

# ЭЛЕКТРОНИКА

◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

## ЭЛЕКТРОНИКА

Лабораторные работы  
для студентов 2 и 3 курсов неэлектротехнических специальностей  
дневной и заочной форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2005

УДК 621.38(075)  
ББК ←85я73-5  
А946

Рецензент

Доктор технических наук, профессор  
*П.С. Беляев*

Авторы-составители:

*В.В. Афонин, И.Н. Акулинин*

**Афонин, В.В.**

А946 Электроника : лабораторные работы / авт.-сост. :  
В.В. Афонин, И.Н. Акулинин. Тамбов : Изд-во Тамб.  
гос. техн. ун-та, 2005. 40 с.

Даны методические указания, последовательность выполнения лабораторных работ, описание объектов и средств исследования по дисциплине «Электротехника и электроника».

Предназначены для студентов 2 и 3 курсов неэлектротехнических специальностей дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.38(075)

ББК ←85я73-5

© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ),  
2005

Учебное издание

ЭЛЕКТРОНИКА

Лабораторные работы

Авторы-составители:

АФОНИН Владимир Васильевич,  
АКУЛИНИН Игорь Николаевич

Редактор Т.М. Глинкина

Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкoвa

Подписано к печати 15.06.2005.

Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Объем: 2,32 усл. печ. л.; 2,2 уч.-изд. л.

Тираж 50 экз. С. 443<sup>М</sup>

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях инженер любого профиля обязан иметь глубокие знания основ электротехники и электроники. В связи с этим учебными планами высших технических учебных заведений РФ предусмотрен курс электротехники и электроники для неэлектротехнических специальностей, при изучении которого особое значение имеет выполнение лабораторных работ, способствующее более глубокому усвоению основных теоретических положений изучаемых электротехнических и электронных устройств.

В процессе выполнения лабораторных работ по электронике создаются определенные условия для получения студентами необходимых навыков в пользовании разнообразными электроизмерительными приборами и электронными устройствами, накапливается опыт экспериментирования и развивается критический подход к результатам проведенного эксперимента.

### 1 Методические указания

#### 1.1 Организация проведения лабораторных работ и требования по технике безопасности

Целью работы в лаборатории по электронике является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний экспериментальным путем, а также знакомство с оборудованием, приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

На первом занятии цикла лабораторных работ по электронике преподаватель сообщает студентам план лабораторных занятий на текущий семестр или его часть, рекомендует им необходимую литературу, знакомит с принятой методикой проведения работ.

Учебная группа разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы с указанием бригад староста представляет до начала занятий преподавателям, ведущим лабораторные занятия.

Для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

- 1) предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- 2) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы;
- 3) по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- 4) до проведения лабораторной работы подготовить на отдельных листах формата А4 соответствующие схемы, таблицы наблюдений и расчетные формулы;
- 5) рекомендуется приносить на занятия бумагу в клетку (миллиметровку) для вычерчивания на ней черновых графиков во время проведения опыта, чертежные принадлежности и калькуляторы;
- 6) неподготовленные студенты не допускаются к выполнению лабораторной работы и в течение учебного времени изучают в лаборатории не освоенный ими материал по учебной литературе.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) к выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного выяснения ее содержания;
- 2) начинать работу следует с ознакомления с приборами, стендом и оборудованием, применяемыми в данной работе. Необходимо кратко записать их технические и паспортные данные;
- 3) на лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы;
- 4) размещение электрооборудования на столе производится в соответствии с принципиальной схемой исследуемого устройства или электронного прибора, при этом необходимо, чтобы соединительные провода имели минимальную длину и по возможности не пересекались;
- 5) для устранения паразитных связей входные и выходные клеммы должны располагаться на противоположных сторонах стенда (стола);
- 6) запрещается заменять или брать оборудование и приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или лаборанта;
- 7) желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали;

8) при сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи;

9) собранная для работы схема обязательно должна быть проверена преподавателем или лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение;

10) после окончания сборки следует тщательно проверить схему и произвести ее опробование, в процессе которого необходимо убедиться в том, что источники питания и измерительные приборы работают нормально, элементы схемы подобраны правильно и схема готова к проведению исследований в соответствии с заданием;

11) необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту;

12) записи показаний приборов следует вносить в заранее составленные таблицы (желательно в черновом варианте);

13) после выполнения работы, до разборки электрической цепи, студент обязан все записи опытных данных предъявить преподавателю для просмотра и согласования, который их подписывает в случае удовлетворительных результатов. В противном случае опыт необходимо повторить;

14) разборка схемы выполняется только с разрешения преподавателя и начинается отключением ее от источника электрической энергии.

