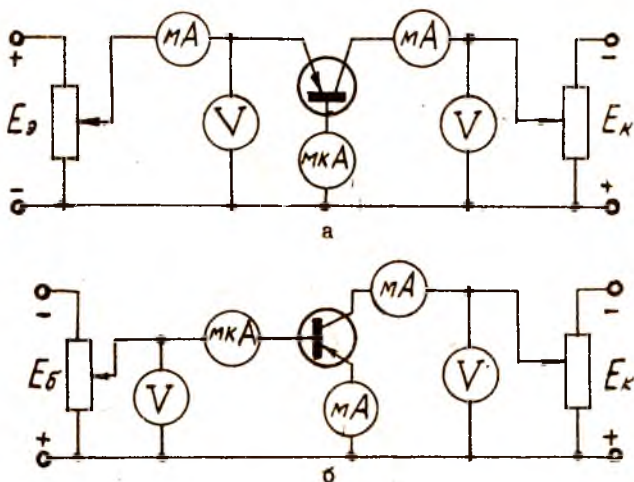


Рис.16

7. Снять семейство входных характеристик  $I_B = f(U_{BЭ})$  для нескольких  $U_{КЭ}$  в схеме ОЭ.

8. Снять семейство выходных характеристик  $I_K = f(U_{КЭ})$  для нескольких  $I_B$ .

9. Снять семейство характеристик передачи тока  $I_K = f(I_B)$  для нескольких  $U_{КЭ}$ .

10. Снять семейство характеристик обратной связи по напряжению  $U_{BЭ} = f(U_{КЭ})$  для нескольких  $I_B$ .

#### 4. Методические указания

1. При работе с транзисторами категорически запрещается превышать максимальные значения токов и напряжений, а также мощности, рассеиваемой на коллекторе транзистора.

2. При выполнении п.3 ток коллектора вычислять по формуле  $I_K = I_Э - I_B$ .

#### 5. Обработка результатов измерений.

1. Вычислять по характеристикам транзистора при включении с общей базой параметры  $h_{11Б}$ ,  $h_{12Б}$ ,  $h_{21Б}$ ,  $h_{22Б}$  для номинального режима.

2. Сравнить вычисленные параметры с паспортными значениями.

3. По вычисленным в п. I параметрам подчитать параметры T-образной эквивалентной схемы по формулам:

$$z_3 \approx h_{11\delta}; \quad z_5 = \frac{h_{12\delta}}{h_{22\delta}};$$

$$z_k = \frac{1}{h_{22\delta}};$$

$$\alpha = -h_{21\delta}; \quad \mu_{ЭК} = h_{21\delta}.$$

4. Вычислить по характеристикам транзистора при включении с общим эмиттером  $h_{11\varepsilon}$ ,  $h_{12\varepsilon}$ ,  $h_{21\varepsilon}$ ,  $h_{22\varepsilon}$  для номинального режима.

5. По вычисленным в п.4 параметрам подсчитать параметры T-образной эквивалентной схемы по формулам:

$$z_3 = \frac{h_{12\varepsilon}}{h_{22\varepsilon}}; \quad z_k = \frac{1 + h_{21\varepsilon}}{h_{22\varepsilon}};$$

$$z_5 = h_{11\varepsilon} - (1 + h_{21\varepsilon}) \frac{h_{12\varepsilon}}{h_{22\varepsilon}}$$

$$\beta = h_{21\varepsilon}; \quad \alpha = \frac{h_{21\varepsilon}}{1 + h_{21\varepsilon}}$$

$$\mu_{ЭК} = \frac{h_{21\varepsilon}}{1 + h_{21\varepsilon}} \cdot h_{12\varepsilon}.$$

6. Сравнить параметры T-образной эквивалентной схемы, вычисленные по  $h_\delta$  и  $h_\varepsilon$  параметрам.

## 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры исследуемого транзистора и схему расположения выводов.

2. Схема исследования транзистора.

3. Характеристики транзистора при включении с общей базой и общим эмиттером.

4. Вычисленные по характеристикам  $h_{18}$  - параметры для схемы с общей базой  $h_{118}$ ,  $h_{128}$ ,  $h_{218}$  и  $h_{228}$ .

5. Вычисленные по характеристикам  $h_{13}$  - параметры для схемы с общим эмиттером  $h_{113}$ ,  $h_{123}$ ,  $h_{213}$  и  $h_{223}$ .

6. Параметры T-образной эквивалентной схемы, вычисленные по  $h_{18}$  - и  $h_{13}$  - параметрам.

### 7. Вопросы для подготовки

1. Нарисуйте энергетические диаграммы р - п - р и п - р - п транзисторов.

2. Покажите, какие изменения происходят на энергетической диаграмме р - п - р или п - р - п транзистора при включении эмиттерного и коллекторного переходов в прямом и обратном направлениях соответственно.

3. Из каких компонент состоит ток через эмиттерный переход?

4. Что такое коэффициент инжекции  $\gamma$ ? Почему он должен быть возможно более близок к единице?

5. Каково должно быть соотношение между удельными сопротивлениями эмиттера и базы, чтобы коэффициент инжекции  $\gamma$  был близок к единице?

6. Какие процессы в базе характеризуют коэффициент переноса?

7. От каких параметров базы зависит величина коэффициента переноса  $\bar{U}$ ?

8. Из каких компонент состоит ток базы?

9. Почему изменяется ширина базы при изменении коллекторного напряжения и к каким следствиям приводит это явление?

10. Из каких компонент состоит ток через коллекторный переход?

11. Что такое коэффициент лавинного размножения  $M$ ?

12. Нарисуйте основные характеристики транзисторов при включении с общей базой.

13. Нарисуйте основные характеристики транзисторов при включении с общим эмиттером.

14. Что такое ток  $I_{к0}$  и каковы причины его возникновения?

15. В чем принципиальное отличие управления током коллектора транзистора от управления анодным током электронной лампы?

16. Каковы основные преимущества и недостатки транзисторов по сравнению с электронными лампами?

РАБОТА № II (86)

ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ (ОБ) И ИХ  
ЗАВИСИМОСТЬ ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ

### I. Цель и содержание работы

Ознакомиться с методами измерения  $h$  - параметров транзистора на переменном токе и исследовать их зависимость от режима работы 1, стр.349-364; 2, стр.246-260

В работе в схеме с общей базой исследуется зависимость  $h$  - параметров транзистора от режима работы. Снимается зависимость  $h_{11}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  и  $h_{21}$  от тока эмиттера и параметров  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  и  $h_{22}$  от напряжения на коллекторе. По полученным данным рассчитываются и строятся зависимости параметров T-образной эквивалентной схемы  $Z_3$ ,  $Z_5$ ,  $Z_K$ ,  $\mu_{ЭК}$  и  $\alpha$  от тока эмиттера и напряжения на коллекторе.

### 2. С х е м ы

На рис.17 показана схема для измерения параметров  $h_{11}$  и  $h_{21}$  и на рис.18 - параметров  $h_{12}$  и  $h_{22}$ .

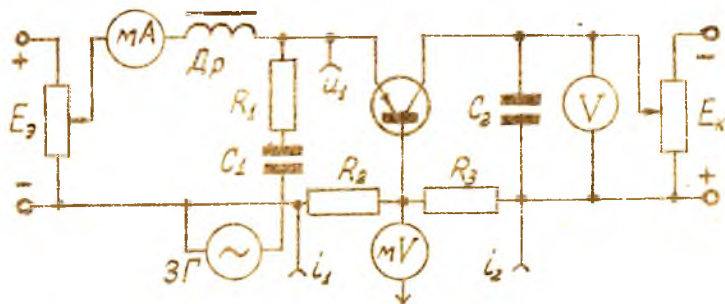


Рис.17



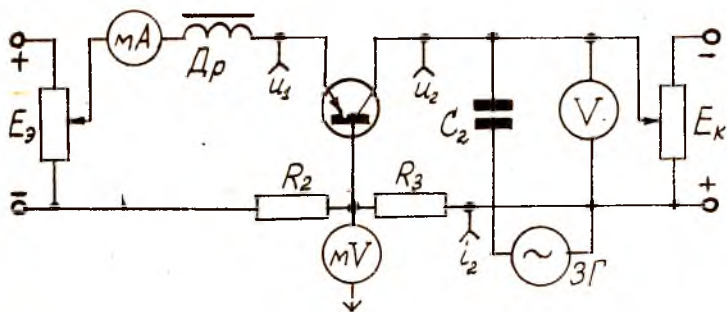


Рис.18

При измерении параметров  $h_{11}$  и  $h_{21}$  во входную цепь транзистора через цепочку  $R_1 C_1$  подается напряжение от звукового генератора ЗГ.

На выходе транзистора включением конденсатора  $C_2$  обеспечивается режим короткого замыкания, при этом

$$h_{11} = \frac{u_1}{i_1} \Big|_{u_2=0} \quad h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \Big|_{u_2=0}$$

При измерении параметров  $h_{12}$  и  $h_{22}$  в выходную цепь транзистора через разделительный конденсатор  $C_2$  подается напряжение от того же звукового генератора ЗГ. На входе транзистора дроссель Др создает режим холостого хода, при этом

$$h_{12} = \frac{u_1}{u_2} \Big|_{i_1=0} \quad h_{22} = \frac{i_2}{u_2} \Big|_{i_1=0}$$

Для измерения переменных напряжений  $u_1$  и  $u_2$  используется ламповый милливольтметр, который поочередно подключается к соответствующим точкам, показанным на схемах.

Переменные токи  $i_1$  и  $i_2$  измеряются по величине падения напряжения на сопротивлениях  $R_2$  и  $R_3$  тем же ламповым милливольтметром.

### 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные исследуемого транзистора и зарисовать схему расположения выводов.

2. Включить схему для измерения параметров транзистора  $h_{11}$  и

$h_{21}$  (рис.17).

3. Установив номинальный режим испытания транзистора по постоянному току, измерить  $h_{11 \text{ ном}}$  и  $h_{21 \text{ ном}}$ .

4. Снять зависимости  $h_{11}$  и  $h_{21}$  от тока эмиттера  $I_{\text{Э}}$  при номинальном коллекторном напряжении  $U_{\text{КБ ном}}$ .

5. Снять зависимость  $h_{21}$  от коллекторного напряжения при номинальном токе эмиттера  $I_{\text{Э ном}}$ .

6. Включить схему (рис.18) для измерения параметров транзистора  $h_{12}$  и  $h_{22}$ .

7. Установив номинальный режим испытания транзистора по постоянному току, измерить параметры  $h_{12 \text{ ном}}$  и  $h_{22 \text{ ном}}$ .

8. Снять зависимости  $h_{12}$  и  $h_{22}$  от коллекторного напряжения  $U_{\text{КБ}}$  при номинальном значении тока эмиттера  $I_{\text{Э ном}}$ .

9. Снять зависимость  $h_{22}$  от тока эмиттера  $I_{\text{Э}}$  при номинальном коллекторном напряжении  $U_{\text{КБ ном}}$ .

#### 4. Методические указания

1. При измерении параметров транзисторов категорически запрещается превышать значения токов и напряжений, указанных в паспортных данных транзистора.

2. Результаты измерений удобно записывать в виде таблиц. Например, при измерении зависимостей  $h_{11}$  и  $h_{21}$  от тока эмиттера  $I_{\text{Э}}$  результаты измерений можно представить в следующем виде:

Таблица

$I_{\text{Э}}$ МА	$U_{1}$ МВ	$U_{R2}$ МВ	$U_{R3}$ МВ	$i_1$ МА	$i_2$ МА	$h_{11}$ ОМ	$\frac{h_{11}}{h_{11 \text{ ном}}}$	$h_{21}$	$\frac{h_{21}}{h_{21 \text{ ном}}}$

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Подсчитать для каждого режима испытаний транзистора значения  $h$  - параметров, а также отношения  $h$  - параметров к их значениям в номинальном режиме  $h \text{ ном}$  (нормированные  $h$  - параметры). Все результаты расчетов свести в таблицы (см. разд.4).

2. Построить графики зависимостей нормированных значений параметров  $h_{11}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  от  $I_{Э}$ .

3. Построить графики зависимостей нормированных значений параметров  $h_{21}$ ,  $h_{12}$  и  $h_{22}$  от  $U_{КБ}$ .

4. Построить графики зависимостей параметров Т-образной эквивалентной схемы от режима работы транзистора:

$$\alpha = f(U_{КБ}), \mu_{ЭК} = f(U_{КБ}), Z_K = f(I_{Э}), Z_K = f(U_{КБ}) \text{ и}$$

$$\alpha = f(I_{Э}), \text{ имея в виду следующие соотношения:}$$

$$\alpha = -h_{21\delta}, \mu_{ЭК} = h_{12\delta}, Z_K = 1/h_{22\delta}.$$

5. Построить графики зависимостей параметров Т-образной эквивалентной схемы от режима работы транзистора  $Z_{\delta} = f(I_{Э})$ ,  $Z_{\delta} = f(U_{КБ})$ ,  $Z_{\delta}(I_{Э})$ , пользуясь следующими формулами пересчета

$$Z_{\delta} = \frac{h_{12\delta}}{h_{22\delta}}; \quad Z_{\delta} = h_{11\delta} - (1 + h_{21\delta}) \frac{h_{12\delta}}{h_{22\delta}}.$$

## 6. Отчет

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры исследованного транзистора и схему расположения выводов.

2. Схему включения транзистора.

3. Измеренные  $h$ -параметры транзистора при включении с общей базой для номинального режима.

4. Графика зависимостей нормированных параметров  $h_{11}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  от тока эмиттера  $I_{Э}$ .

5. Графика зависимостей нормированных параметров  $h_{21}$ ,  $h_{12}$  и  $h_{22}$  от коллекторного напряжения  $U_{КБ}$ .

6. Расчет параметров Т-образной эквивалентной схемы  $Z_{\delta}$ ,  $Z_{\delta}$ ,  $Z_K$ ,  $\alpha$  и  $\mu_{ЭК}$  для номинального режима.

7. Графики зависимостей  $Z_{\delta}$ ,  $Z_{\delta}$ ,  $Z_K$ ,  $\mu_{ЭК}$  и  $\alpha$  от тока эмиттера  $I_{Э}$ .

8. Графики зависимостей  $Z_{\delta}$ ,  $Z_{\delta}$ ,  $Z_K$ ,  $\mu_{ЭК}$  и  $\alpha$  от коллекторного напряжения  $U_{КБ}$ .

## 7. Вопросы для подготовки

1. Расскажите о существующих системах параметров транзисторов.

2. В каких случаях удобнее пользоваться той или иной системой параметров и почему?

3. Как зависят значения  $h$  - параметров от схемы включения транзистора?

4. Нарисуйте эквивалентную схему транзистора в системе  $h$  - параметров и объясните физический смысл входящих в нее элементов.

5. Нарисуйте T-образную эквивалентную схему транзистора и объясните физический смысл входящих в нее элементов.

6. Рассмотрите достоинства и недостатки систем  $h$  - параметров и параметров T-образной эквивалентной схемы.

7. Какие физические процессы определяют зависимость  $\alpha$  от тока эмиттера и напряжения коллектора?

8. Почему уменьшается сопротивление коллектора  $Z_k$  с ростом коллекторного напряжения?

9. На величину каких параметров влияет ударная ионизация в коллекторном переходе?

10. Может ли быть в транзисторе  $\alpha > 1$  ?

II. Каким соотношением связаны коэффициенты передачи тока  $\alpha$  и  $\beta$  ?

РАБОТА № 12(87)

ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ (03)  
И ИХ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. Цель и содержание работы

Ознакомиться с методами измерения  $h$  - параметров транзистора на переменном токе и исследовать их зависимость от температуры 1, стр.349 - 372; 2, стр.246 - 260, 278-280 .

В работе исследуется зависимость  $h$  - параметров транзистора в схеме с общим эмиттером  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  и  $h_{22}$  от температуры. Исследуется также зависимость теплового тока коллекторного перехода от температуры. По полученным данным рассчитываются и строятся зависимости от температуры параметров T-образной эквивалентной схемы.

2. С х е м ы

На рис.19 показана схема для измерения параметров  $h_{11}$  и  $h_{21}$  а на рис.20 - параметров  $h_{12}$  и  $h_{22}$  .