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать следующие основные правила техники безопасности:

1) при работе в лаборатории категорически запрещается трогать руками оголенные провода и части приборов, находящихся под напряжением, если оно даже незначительное, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,02 А уже является опасным для жизни;

2) запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места;

3) в лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому;

4) сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в лабораторном практикуме, обеспечивая при этом надежность электрических контактов всех разъемных соединений;

5) при обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить ее от питающей сети и доложить об этом преподавателю или лаборанту;

6) переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключенном напряжении питания;

7) при работе с конденсаторами следует помнить, что на его зажимах, отключенных от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током;

8) при обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя или лаборанта;

9) после выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь и привести в порядок рабочее место;

10) в случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключить напряжение питания. При потере сознания и дыхания необходимо немедленно освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

## **1.2 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ПОРЯДОК ЕГО ОФОРМЛЕНИЯ**

Отчет по текущей лабораторной работе представляется к следующему занятию. Без отчета с черновиком (один на бригаду) о проделанной работе студент к следующей лабораторной работе не допускается. Желательно приступить к его составлению уже в лаборатории после выполнения лабораторной работы. Отчет должен содержать следующие данные:

1) на титульном листе указывается название высшего учебного заведения, номер и наименование лабораторной работы, фамилия и инициалы студента, выполнившего работу, дату выполнения;

2) перечень аппаратуры и приборов с краткой технической характеристикой;

3) краткую теоретическую часть, где даются основные расчетные формулы и пояснения к ним;

4) принципиальную схему исследуемой цепи, устройства; схема должна быть выполнена с применением чертежных инструментов;

5) порядок выполнения работы с таблицами результатов измерения и вычислений. При этом вычисления и анализ необходимо сопровождать кратким текстом, из которого должно быть видно, на основании чего получены те или иные формулы и сделаны выводы;

6) графики, диаграммы и кривые, построенные по экспериментальным данным в масштабе (см. п. 1.3);

7) краткие выводы по работе, являющиеся самостоятельным анализом результатов эксперимента или испытания.

Отчеты выполняются на отдельных листах формата А4.

### 1.3 УКАЗАНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ ГРАФИКОВ

Большинство лабораторных работ по электронике, основанных на исследовании тех или иных зависимостей, снятии характеристик и т.д., нуждается в построении графиков.

Графики должны быть выполнены на миллиметровой или другой бумаге, имеющей масштабную сетку. При выборе масштаба необходимо исходить из того, чтобы графики получались размеров: не менее  $100 \times 100$  мм и не более  $200 \times 200$  мм. В большинстве случаев масштабы для осей  $x$  и  $y$  необходимо брать различными, при этом следует использовать такие, чтобы в линейной единице (в 1 см, 1 мм или в одной клеточке сетки) находилось целое число откладываемых на осях единиц измеряемой величины. Иными словами, чтобы выбранной линейной масштабной единице соответствовали числа  $1 \times 10^n$ ,  $2 \times 10^n$ ,  $4 \times 10^n$  или  $5 \times 10^n$  единиц измеряемой величины, где  $n$  – любое целое положительное или отрицательное число либо нуль.

После того как масштаб для координатных осей выбран, необходимо внимательно нанести имеющиеся в таблице значения экспериментальных или вычисленных точек. Построение необходимо начинать с нулевого значения для оси  $x$  и продолжать в порядке возрастания аргумента.

Полученные на графике ординаты, соответствующие откладываемым значениям аргумента на оси абсцисс, отмечают либо жирными точками, либо треугольничками, либо кружочками и т.п. Учитывая, что координаты экспериментальных точек, по которым строится график, определяются с некоторой погрешностью, не следует проводить линию графика точно через все точки: некоторые из них могут быть расположены с одной стороны графика, другие – с противоположной. Поэтому в отчетах изображают только плавную кривую, устанавливающую графическую зависимость между величинами, отложенными на осях координат. В тех случаях, когда экспериментальная зависимость не выражает определенного закона изменения исследуемых величин, найденные точки соединяют между собой отрезками прямой. При нескольких кривых на одном графике следует обозначать их соответствующими символами и изображать цветными линиями, а рядом с осью ординат необходимо нанести несколько шкал.

Следует обратить внимание, что по осям графика должны быть нанесены только основные единицы выбранного масштаба. Нанесение полученных при эксперименте промежуточных значений не допускается.

## 2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа 1

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕМНИЕВОГО СТАБИЛИТРОНА

##### Цель работы:

- 1) изучить схему для снятия вольт-амперной характеристики (ВАХ) кремниевого стабилитрона;
- 2) снятие ВАХ стабилитрона;
- 3) определение параметров стабилитрона.

**Объект исследования и описание стенда:** объектом исследования является нелинейный элемент электрической цепи – кремниевый стабилитрон типа Д815В или Д814Б, основные параметры которого приведены в табл. 1.1.

Схема стенда для исследования полупроводникового прибора приведена на рис. 1.1.

Элементы схемы и измерительные приборы подбирают в зависимости от типа исследуемого диода VD. В качестве источника питания стенда используется блок постоянного напряжения на 12 В, в который встроен переключатель ПК изменения полярности выходного напряжения.

### 1.1 Параметры исследуемых стабилитронов

Тип стабилизатора	Напряжение стабилизации $U_{ст}$ , В	Ток стабилизации, мА		Дифференциальное сопротивление на рабочем участке $r_{диф}$ , Ом	Максимальная мощность рассеяния $P_{ст\ max}$ , Вт
		$I_{ст\ max}$	$I_{ст\ min}$		
Д815В	8,2	50	950	1,5	8
Д814В	9...10,5	3	50	12	0,34

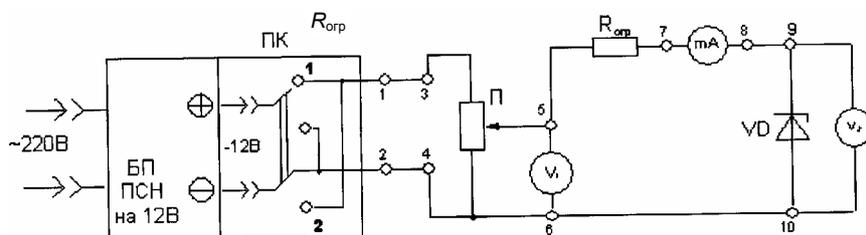


Рис. 1.1 Схема для исследования кремниевого стабилитрона

Выходное напряжение подается на потенциометр П, в качестве которого применяется переменный резистор сопротивлением порядка единиц килоом. Используемый в схеме ограничительный резистор  $R_{огр}$  имеет сопротивление порядка сотен ом. Электроизмерительные приборы, включаемые в схему стенда согласно рис. 1.1, позволяют снимать данные для построения как прямой, так и обратной ветвей ВАХ.

#### Приборы и оборудование

(в расчете на один стенд):

- 1) стенд «кремниевый стабилитрон» – 1;
- 2) блок питания постоянного напряжения на 12 В – 1;
- 3) миллиамперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 1000 мА – 1;
- 4) вольтметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 15 В – 2;
- 5) провода соединительные – 1 комплект.

#### Задание:

- 1) ознакомится с лабораторным стендом «Кремниевый стабилитрон» и используемыми электроизмерительными приборами;
- 2) получить экспериментальные данные и построить ВАХ кремниевого стабилитрона;
- 3) определить основные параметры стабилитрона:  $U_{ст}$ ,  $I_{ст\ min}$ ,  $I_{ст\ max}$ ,  $r_{диф}$  и сравнить их с паспортными данными;
- 4) составить отчет о продельной работе;
- 5) сделать краткие выводы.

#### Подготовка к лабораторной работе:

- 1) повторить теоретический материал по теме «Полупроводниковые приборы и выпрямители»;



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

7 После проведения эксперимента показать данные преподавателю, разобрать электрическую цепь, сдать приборы и навести порядок на рабочем месте.

8 Используя данные опытов (см. табл. 1.2 и 1.3), построить ВАХ кремниевого стабилитрона:  $I(U)$ .

9 Для указанной преподавателем рабочей точки на прямой и обратной ветвях ВАХ стабилитрона определить статическое и дифференциальное сопротивление диода.

10 По ВАХ стабилитрона определить и показать на соответствующих осях основные параметры:  $U_{\text{ст}}, I_{\text{ст max}}$  и  $I_{\text{ст min}}$ .

11 Используя обратную ветвь ВАХ, определить дифференциальное сопротивление на участке стабилизации

$$r_{\text{диф.ст}} = \Delta U_{\text{ст}} / \Delta I_{\text{ст}},$$

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

12 Найденные параметры стабилитрона сравнить с паспортными данными, определив в процентах обнаруженное расхождение.