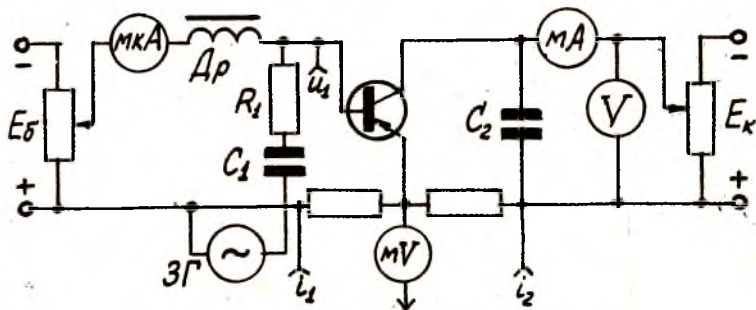


Рис. 19

При измерении параметров  $h_{11}$  и  $h_{21}$  во входную цепь транзистора через цепочку  $R_1 C_1$  подается напряжение от звукового генератора ЗГ. На выходе транзистора включен конденсатор  $C_2$

обеспечивается режим короткого замыкания, при этом

$$h_{11} = \frac{U_1}{i_1} \Big|_{U_2=0} \quad h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \Big|_{U_2=0}$$

При измерении параметров  $h_{12}$  и  $h_{22}$  в выходную цепь транзистора через разделительный конденсатор  $C_2$  подается напряжение от того же звукового генератора ЗГ. На входе транзистора дроссель Др обеспечивает режим холостого хода и

$$h_{12} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{i_1=0} \quad h_{22} = \frac{i_2}{U_2} \Big|_{i_1=0}$$

Для измерения переменных напряжений  $U_1$  и  $U_2$  используется ламповый милливольтметр, который поочередно подключается к соответствующим точкам, показанным на схемах.

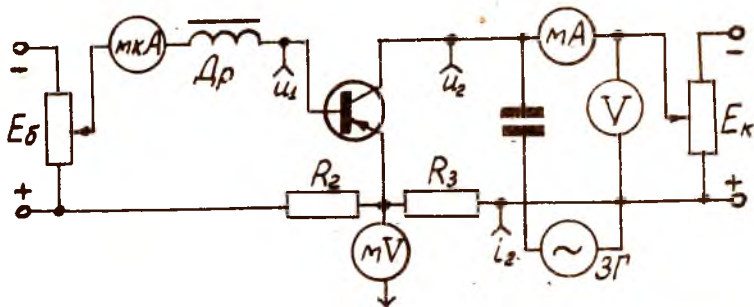


Рис.20

Переменные токи  $i_1$  и  $i_2$  измеряются по величине падения напряжения на сопротивлениях  $R_2$  и  $R_3$  тем же ламповым милливольтметром.

Для исследования влияния температуры на величину параметров транзистора последний помещается в термостат.

Схема для измерения обратного тока коллекторного перехода  $I_{к0}$  приведена на рис.23.

### 3. Зада н и е

1. Записать паспортные данные исследуемого транзистора и зарисовать схему расположения выводов.

2. Включить схему ( рис.19 ) для измерения параметров транзистора  $h_{11}$  и  $h_{21}$  . Установить напряжения на базе и коллекторе равными нулю и вставить транзистор в термостат.

3. Установить номинальный режим испытания транзистора по постоянному току и измерить при комнатной температуре  $h_{110}$  и  $h_{210}$  .

4. Включить термостат и снять зависимость  $h_{11}$  и  $h_{21}$  от температуры.

5. Включить схему ( рис.20 ) для измерения параметров  $h_{12}$  и  $h_{22}$  .

6. Установить номинальный режим испытания транзистора по постоянному току и измерить при комнатной температуре  $h_{120}$  и  $h_{220}$  .

7. Снять зависимость  $h_{12}$  и  $h_{22}$  от температуры.

8. Включить схему для измерения обратного тока коллекторного перехода  $I_{K0}$  ( рис.23) и снять его зависимость от температуры  $I_{K0} = f(T^{\circ})$  при постоянном коллекторном напряжении.

#### 4. Методические указания

1. При измерении параметров транзисторов категорически запрещается превышать значения токов и напряжений, указанных в паспортных данных транзисторов.

2. В процессе измерений параметров при разных температурах необходимо следить за постоянством режима по постоянному току, задерживая заданные значения  $I_K$  и  $U_{KЭ}$ .

3. Измерения параметров транзистора следует производить после 5-минутной выдержки при заданной температуре.

4. Результаты измерений удобно записывать в виде таблиц.

Таблица I

Измерение параметров  $h_{11}$  и  $h_{21}$

$T^{\circ}$ град	$U_1$ МВ	$U_{R2}$ МВ	$U_{R3}$ МВ	$i_1$ МА	$i_2$ МА	$h_{11}$ ОМ	$\frac{h_{11}}{h_{110}}$	$h_{21}$	$\frac{h_{21}}{h_{210}}$

Таблица 2

Измерение параметров  $h_{12}$  и  $h_{22}$

$T^\circ$ град	$U_1$ мВ	$U_2$ мВ	$U_{R3}$ мВ	$i_2$ мА	$h_{12}$	$\frac{h_{12}}{h_{120}}$	$h_{22}$ мксим	$\frac{h_{22}}{h_{220}}$

5. При выполнении работы рекомендуется измерять зависимости  $h_{11} = f(T^\circ)$  и  $h_{21} = f(T^\circ)$  при повышении температуры в термостате, а  $h_{12} = f(T^\circ)$  и  $h_{22} = f(T^\circ)$  при его остывании.

### 5. Обработка результатов измерений

1. Подсчитать для всех режимов испытаний транзисторов при разных температурах значения  $h$  - параметров, а также отношения  $h$  - параметров к их значениям при комнатной температуре (нормированные параметры). Все результаты свести в таблицы (см. разд.4).

2. Построить графики зависимостей нормированных значений параметров  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  и  $h_{22}$  от температуры.

3. Построить графики зависимостей параметров T-образной эквивалентной схемы от температуры:  $Z_3 = f(T^\circ)$ ,  $Z_5 = f(T^\circ)$ ,  $Z_K = f(T^\circ)$ ,  $\alpha = f(T^\circ)$ , имея в виду следующие соотношения:

$$Z_3 = \frac{h_{123}}{h_{223}}; \quad Z_5 = h_{113} - (1 + h_{213}) \frac{h_{123}}{h_{223}}$$

$$Z_K = \frac{1 + h_{213}}{h_{223}}; \quad \alpha = \frac{h_{213}}{1 + h_{213}}; \quad \mu_{ЭК} = \frac{h_{213}}{1 + h_{213}} h_{123}$$

4. Рассчитать величину обратного тока коллекторного перехода  $I_{КН}$  при включении с общим эмиттером по формуле:

$$I_{КН} = (1 + \beta) I_{К0},$$

где  $I_{К0}$  - значения токов, измеренные с помощью схемы (рис.23).

5. Построить график зависимости  $I_{КН} = f(T)$ .

6. По характеристике  $I_{КН} = f(T)$  определить температуру, при которой происходит удвоение величины тока  $I_{КН}$ , измеренного при комнатной температуре.



## 6. Отчет

I. Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры исследованного транзистора и схему расположения выводов.
2. Схемы испытаний транзистора, а также схему измерения  $I_{ко}$ .
3. Измеренные  $h$  - параметры транзистора при включении с общим эмиттером при комнатной температуре для нормального режима.
4. Графики зависимостей нормированных значений параметров  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  и  $h_{22}$  от температуры.
5. Расчет параметров T-образной эквивалентной схемы  $Z_{э}$ ,  $Z_{б}$ ,  $Z_{к}$ ,  $\alpha$ ,  $\mu_{ЭК}$  для номинального режима при комнатной температуре.
6. Графики зависимостей  $Z_{э}$ ,  $Z_{б}$ ,  $Z_{к}$ ,  $\alpha$ ,  $\mu_{ЭК}$  от температуры.
7. График зависимости  $I_{кн} = f(T)$ .

## 7. Вопросы для подготовки

1. От чего зависят предельные температуры германиевых и кремниевых транзисторов, при которых они теряют работоспособность?
2. Как изменяется  $\alpha$  при нагревании транзистора?
3. Как изменяется время жизни носителей с повышением температуры?
4. Из каких компонент главным образом состоит обратный ток коллекторного перехода  $I_{ко}$  в германиевых и кремниевых транзисторах?
5. Каково происхождение обратного тока коллекторного перехода?
6. Как зависит величина концентрации неосновных носителей в полупроводнике от температуры?
7. Что является главной причиной сильной зависимости обратного тока от температуры?
8. Как аналитически зависит тепловой ток от температуры?
9. Как изменяется ток термогенерации при повышении температуры и какую роль он играет в германиевых и кремниевых транзисторах?
10. Что такое ток утечки коллекторного перехода и как он зависит от температуры?
11. Как изменяется напряжение теплового пробоя коллекторного перехода при повышении температуры?
12. Нарисуйте выходные характеристики транзистора в схеме с

общим эмиттером при нормальной и повышенной температурах.

13. Почему температура транзистора при его работе бывает больше температуры окружающей среды? Каков этот перепад температур?

14. Что такое тепловое сопротивление?

15. Каким способом можно уменьшить тепловое сопротивление?

16. У каких транзисторов (мощных или маломощных) тепловое сопротивление больше и почему?

17. В каком диапазоне температур могут работать германиевые и кремниевые транзисторы?

РАБОТА № 13

ЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА ТРАНЗИСТОРОВ

### 1. Цель и содержание работы

Цель - изучить особенности работы транзистора на высоких частотах и измерить параметры высококачественной эквивалентной схемы 1, стр. 395-450; 2, стр. 260-265.

В работе измеряются  $h$  параметры транзистора в схеме с общим эмиттером, снимается зависимость коэффициента передачи тока  $h_{21э}$  от частоты и измеряется емкость коллекторного перехода.

По полученным данным рассчитываются параметры высокочастотной Т-образной эквивалентной схемы транзистора.

### 2. С х е м ы

Для измерения параметров  $h_{12э}$  и  $h_{22э}$  предназначена схема рис.20.

Измерение параметров  $h_{11э}$  и  $h_{21э}$  производится с помощью схемы рис.19. Эта же схема используется для снятия характеристики

$$h_{21э} = f(F)$$

Емкость коллекторного перехода измеряется по схеме рис.21.

### 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные исследуемого транзистора и зарисовать схему расположения выводов.

2. Включить схему для измерения  $h_{12}$  и  $h_{22}$ .

3. Установив номинальный режим испытания транзистора по постоянному току, измерить параметры  $h_{12 \text{ ном}}$  и  $h_{22 \text{ ном}}$ <sup>x)</sup>.

4. Включить схему для измерения  $h_{11}$  и  $h_{21}$ .

5. Измерить параметры  $h_{11 \text{ ном}}$  и  $h_{21 \text{ ном}}$  в номинальном режиме по постоянному току.

6. Изменяя частоту звукового генератора, снять зависимость коэффициента передачи тока  $h_{21э}$  от частоты.

7. Собрать схему, помещенную на рис.21, и измерить ёмкость коллекторного перехода  $C_K$  при номинальном коллекторном напряжении.

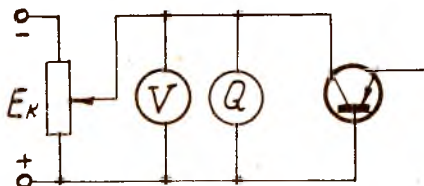


Рис.21

### 4. Методические указания

1. При измерении параметров транзисторов категорически запрещается превышать значения токов и напряжений, указанных в паспортных данных транзисторов.

2. Результаты измерений удобно записывать в виде таблиц.

Таблица I

Измерение параметров  $h_{12}$  и  $h_{22}$

$U_1$ мВ	$U_2$ мВ	$U_{R3}$ мВ	$i_2$ мА	$h_{12}$	$h_{22}$ мксим

<sup>x)</sup> Подробнее об измерениях  $h$  - параметров транзистора см. в работах II и I2.

Таблица 2

Измерение параметров  $h_{11}$  и  $h_{21}$

$U_1$ МВ	$U_{R2}$ МВ	$U_{R3}$ МВ	$i_1$ мА	$i_2$ мА	$h_{11}$ ом	$h_{21}$	

3. При измерении ёмкости коллекторного перехода следует руководствоваться инструкцией к измерителю добротности.

5. Обработка результатов измерений

В результате обработки экспериментальных данных должны быть определены параметры высокочастотной эквивалентной схемы, показано на рис.22.

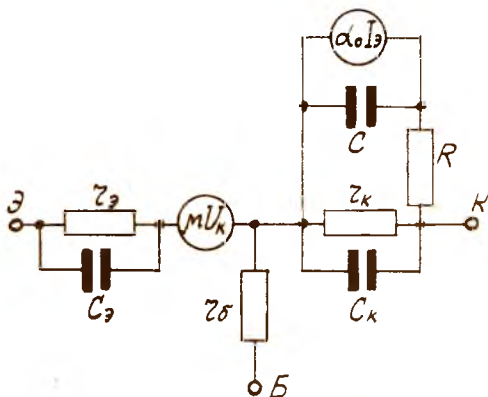


Рис. 22

1. По измеренным  $h$  - параметрам транзистора определить  $Z_э$ ,  $Z_б$ ,  $Z_к$ ,  $\mu_{эк}$ ,  $\alpha$  по формулам:

$$Z_э = \frac{h_{12э}}{h_{22э}}$$

$$\tau_{\delta} = h_{11\beta} - (1 + h_{21\beta}) \frac{h_{12\beta}}{h_{22\beta}},$$

$$\tau_{\kappa} = \frac{1 + h_{21\beta}}{h_{22\beta}}; \quad \mu_{\text{ЭК}} = h_{12\beta} \frac{h_{21\beta}}{1 + h_{21\beta}},$$

$$\alpha_0 = \frac{h_{21\beta}}{1 + h_{21\beta}}.$$

2. Построить график зависимости  $\frac{h_{21\beta}(F)}{h_{21\beta}(0)} = f(F)$  и определить  $F_{\beta}$ .

3. По полученному значению  $F_{\beta}$  вычислить  $F_{\alpha}$  по формуле

$$F_{\alpha} = \frac{F_{\beta}}{1 - \alpha_0}.$$

4. Рассчитать параметры  $RC$  - цепи, имитирующей зависимость  $|\alpha|$  и  $\varphi_{\alpha}$  от частоты, по формуле

$$RC = \frac{1}{\omega_{\alpha}}, \quad \text{где } \omega_{\alpha} = 2\pi F_{\alpha}.$$

5. Вычислить диффузионную ёмкость эмиттерного перехода по формуле

$$C_{\text{ЭЭ}} = \frac{I_{\text{ЭЭ}}}{\tau_{\text{ЭЭ}} \omega_{\alpha}}$$

и диффузионную ёмкость коллекторного перехода по формуле

$$C_{\text{КЭ}} = \frac{I}{2\pi F_{\alpha} (1 - \alpha_0) \tau_{\text{К}}}$$

Отчет должен содержать:

1. Паспортные данные исследованного транзистора и схему расположения выводов.

2. Схемы испытаний транзистора.

3. Графики зависимости коэффициента передачи тока от частоты

$$\frac{h_{21\beta}(F)}{h_{21\beta}(0)} = f(F).$$

4. Измеренные значения  $h$  - параметров.

5. Расчет параметров  $\tau_{\text{ЭЭ}}$ ,  $\tau_{\text{К}}$ ,  $\tau_{\text{Э}}$ ,  $\mu_{\text{ЭК}}$ ,  $\alpha_0$  по измеренным  $h$  - параметрам.

6. Расчеты  $F_{\alpha}$ ,  $RC$ ,  $C_{\text{ЭЭ}}$ ,  $C_{\text{КЭ}}$ .

7. Высокочастотную эквивалентную схему транзистора с обозначенными на ней численными значениями всех параметров.

### 7. Вопросы для подготовки

1. Какие физические процессы влияют на зависимость ( $\alpha$ ) от частоты?
2. С чем связан фазовый сдвиг между токами коллектора и эмиттера и почему он зависит от частоты?
3. Что такое  $F_\alpha$  ?
4. Нарисуйте график зависимости ( $\alpha$ ) и  $\varphi_\alpha$  от частоты.
5. Какой эквивалентной схемой могут быть приближенно отражены зависимости  $|\alpha|$  и  $\varphi_\alpha$  от частоты?
6. Что такое  $F_\beta$  ?
7. Какая существует аналитическая связь между  $F_\alpha$  и  $F_\beta$  ?
8. Объясните, почему  $F_\alpha \gg F_\beta$  .
9. Какими физическими причинами можно объяснить более сильную зависимость  $|\beta|$  от частоты, чем  $|\alpha|$  ?
10. Нарисуйте векторную диаграмму токов  $I_\varepsilon$ ,  $I_k$ ,  $I_\delta$  на низких и высоких частотах
11. Что такое барьерная ёмкость коллекторного перехода?
12. Что такое диффузионная ёмкость коллектора?
13. Какие физические причины вызывают возникновение диффузионной ёмкости коллектора?
14. Нарисуйте эквивалентную схему транзистора на высоких частотах (схему Притчарда).
15. Как влияет уменьшение толщины базы на частотные свойства транзистора?
16. Дайте определение  $F_T$  . Как эта величина связана с  $F_\alpha$  ?
17. Назовите методы улучшения частотных свойств транзистора.
18. Расскажите о принципе действия и конструкции дрейфового транзистора. Какими методами достигнуто улучшение частотных свойств дрейфовых транзисторов?
19. Назовите предельные частоты ( $F_\alpha'$ ) сплавных и дрейфовых транзисторов.
20. Расскажите о технологии изготовления дрейфовых транзисторов.

1. Цель и содержание работы

Изучить работу транзистора в ключевом режиме и измерить основные импульсные параметры 1, стр.457-478; 2, стр.265-268 .