13 Оформить отчет по выполненной работе и сделать краткие выводы.

### Отчетный материал

- 1 Номер, название и цель лабораторной работы.
- 2 Технические данные электроизмерительных приборов и оборудования.
- 3 Схема стенда.
- 4 Таблицы наблюдений.
- 5 График ВАХ стабилитрона.
- 6 Расчетная часть.
- 7 Вывод о проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1 В чем состоит принцип работы кремниевого стабилитрона? Какой вид пробоя  $p-n$ -перехода используется в этом приборе?

2 Почему в качестве материала для изготовления данного типа диодов используется кремний?

3 Дайте объяснение конструктивного оформления, условного обозначения и маркировки кремниевого стабилитрона.

4 Начертите и объясните схему включения стабилитрона.

5. Изобразите примерный вид ВАХ стабилитрона и объясните физические процессы, определяющие форму характеристик на различных участках.

6 Укажите основные параметры кремниевого стабилитрона, поясните их физический смысл и методы их определения.

7 Как определяют дифференциальное сопротивление стабилитрона в режиме стабилизации?

8 В каких электронных устройствах применяются стабилитроны?

## Лабораторная работа 2

### *Исследование полупроводниковых выпрямителей*

#### Цель работы:

- 1) изучить схемы неуправляемых выпрямителей;
- 2) исследовать работу выпрямителей на активную нагрузку;
- 3) рассчитать основные соотношения схем выпрямления на основании эксперимента и сравнить их с табличными;
- 4) исследовать работу выпрямителей с сглаживающим  $C$ -фильтром;

5) снять данные для построения внешних характеристик без и с *C*-фильтром.

**Объект исследования и описание стенда:** объектом исследования являются неуправляемые выпрямители на полупроводниковых выпрямительных диодах с однофазной одноконтурной и однофазной двухконтурной схемами выпрямления, работающие без и с сглаживающим *C*-фильтром на чисто активную нагрузку.

Исследование выполняют на лабораторном стенде «Полупроводниковые выпрямители» (рис. 2.1), состоящем из понижающего трансформатора *Tr*, блока вентилях *VD*, сглаживающего *C*-фильтра и активной нагрузки *R<sub>d</sub>*.

Трансформатор выполнен на тороидальном сердечнике из ленты электротехнической стали мощностью 15 В · А. Данные обмотки приведены в табл. 2.1.

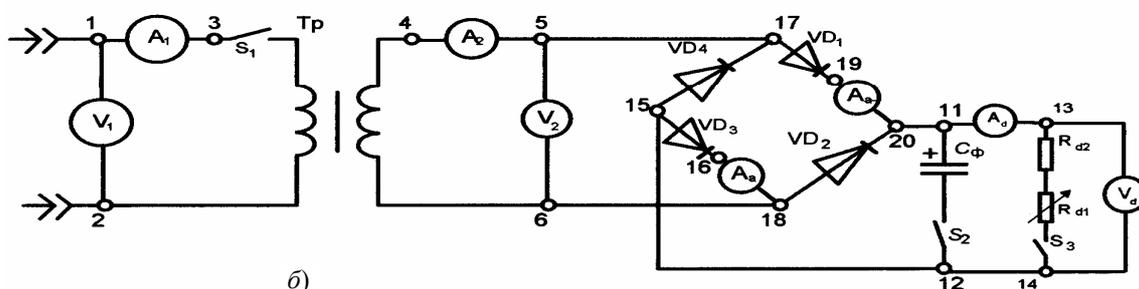
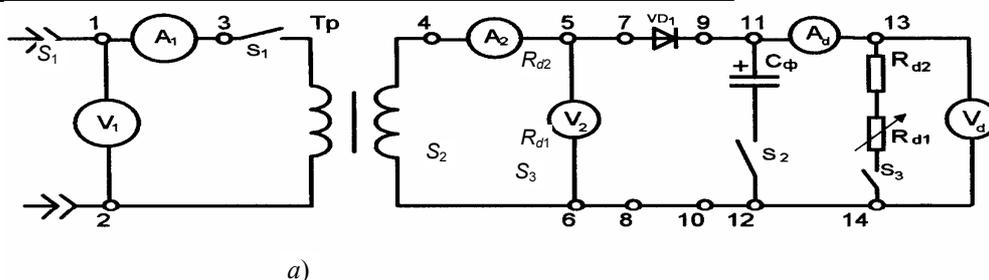
### 2.1 Данные обмотки трансформатора

№ обмотки	Маркировка выводов	Напряжение, В	Число витков	Марка провода	Диаметр провода, мм
I	2-3	40	742	ПЭВ-2	0,25
II	4-6	12	220	ПЭВ-2	0,25

Блок вентилях смонтирован на базе выпрямительного диода Д226Б, основные параметры которого приведены в табл. 2.2.