В работе измеряются тепловые токи коллекторного и эмиттерного переходов, нормальный и инверсный коэффициенты передачи тока базы в режиме большого сигнала  $V_{\text{н}}$  и  $V_{\text{г}}$ , остаточные напряжения между коллектором и эмиттером и в режиме насыщения, а также исследуется процесс переключения транзистора.

В процессе переключения измеряются длительности положительного и отрицательного фронтов коллекторного импульса и время рассасывания носителей и исследуется их зависимость от степени насыщения.

2. С х е м ы

Для измерения тепловых токов коллекторного  $I_{\text{к0}}$  и эмиттерного  $I_{\text{э0}}$  переходов и исследования их зависимости от напряжений между коллектором и базой  $U_{\text{кб}}$  и эмиттером и базой  $U_{\text{эб}}$  соответственно предназначена схема на рис.23. В положении 1 переключателя П снимается характеристика  $I_{\text{э0}} = f(U_{\text{эб}})$ , в положении 2 - характеристика  $I_{\text{к0}} = f(U_{\text{кб}})$ .

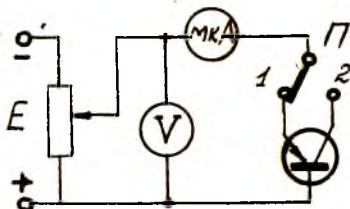


Рис.23



На рис.24 показана схема для измерения нормального  $B_N$  и инверсного  $B_I$  коэффициентов передачи тока базы. В положении переключателя  $N$  измеряется коэффициент  $B_N$ , в положении  $I$  - коэффициент  $B_I$ .

При измерении остаточного напряжения между коллектором и эмиттером в режиме насыщения  $U_{кэ нас}$  и исследовании процесса переключения транзистора используется схема на рис.25.

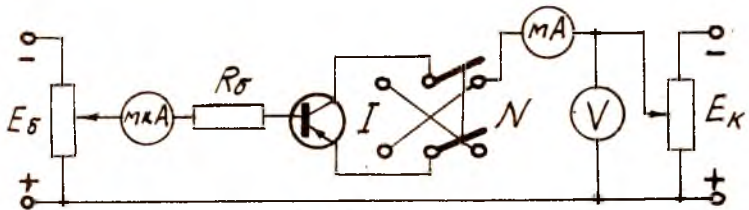


Рис.24

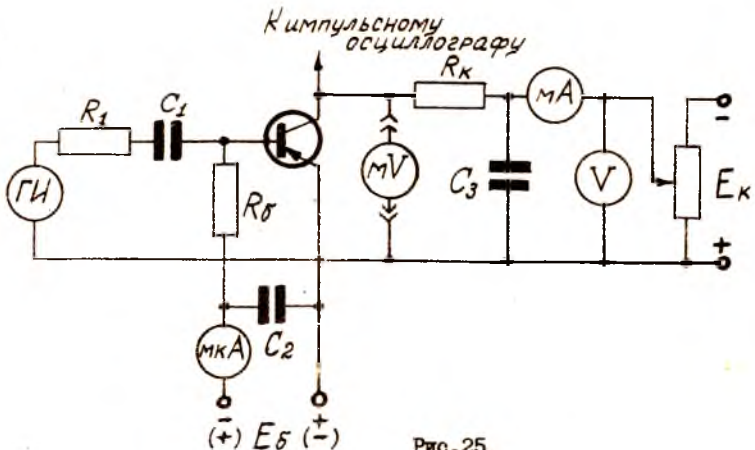


Рис.25

Коллекторная цепь транзистора питается от источника регулируемого напряжения  $E_k$ . Сопротивление  $R_k$  является сопротивлением нагрузки транзистора при работе его в ключевом режиме. Цепь базы транзистора по постоянному току питается через сопротивление  $R_b$  от источника регулируемого напряжения  $E_b$ . Конденсаторы  $C_2$  и  $C_3$

необходимы лишь при импульсных измерениях. Остаточное напряжение между коллектором и эмиттером измеряется милливольтметром постоянного тока, который во время импульсных измерений должен быть отключен.

При исследовании процесса переключения используется генератор прямоугольных импульсов ПИ. Амплитуда импульса тока базы ограничивается сопротивлением  $R_1$ . Генератор импульсов отделен конденсатором  $C_1$  от цепи питания базы постоянным током.

### 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные и зарисовать схему расположения выводов исследуемого транзистора.

2. Включить схему для снятия характеристик  $I_{K0} = f(U_{K\delta})$  и  $I_{Э0} = f(U_{Э\delta})$  (рис.23).

3. Снять зависимости  $I_{K0} = f(U_{K\delta})$  и  $I_{Э0} = f(U_{Э\delta})$ .

4. Включить схему для измерения нормального и инверсного коэффициентов передачи тока базы (рис.24).

5. Измерить нормальный и инверсный коэффициенты передачи тока базы  $B_N$  и  $B_I$  в режиме большого сигнала (см.ниже, разд.4).

6. Собрать схему для измерения остаточного напряжения и исследования процесса переключения транзистора (рис.25).

7. Измерить остаточное напряжение на транзисторе в режиме насыщения для нормального и инверсного включений (см. п.3 разд.4).

8. Исследовать процесс переключения транзистора в нормальном и инверсном включениях для различных режимов (см.п.4 разд.4). Сравнивать с формой осциллографа все получаемые сигналы на кальку.

### 4. Методические указания

1. При всех измерениях категорически запрещается превышать предельные значения токов и напряжений, указанных в паспортных данных транзистора.

2. Для измерения коэффициента передачи тока в режиме большого сигнала необходимо установить ток базы и напряжение коллектора, указанные на стенде и измерить ток коллектора. Коэффициент передачи тока  $B_N$  подсчитывается по формуле

$$B_N = \frac{I_K - I_{K0}}{I_{\delta} + I_{K0}}$$

Значения  $I_{K0}$  берутся из графика зависимости  $I_{K0} = f(U_{K\delta})$  для заданного напряжения коллектора.

При вычислении  $B_I$  в инверсном режиме вместо тока  $I_{K0}$  в формулу следует подставлять значение тока  $I_{Э0}$  из графика  $I_{Э0} = f(U_{ЭД})$ .

3. Перед измерением остаточного напряжения в схеме рис. 25 увеличением тока базы необходимо перевести транзистор в режим насыщения с соблюдением условия  $\frac{I_{Kнас}}{I_{Бнас}} = B$ .

После этого измерить остаточное напряжение между коллектором и эмиттером.

4. Процесс переключения транзистора исследуется в двух режимах.

Первый режим: ток базы транзистора в исходном состоянии равен нулю.

Второй режим: транзистор находится в режиме глубокой отсечки

$$I_{Б} = -I_{K0}.$$

В обоих режимах исследуется форма импульса в цепи коллектора в зависимости от степени насыщения транзистора. Степенью насыщения называется величина

$$N = \frac{I_{Б} - I_{Бнас}}{I_{Бнас}},$$

где  $I_{Бнас}$  - минимальный ток базы, который переводит транзистор в режим насыщения, равный  $I_{Бнас} = I_{Kнас}/B$ ,

$I_{Б}$  - ток базы в режиме насыщения, больший чем  $I_{Бнас}$ .

Измерения необходимо провести для различных величин степени насыщения  $N$ , указанных преподавателем.

Амплитуда импульса тока базы, переводящая транзистор в режим насыщения, подсчитывается по формуле

$$I_{Б} = \frac{U_{имп}}{R_1},$$

где  $U_{имп}$  - амплитуда импульса напряжения на выходе генератора импульсов.

Описанные выше измерения проводятся для нормального и инверсного включений транзистора.

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Рассчитать прямые и инверсные коэффициенты передачи тока базы  $B_N$  и  $B_I$  в режиме большого сигнала по формулам

2. Определить длительность положительного фронта коллекторного импульса  $t_{\varphi}^+$  (см. рис.26).

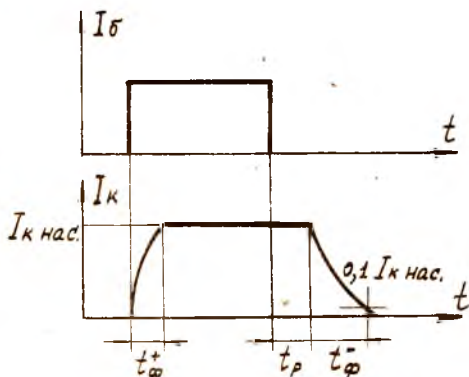


Рис.26

3. Построить графики зависимости  $t_{\varphi}^+$  от степени насыщения  $N$  для нормального и инверсного включений транзистора.
4. Определить времена рассасывания  $t_p$  для различных режимов (рис.26).
5. Построить графики зависимости времени рассасывания от степени насыщения  $t_p = f(N)$ .
6. Определить длительность отрицательного фронта импульса  $t_{\varphi}^-$ .