### 2.2 Основные параметры выпрямительного диода Д226Б

Максимально допустимый (средний) прямой ток, А	Максимально допустимое обратное напряжение, В	Постоянное (среднее) прямое напряжение, В	Обратный ток при максимально допустимом обратном напряжении, мА	Интервал рабочих температур, °С	
				от	до
0,3	400	1,0	0,3	-60	+80



### Рис. 2.1 Схемы выпрямления:

*a* – однофазная однократная; *b* – однофазная двухтактная (мостовая)

В качестве сглаживающего фильтра используется электролитический конденсатор емкостью 50...100 мкФ с номинальным напряжением 12 В серии К50.

Активная нагрузка состоит из двух последовательно включенных постоянного  $R_{d2}$  и переменного  $R_{d1}$  резисторов, при этом сопротивление изменяется в диапазоне 50...500 Ом.

Включение электроизмерительных приборов предусмотрено в первичную и вторичную обмотки силового трансформатора, в фазу вентиля и в цепь со стороны выпрямленного напряжения.

#### Приборы и оборудование

(в расчете на один стенд):

- 1) стенд «Полупроводниковые выпрямители» – 1;
- 2) амперметр электромагнитной системы с пределом измерения 100 мА ( $A_1$ ) – 1;
- 3) амперметр электромагнитной системы с пределом измерения 300 мА ( $A_1, A_2$ ) – 2;
- 4) вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения 50 В ( $V_1$ ) – 1;
- 5) вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения 20 В ( $V_2$ ) – 1;
- 6) амперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 200 мА ( $A_1, A_2$ ) – 2;
- 7) вольтметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 20 В ( $V_d$ ) – 1;
- 8) электронный осциллограф – 1;
- 9) провода соединительные – 1 комплект.

#### Задание:

1) ознакомиться с лабораторным стендом «Полупроводниковые выпрямители» и применяемыми электроизмерительными приборами;

2) исследовать однофазные однократный и двухтактный выпрямители согласно следующим пунктам:

а) получить экспериментальные данные для построения внешних характеристик выпрямителей без и с  $C$ -фильтром;

б) построить внешние характеристики для каждой схемы выпрямления в одной системе координат;

в) по данным эксперимента рассчитать основные соотношения для обозначенных схем выпрямления и сравнить их с табличными данными при работе выпрямителей без  $C$ -фильтра на активную нагрузку (опыт указывает преподаватель);

г) построить временные диаграммы для указанного преподавателем опыта изменений тока и напряжения на вентилях и нагрузке, а также преобразуемого напряжения из  $u_2(t)$  при частоте 50 Гц;

3) зарисовать осциллограммы выпрямленного напряжения  $u_d(t)$ ;

4) составить отчет о проделанной работе;

5) сделать краткие сравнительные выводы об исследуемых схемах напряжения.

#### Подготовка к лабораторной работе:

1) повторить теоретический материал по теме «Полупроводниковые приборы и выпрямители»;

2) повторить правила подключения электроизмерительных приборов и определения их цены деления;

3) подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.

#### Порядок выполнения работы

1 Подготовка стенда к проведению эксперимента:

а) убедиться перед сборкой цепи в обесточенности стенда;

б) подключить первичную обмотку силового трансформатора к источнику переменного напряжения 40 В (ЛАТР) с помощью соединительных проводов. При проведении опытов оно должно быть неизменным. Тумблер  $S_1$  должен находиться в положении «Выкл.»;

в) собрать схему однофазного однотактного выпрямителя (рис. 2.1, а), включив в нее соответствующие электроизмерительные приборы. Тумблеры  $S_2$  и  $S_3$  должны находиться в положении «Выкл.»;

2 Собранный электрическую цепь показать для проверки преподавателю или лаборанту. После разрешения преподавателя провести необходимый эксперимент.