### 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

1. Паспортные данные и схему расположения выводов исследуемого транзистора.
2. Схемы испытаний транзистора.
3. Графики зависимостей  $I_{k0} = f(U_{k\delta})$ ,  $I_{\varepsilon 0} = f(U_{\varepsilon\delta})$ .
4. Величины прямого и инверсного коэффициентов передачи тока базы  $B_N$  и  $B_I$ .
5. Величины остаточных напряжений в режиме насыщения  $U_{k\varepsilon \text{ нас}}$  в нормальном и инверсном включениях, а также значения токов базы и коллектора, при которых проводились измерения.
6. Все полученные эпюры коллекторного тока.
7. Все значения измеренных времен  $t_{\varphi}^+$ ,  $t_p$ ,  $t_{\varphi}^-$  с указанием

режимов, в которых эти времена измерялись.

8. Графики зависимостей длительности положительного фронта импульса  $t_{\phi}^+$  и времени рассасывания  $t_p$  от степени насыщения:

$$t_{\phi}^+ = f(N) \quad t_p = f(N).$$

### 7. Вопросы для подготовки

1. Расскажите об основных режимах работы транзистора: активном (нормальном и инверсном), отсечки, насыщения.

2. Чем отличается режим отсечки для включений транзистора с общей базой и общим эмиттером?

3. Нарисуйте распределение концентрации неосновных неравновесных носителей в базе в активном режиме и в режиме насыщения.

4. Что такое степень насыщения?

5. Расскажите о свойствах транзистора, работающего в ключевом режиме.

6. Что такое остаточное напряжение?

7. Зависит ли величина остаточного напряжения от того, в каком режиме используется транзистор - в нормальном или инверсном?

8. Как определяется коэффициент передачи тока базы в режиме большого сигнала?

9. Из каких стадий состоит процесс включения транзистора в схеме с общим эмиттером?

10. Расскажите о процессе формирования положительного фронта коллекторного импульса.

11. Какие основные факторы определяют длительность положительного фронта коллекторного импульса?

12. Как влияет ёмкость коллектора на длительность положительного фронта?

13. Расскажите о процессе накопления носителей в базе.

14. Нарисуйте распределение концентрации неосновных неравновесных носителей для момента начала формирования положительного фронта коллекторного импульса в момент формирования и в процессе накопления.

15. Из каких стадий состоит процесс выключения транзистора в схеме с общим эмиттером?

16. Расскажите о процессе рассасывания носителей в базе.

17. Как зависит время рассасывания от степени насыщения транзистора?

18. Нарисуйте распределение концентрации неосновных неравновесных носителей в базе на различных стадиях процесса выключения транзистора.

1. Цель и содержание работы

Ознакомиться с характеристиками и параметрами динистора и тринистора [ 1, стр.478-485; 2, стр.290-293 ].

В работе исследуются управляемые и неуправляемые переключатели тока (динисторы и тринисторы). Снимается характеристика тринистора для различных токов управления. Путем Осциллографирования характеристик тринистора, помещенного в термостат, изучается влияние температуры окружающей среды на работу тринистора. По полученным характеристикам определяются основные параметры тринистора и строятся графики зависимости напряжения переключения от тока управления и температуры окружающей среды.

2. С х е м а

На рис.27 показана схема, с помощью которой можно снять характеристику тринистора, а также экспериментально исследовать влияние величины тока управления на напряжение переключения тринистора.

Ввиду того, что характеристика тринистора по оси напряжений является трехзначной, необходимо в качестве независимой переменной величины при снятии характеристики выбрать ток. Из рис.27 видно, что тринистор питается от генератора тока ( с большим внутренним сопротивлением). Напряжение на тринисторе измеряется с помощью лампового вольтметра.

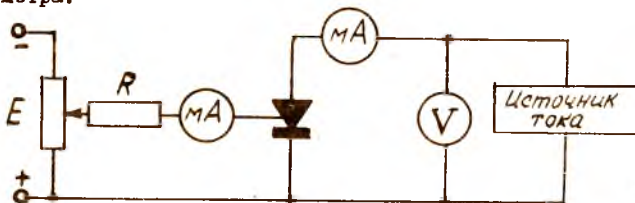


Рис.27

Схема на рис.28 позволяет осуществить осциллографирование характеристик транзистора. Изменяя величину тока управления можно наблюдать на экране осциллографа изменения вольтамперных характеристик транзистора. С помощью схемы рис.28 также можно изучить влияние температуры окружающей среды на работу транзистора. Для этого транзистор нужно поместить в термостат.

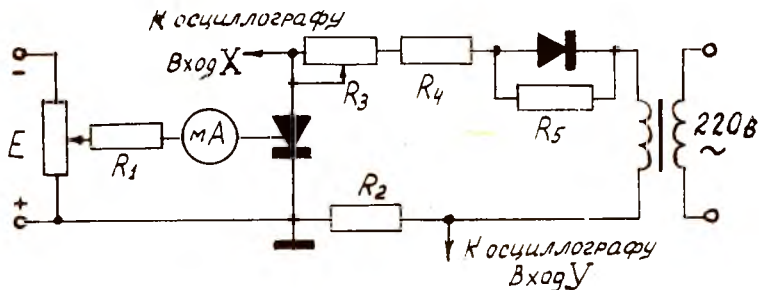


Рис.28

### 3. Зада н и е

1. Записать паспортные данные транзистора и зарисовать схему расположения выводов.
2. Собрать схему испытания транзистора (рис.27).
3. Снять характеристику транзистора в динисторном включении  $I = f(U)$  при токе управления  $I_y$ , равном нулю.
4. Подключить базу к источнику тока и снять семейство характеристик  $I = f(U)$  транзистора при разных значениях тока управления.
5. Собрать схему для осциллографирования характеристик транзистора (рис.28).
6. Зарисовать осциллограмму характеристики транзистора при  $I_y = 0$ .
7. Зарисовать осциллограммы характеристик транзистора при нескольких значениях тока управления  $I_y$ .
8. Поместив транзистор в термостат, зарисовать осциллограммы его характеристик при нескольких повышенных температурах и тока  $I_y = 0$ .

### 4. Обработка результатов измерений

1. По характеристикам транзистора  $I = f(U)$ , снятым при токе  $I_y = 0$ , определить параметры транзистора: напряжение переключ-



чения  $U_{пер}$ , ток переключения  $I_{пер}$ , ток выключения  $I_{выкл.}$ , ток утечки  $I_{ут}$ , определяемый при напряжении, равном  $\frac{U_{пер}}{2}$ .

2. По характеристике транистора  $I = f(U)$ , снятой при различных токах  $I_y$ , построить график зависимости напряжения переключения транистора от тока управления  $U_{пер} = f(I_y)$ .

3. С помощью снятых осциллограмм построить график зависимости напряжения переключения от температуры  $U_{пер} = f(T)$  при  $I_y = 0$ .

## 5. Отчет

Отчет должен содержать:

1. Паспортные данные и схему расположения выводов исследованного транистора.

2. Схемы испытаний транистора.

3. Вольтамперную характеристику  $I = f(U)$  транистора в динисторном включении для значения тока  $I_y = 0$ .

4. Параметры транистора  $U_{пер}$ ,  $I_{пер}$ ,  $I_{выкл.}$  и  $I_{ут}$ .

5. Семейство вольтамперных характеристик  $I = f(U)$  транистора для разных значений тока  $I_y$ .

6. График зависимости напряжения переключения транистора от тока управления  $U_{пер} = f(I_y)$ .

7. Полученные при экспериментах осциллограммы характеристик транистора.

8. График зависимости напряжения переключения транистора от температуры окружающей среды  $U_{пер} = f(T)$  при  $I_y = 0$ .

## 7. Вопросы для подготовки

1. Расскажите об устройстве транистора.

2. Каковы основные физические процессы, протекающие в транисторе?

3. Расскажите о назначении управляющего электрода транистора. Для чего сделан вывод от базовой области?

4. Рассмотрите вольтамперную характеристику динистора с точки зрения физических процессов, протекающих в четырех слойной структуре типа р-п-р-п.

5. Назовите основные параметры транистора.

6. Расскажите о механизме лавинного процесса, происходящего в момент переключения.