3 Исследовать однофазный однотактный выпрямитель:

а) подать напряжение 40 В на первичную обмотку трансформатора Тр, включив тумблер  $S_1$ . Снять показания приборов в режиме холостого хода и без  $C$ -фильтра ( $S_2$  и  $S_3$  в положении «Выкл.»). Данные занести в табл. 2.3;

б) подключить к выпрямителю активную нагрузку тумблером  $S_3$  при наибольшем сопротивлении (ток  $I_d$  должен быть минимальным). Увеличивая выпрямленный ток, исследовать работу выпрямителя в рабочем режиме. Результаты опытов занести в табл. 2.3, снимая показания приборов через каждые 10...20 мА тока  $I_d$ ;

в) установить на экране осциллографа размер осциллограммы по вертикали 20...25 мм и зарисовать на кальке в масштабе полученную осциллограмму при максимальной нагрузке (опыт 7). Осциллограммы всех последующих опытов должны быть зарисованы в принятом масштабе;

г) после проведения опытов регулятор резистора  $R_{d1}$  установить на максимальное сопротивление, перевести тумблеры  $S_1$  и  $S_3$  в положение «Выкл.», положение регулятора ЛАТРа не изменять.

4 Исследовать однофазный однотактный выпрямитель с  $C$ -фильтром. Для этого тумблер  $S_2$  установить в положение «Вкл.» и повторить опыты согласно п. 3. Данные занести в табл. 2.3; стенд привести в исходное состояние (п. 3, г).

### 2.3 Однофазная однотактная схема выпрямления

Изменяемая величина	Номер опыта													
	без $C$ -фильтра							с $C$ -фильтром						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
$U_1$ , В														
$I_1$ , мА														
$U_2$ , В														
$I_2$ , мА														
$U_d$ , В														
$I_d$ , мА														

5 Исследовать однофазный двухтактный выпрямитель без фильтра; для чего собрать схему (рис. 2.1, б) согласно п. 1. Тумблер  $S_3$  в положение «Вкл.». Повторить эксперимент согласно п. 3, г. Данные занести в табл. 2.4, стенд привести в исходное состояние согласно п. 3, г.

6 Исследовать однофазный двухтактный выпрямитель с  $C$ -фильтром, повторив эксперимент согласно п. 4. Данные занести в табл. 2.4.

### 2.4 ОДНОФАЗНАЯ ДВУХТАКТНАЯ СХЕМА ВЫПРЯМЛЕНИЯ

Изменяемая величина	Номер опыта													
	без $C$ -фильтра							с $C$ -фильтром						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
$U_1$ , В														
$I_1$ , мА														
$U_2$ , В														



а) полная мощность первичной обмотки  $S_1$ , вторичной –  $S_2$ :

$$S_1 = U_1 I_1 (B \cdot A); \quad S_2 = U_2 I_2 (B \cdot A);$$

б) выпрямленная мощность  $P_d$ :

$$P_d = U_d \cdot I_d \text{ (Вт)};$$

в) габаритная мощность трансформатора:

$$S = (1/2) (S_1 + S_2) (B \cdot A);$$

г) коэффициенты использования первичной ( $K_1$ ), вторичной ( $K_2$ ) обмоток и трансформатора в целом ( $K$ ):

$$K_1 = P_d / S_1; \quad K_2 = P_d / S_2; \quad K = P_d / S;$$

д) максимальное обратное напряжение на вентиле для однофазных однотактной и двухтактной схем:

$$U_{b \max} = U_{2m} (B),$$

где  $U_{2m}$  – амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора, равное  $\sqrt{2} U_2$ ;

е) максимальный ток на вентиле:

$$I_{a \max} = I_{2\max} (A),$$

где  $I_{2\max} = 2I_2$  для однофазной однотактной схемы выпрямления;  $I_{2\max} = I_{2m} = \sqrt{2} I_2$  для мостовой схемы ( $I_{2m}$  – амплитудный ток вторичной обмотки трансформатора);

ж) коэффициент формы кривой тока вентиля:

$$K_\Phi = I_a / I_{a-},$$

где  $I_a$  – действующее значение тока через вентиль. В однофазной однотактной схеме выпрямления он измеряется с помощью амперметра  $A_2$ ;

з) максимальное напряжение на нагрузке:

$$U_{d \max} = U_{2m} = \sqrt{2} U_2 (B);$$

и) максимальный ток, проходящий через активное сопротивление  $R_d$ :

$$I_{d \max} = I_{2\max} (A);$$

к) число фаз выпрямителя:  $m = pq$ , где  $p$  – число вторичных обмоток трансформатора;  $q$  – число импульсов тока через одну вторичную обмотку трансформатора за период преобразуемого напряжения  $u_2(t)$ ;