7. Почему с ростом тока базы напряжение переключения уменьшается?
8. Каково остаточное падение напряжения на открытом транисторе?
9. Почему остаточное напряжение на р-п-р-п-структуре слабо зависит от величины тока, протекающего через структуру?
10. Каково время переключения транистора?
11. Почему напряжение переключения уменьшается с ростом температуры?
12. От чего зависит величина тока выключения транистора?
13. Расскажите о применениях транисторов.
14. Каковы преимущества диристоров и транисторов при использовании их в ключевых схемах перед газоразрядными приборами?

РАБОТА № 16

ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР

1. Цель и содержание работы

Изучить принцип действия, характеристики и параметры полевых (канальных) транзисторов с управляющим р-п переходом [1, стр. 485-492; 2, стр.275-278] .

В работе могут быть исследованы транзисторы с каналами п-типов. Снимаются стоковые, стоко-затворные и затворные характеристики. По снятым характеристикам определяются основные параметры по-

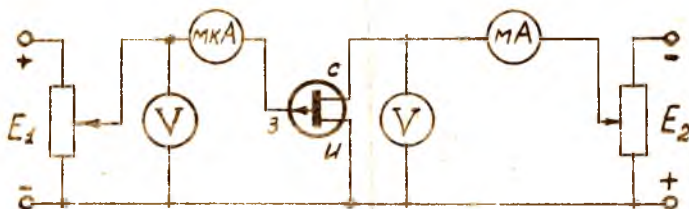


Рис. 29

левого транзистора: напряжения отсечки и насыщения, максимальная крутизна, сопротивление канала, выходное сопротивление и сопротивление утечки в цепи затвора.

2. С х е м а

На рис.29 показана схема для снятия характеристик полевого транзистора с каналом р-типа.

### 3. З а д а н и е

1. Записать паспортные данные прибора и зарисовать схему расположения выводов.

2. Снять стоковые характеристики  $I_c = f(U_c)$  при нескольких заданных напряжениях на затворе  $U_3$ , в том числе при  $U_3 = 0$ .

3. Снять стоко-затворную характеристику при нескольких заданных напряжениях на стоке  $U_c$ .

4. Определив напряжение отсечки  $U_{30}$ , снять затворную характеристику  $I_3 = f(U_3)$  при напряжении стока  $U_c = U_{30}$ .

### 4. Методические указания

При снятии всех характеристик полевого транзистора следует строго придерживаться режимов, указанных преподавателем.

### 5. Обработка результатов измерений

1. По стоковой характеристике  $I_c = f(U_c)$  определить:

- напряжение насыщения стока  $U_{сн}$  ;
- ток насыщения  $I_{сн}$  при  $U_3 = 0$  и  $U_c = U_{сн}$  ;
- выходное сопротивление при  $U_3 = 0$  и  $U_c > U_{сн}$  ;
- сопротивление канала  $R_{к0}$  при  $U_c = 0$  и  $U_3 = 0$  .

2. По стоко-затворной характеристике  $I_c = f(U_3)$  определить:

- напряжение отсечки  $U_{30}$  ;
- остаточный ток  $I_{ост}$  ;
- максимальную крутизну транзистора

$$S = \frac{\partial I_c}{\partial U_3} \quad \text{при } U_c = U_{сн} .$$

3. По затворной характеристике  $I_3 = f(U_3)$  определить:

- тепловой ток затвора  $T_{30}$  ;
- сопротивление утечки в цепи затвора  $R_{ут} = \frac{\partial U_3}{\partial I_3}$  .

### 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

- Паспортные данные и схему расположения выводов исследованного полевого транзистора.
- Схему испытаний.

3. Семейство стоковых характеристик  $I_c = f(U_c)$ .
4. Семейство стоко-затворных характеристик  $I_c = f(U_3)$ .
5. График затворной характеристики  $I_3 = f(U_3)$ .
6. Определение по стоковым характеристикам: напряжение насыщения  $U_{сн}$ , ток насыщения  $I_{сн}$ , выходное сопротивление  $R_{вых}$  и сопротивление канала  $R_{кo}$ .
7. Определение по стоко-затворной характеристике напряжение отсечки  $U_{зо}$ , остаточный ток  $I_{ост}$  и максимальную крутизну  $S$ .
8. Определенные по затворной характеристике тепловой ток затвора  $I_{зо}$  и сопротивление утечки в цепи затвора.

#### 7. Вопросы для подготовки

1. Нарисуйте простейшую конструкцию полевого транзистора и расскажите о принципе его работы.
2. Как обозначаются на схемах транзисторы с каналами типа  $n$  и типа  $p$ ?
3. Нарисуйте схему включения полевого транзистора и расставьте на схеме полярности питающих напряжений.
4. Что такое напряжение насыщения?
5. Как зависит напряжение насыщения от напряжения на затворе?
6. Нарисуйте распределение объемного затвора в канале для различных напряжений на затворе.
7. Что такое напряжение отсечки?
8. Нарисуйте стоко-затворную характеристику полевого транзистора.
9. Перечислите основные параметры полевого транзистора.
10. Каким параметром характеризуются усилительные свойства полевого транзистора и почему?
11. Нарисуйте эквивалентную схему полевого транзистора и объясните физический смысл входящих в нее элементов.
12. Какие существуют разновидности полевых транзисторов?
13. Расскажите о преимуществах и недостатках полевых транзисторов по сравнению с обычными биполярными транзисторами и электронными лампами.

РАБОТА № 17

РАЗБРОС ПАРАМЕТРОВ И КРИТЕРИИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРАНЗИСТОРОВ

I. Содержание работы

В работе производится проверка партии транзисторов одного и того же типа с помощью измерителя параметров Л2-2. Измеряются параметры  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$  и  $h_{22}$  в схеме с общим эмиттером, а также  $I_{ко}$ . I, стр.492-498; 2, стр.310-311.

По экспериментальным данным строятся гистограммы распределения измеренных параметров и отмечаются границы разброса, которые сравниваются с паспортными. Определяется, находятся ли испытанные транзисторы к применению по критерию долговечности.

2. С х е м ы

Подробная схема испытателя параметров плоскостных транзисторов Л2-2 и инструкция по его эксплуатации находится в описании прибора. Принципиальные схемы каждого эксперимента приводятся ниже. Индексы у обозначений R и C соответствуют схеме, приведенной в описании прибора.

На рис.30 показана схема измерения параметра  $h_{11}$ , а на рис. 31 - параметра  $h_{21}$ . В цепь базы от генератора звуковой частоты ( $F = 700$  гц) через сопротивления  $R_{149}$  и  $R_{150}$  подается переменный ток заданной величины  $i_{\delta}$ . Режим короткого замыкания в коллекторной цепи обеспечивается включением конденсатора  $C_{162}$ .

При измерении параметра  $h_{11} = U_{\delta}/i_{\delta}$  напряжение на базе усиливается специальным усилителем и поступает на измерительный прибор ИИ. Поскольку ток  $i_{\delta}$  задан, то измерительный прибор проградуирован в значениях  $h_{11}(\text{ом})$ .

При определении параметра  $h_{21} = i_{*}/i_{\delta}$  коллекторный ток измеряется по падению напряжения на известном сопротивлении  $R_{165}$  с помощью усилителя и измерительного прибора ИИ, который отградуирован в значениях  $h_{21}$ .

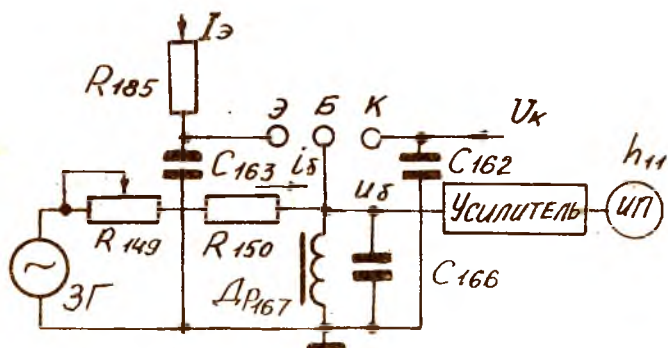


Рис. 30

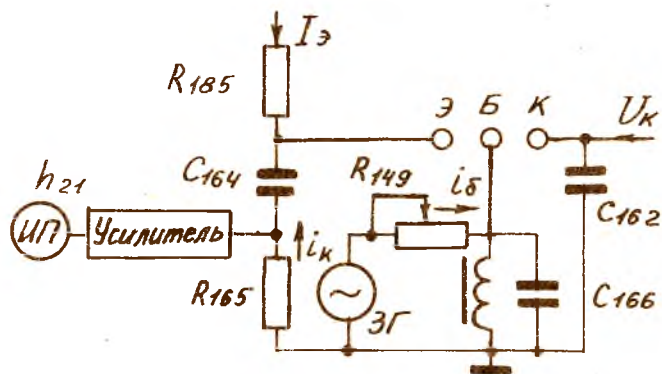


Рис. 31

На рис.32 показана схема измерения параметра  $h_{12}$ , а на рис. 33 - параметра  $h_{22}$ . В цепь коллектора от генератора звуковой частоты через конденсатор  $C_{162}$  подается переменное напряжение заданной величины. Режим холостого хода в цепи базы обеспечивается включением дросселя  $Др167$  и конденсатора  $C_{166}$ . Возникающее в цепи базы напряжение  $U_б$  измеряется с помощью усилителя и измерительного прибора ИП. Так как  $h_{12} = U_б / U_к$ , то измерительный прибор ИП отградуирован непосредственно в значениях  $h_{12}$ .

При определении параметра  $h_{22} = i_к / U_к$  коллекторный ток измеряется по падению напряжения на известном сопротивлении  $R_{165}$

с помощью усилителя и измерительного прибора ИП, который отградуирован непосредственно в значениях  $h_{22}$  (мксим).

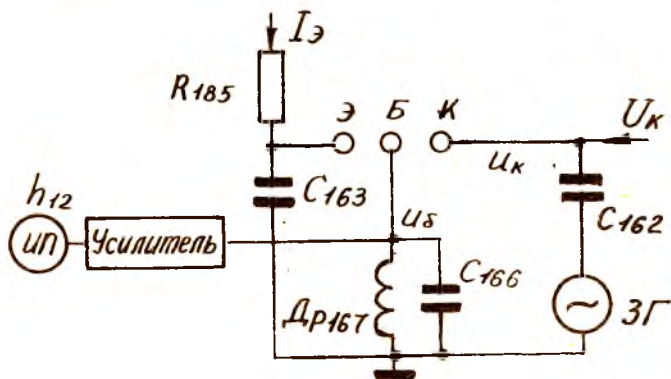


Рис. 32

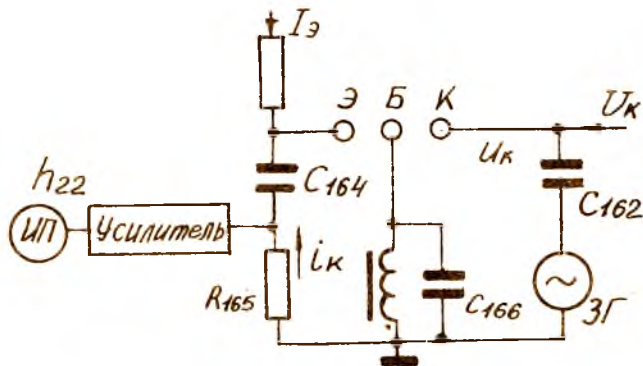


Рис. 33

### 3. З а д а н и е

1. Ознакомиться с прибором Л2-2 и методикой работы на нем (см. описание прибора и инструкцию по его эксплуатации).
2. Записать паспортные параметры и критерии долговечности исследуемых в работе транзисторов.
3. Измерить параметры транзистора в схеме с общим эмиттером



$h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{22}$ ,  $h_{21}$  и  $I_{к0}$ .

#### 4. Методические указания

1. Измерения параметров всех транзисторов необходимо производить в одном и том же режиме его работы по постоянному току указанном в паспортных данных.

2. По окончании измерения параметров транзистора необходимо соблюдать следующий порядок работы:

- а) снять напряжение с транзистора;
- б) вынуть транзистор из колодки;
- в) поставить переключатель "р-п-р"- "п-р-п" в среднее положение.

При несоблюдении этих условий возможен выход из строя транзисторов, особенно диффузионных.

3. Протокол испытаний транзисторов рекомендуется вести, пользуясь следующей таблицей:

Таблица

Тип транзистора	Номер транзистора	Параметр				$I_{к0}$ мкА	Примечание
		$h_{11}$ ом	$h_{12}$	$h_{22}$ мксим	$h_{21}$		

#### 5. Обработка результатов измерений

1. Подсчитать среднее значение параметров  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$  и  $I_{к0}$  для исследованной партии транзисторов.

2. Подсчитать в процентах максимальное и минимальное отклонения каждого параметра от среднего значения.

3. Построить гистограммы распределения измеренных параметров, откладывая по оси абсцисс значение параметра, а по оси ординат - количество транзисторов в процентах, имеющих данное значение параметра.

4. Нанести на построенные гистограммы границы паспортных зна-

чений параметра, а также указать его номинальную паспортную величину.

5. Определить, находятся ли измеренные параметры транзисторов в пределах допустимого разброса.

## 6. О т ч е т

Отчет должен содержать:

1. Паспортные параметры и критерии долговечности испытанного типа транзистора.

2. Принципиальные схемы измерения  $h$  - параметров транзисторов в схеме с общим эмиттером с помощью прибора Д2-2.

3. Таблицу измерений  $h$  - параметров прибором Д2-2.

4. Расчет средних значений  $h$  - параметров и  $I_{к0}$ .

5. Минимальные и максимальные значения параметров  $h_{11}$ ,  $h_{12}$ ,  $h_{21}$ ,  $h_{22}$ , и  $I_{к0}$  в единицах измерения, а также минимальные и максимальные отклонения параметров от среднего значения в процентах.

6. Гистограммы распределения измеренных  $h$  - параметров и  $I_{к0}$  с учетом номинального паспортного значения, а также паспортных границ разброса.

7. Указания о том, находятся ли измеренные параметры в пределах допустимого разброса и пригодны ли испытанные транзисторы к использованию по критерию долговечности.

## 7. Вопросы для подготовки

1. Дайте определение всех  $h$  - параметров транзисторов в схемах ОБ и ОЭ. Каков физический смысл каждого из них?

2. Как зависят  $h$  - параметры от режима работы транзистора, частоты и температуры окружающей среды?

3. Как изменяются параметры транзисторов в течение срока службы?

4. Каков срок службы транзисторов? Что является критерием их долговечности?

5. Расскажите об основных правилах обращения с транзисторами.

6. Какие повреждения транзистора возможны при выполнении всех правил их эксплуатации?

7. Назовите возможные катастрофические повреждения транзисторов.

8. Расскажите о существующих методах массовых испытаний полупроводниковых приборов.

9. Каков разброс параметров полупроводниковых приборов от экземпляра к экземпляру у одного и того же типа приборов? Как быть при большом разбросе при выпуске серийной аппаратуры?

10. Расскажите, как проводятся механические испытания транзисторов и испытания на воздействие окружающей среды.

11. Расскажите, как проводятся испытания на срок службы транзисторов, испытания на срок хранения.

12. Расскажите о методах ускоренных испытаний транзисторов.

13. Расскажите о возможных способах изготовления р-п-переходов.

14. Каковы преимущества полупроводниковых приборов по сравнению с электронными лампами?

15. Как изменяются свойства и параметры полупроводниковых приборов в условиях ионизирующего излучения?

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Батушев В. А. Электронные приборы. "Высшая школа", 1969.

2. Дулин В. Н. Электронные приборы. "Энергия", 1969.

### Дополнительная

3. Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. "Энергия", 1967.

4. Федотов Я. А. Основы физики полупроводниковых приборов. "Советское радио", 1969.

5. Николаевский И. Ф., Игумнов Д. В. Параметры и предельные режимы работы транзисторов. "Советское радио", 1971.

6. Гершунский Б. С. и др. Справочник по основам электронной техники. Изд-во Киевского университета, 1972.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	I
Основные правила безопасности . . . . .	I
Проведение занятий . . . . .	2
Оформление и защита отчета . . . . .	3
Работа № 1 ( 72 ) Триод . . . . .	4
Работа № 2 ( 73 ) Пентод . . . . .	12
Работа № 3 (82) Электронно-световой индикатор	17
Работа № 4 (81) Электронно-лучевая трубка)	22
Работа № 5 (55) фотоэлектрические приборы . . .	28
Работа № 6 (78) Тиратрон дугового разряда . . .	35
Работа № 7 ( 84) Стабилитроны . . . . .	39
Работа № 8 (76 ) Разброс параметров электро - вакуумных приборов . . . . .	46
Работа № 9 ( 71) Полупроводниковые диоды . . .	54
Работа № 10 ( 83) Характеристики транзистора . .	59
Работа № 11 (86) Параметры транзисторов (0Б) . .	63
Работа № 12 (87) Параметры транзисторов (0Э) . .	68
Работа № 13 Частотные свойства транзисторов	74
Работа № 14 Импульсные свойства транзисторов	79
Работа № 15 Дичистор и тринистор . . . . .	86
Работа № 16 Полевой транзистор . . . . .	90
Работа № 17 Разброс параметров транзисторов	93
Литература . . . . .	98