л) коэффициент пульсаций  $K_\Pi$ :

$$K_\Pi = U_{m(1)} / U_d,$$

где  $U_{m(1)}$  – амплитуда основной (первой) гармоники пульсаций выпрямленного напряжения. Для однофазной однотактной схемы выпрямления  $U_{m(1)} = U_{2m}/2$ . Для мостовой схемы  $K_\Pi$  можно вычислить по преобразованной формуле:

$$K_\Pi = 2/(m^2 - 1);$$

м) коэффициент трансформации  $K_{тр}$ :

$$K_{тр} = W_1 / W_2,$$

где  $W_1$  и  $W_2$  – число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора;

н) частоту пульсаций выпрямленного напряжения определить из построенных временных диаграмм (см. п. 9). Частота сети равна 50 Гц.

12 Оформить отчет по выполненной работе и сделать краткие выводы.

### Отчетный материал

- 1 Номер, название и цель лабораторной работы.
- 2 Технические данные электроизмерительных приборов и оборудования.
- 3 Схемы исследуемых выпрямителей.
- 4 Таблицы наблюдений.
- 5 Графики внешних характеристик.
- 6 Временные диаграммы исследуемых выпрямителей.
- 7 Расчетная часть и таблица основных соотношений в схеме выпрямления.
- 8 Вывод о проделанной работе.

### Контрольные вопросы

- 1 Объясните назначение выпрямительных устройств.
- 2 Что представляет собой неуправляемый выпрямитель с полупроводниковыми диодами?
- 3 Как устроен полупроводниковый выпрямительный диод, и каков его принцип действия?
- 4 Укажите, какие требования предъявляются к диодам, используемым в выпрямительных устройствах.
- 5 Объясните отличие однотактной схемы выпрямления от двухтактной.
- 6 Объясните принцип действия однофазной однотактной схемы выпрямления с помощью временных диаграмм.
- 7 Объясните принцип действия мостовой однофазной схемы выпрямления.
- 8 Назовите основные виды сглаживающих фильтров, построенных на реактивных элементах.
- 9 Поясните, в каких случаях целесообразно использовать индуктивные, а в каких емкостные фильтры или их сочетания.
- 10 Каково значение коэффициента пульсаций напряжения или тока исследуемых выпрямительных схем?
- 11 Объясните вид внешних характеристик исследуемых выпрямителей без и с  $C$ -фильтром.

## Лабораторная работа 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

**Цель работы:** ознакомиться с устройством и работой биполярного транзистора. Приобрести навыки экспериментального снятия статических характеристик и графического определения основных параметров транзистора.

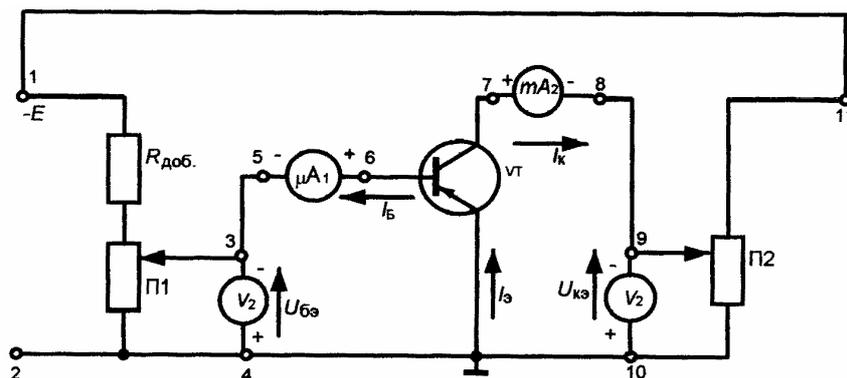
**Объект исследования и описание стенда:** объектом исследования является германиевый биполярный транзистор МП41 структуры  $p-n-p$ , используемый для усилителей и генераторов звуковой частоты. Экспериментальное исследование биполярного транзистора осуществляется на стенде «Биполярный транзистор», выполненном по схеме, представленной на рис. 3.1.

Эта схема предназначена для исследования транзистора в статическом режиме. Во входную цепь предусмотрено включение потенциометра П1 для изменения входного напряжения  $U_{бэ}$ , а в выходную – потенциометра П2 для изменения выходного напряжения  $U_{кэ}$ . Получение экспериментальных данных осуществляется с помощью электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы, включенных во входную и выходную цепи. Стенд подключается к источнику постоянного напряжения  $E$ .

### Приборы и оборудование

(в расчете на один стенд):

- 1) стенд «Биполярный транзистор» – 1 шт.;
- 2) источник постоянного напряжения  $E$  с регулируемым выходным напряжением в пределах от 0 до 12 В – 1 шт.;
- 3) вольтметр  $V_1$  постоянного тока с пределом измерений 1 В – 1 шт.;



**Рис. 3.1** Схема для снятия статических характеристик биполярного транзистора

- 4) вольтметр  $V_2$  постоянного тока с пределом измерений 10 В – 1 шт.;
- 5) микроамперметр  $\mu A_1$  постоянного тока с пределом измерений 300 мкА – 1 шт.;
- 6) миллиамперметр  $mA_2$  постоянного тока с пределом измерений 20 мА – 1 шт.;
- 7) исследуемый транзистор МП41  $p-n-p$  типа – 1 шт.;
- 8) провода соединительные – 1 комплект.

#### Задание:

- 1) снять данные и построить семейство входных статических характеристик транзистора  $I_b = f(U_{бэ})$  при  $U_{кэ} = \text{const}$ ;
- 2) снять данные и построить семейство выходных статических характеристик транзистора  $I_k = f(U_{кэ})$  при  $I_b = \text{const}$ ;
- 3) графическим путем по статическим характеристикам транзистора определить параметры  $h_{11э}$ ,  $h_{12э}$ ,  $h_{21э}$ ,  $h_{22э}$  и сравнить их с табличными;
- 4) по выходным характеристикам построить передаточную характеристику  $I_k = f(I_{кэ})$  при  $U_{кэ} = 4$  В. Оценить влияние тока базы  $I_b$  на ток коллектора  $I_k$ ;
- 5) оформить отчет и сделать краткие выводы о проделанной работе.

#### Подготовка к работе:

- 1) повторить теоретический материал по теме «Полупроводниковые приборы и выпрямители»;
- 2) повторить правила подключения электромагнитных приборов и определения их цены деления;
- 3) подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.

#### Порядок выполнения работы

- 1 Подготовить стенд к проведению эксперимента:
  - а) убедиться в обесточенности стенда;
  - б) подключить потенциометр П1 к источнику постоянного напряжения  $E$  (гнезда 1 – 2), соблюдая полярность; потенциометр П2 – к источнику постоянного напряжения  $E$  с помощью переключки 1 – 11;
  - в) установить потенциометры П1 и П2 в нулевое положение, вращая ручки против часовой стрелки;
  - г) во входную и выходную цепи подключить соответствующие электроизмерительные приборы с соблюдением полярности (см. рис. 3.1).
- 2 Собранную электрическую цепь показать для проверки преподавателю или лаборанту. По разрешению преподавателя приступить к выполнению эксперимента.
- 3 Снять данные для построения входных статических характеристик транзистора:
  - а) потенциометром П2 установить нулевое напряжение между коллектором и эмиттером;

- б) изменяя входной ток – ток базы  $I_B$  с помощью потенциометра П1 от 0 до 200 мкА через 20 мкА, измерить входное напряжение  $U_{бэ}$  для каждого значения тока и записать в табл. 3.1;
- в) повторить п. 3, б, установив напряжение между коллектором и эмиттером 2 В;
- г) повторить п. 3, б, установив напряжение между коллектором и эмиттером 4 В;
- д) повторить п. 3, б, установив напряжение между коллектором и эмиттером 6 В;
- е) после проведения опытов установить потенциометры П1 и П2 в исходное положение «0».

### 3.1 Входные статические характеристики $I_B = f(U_{бэ})$ при $U_{кэ} = \text{const}$

$I_B$ , мкА	$U_{бэ}$ , В			
	$U_{кэ} = 0$ В	$U_{кэ} = 2$ В	$U_{кэ} = 4$ В	$U_{кэ} = 6$ В
0				
40				
80				
...				
200				

- 4 Снять данные для построения выходных статических характеристик транзистора:
- а) с помощью потенциометра П1 установить ток базы 40 мкА;
- б) изменяя потенциометром П2 напряжение между коллектором и эмиттером от 0 до 7 В через 1 В, измерить ток, протекающий в цепи коллектора  $I_k$  – выходной ток. Показания приборов записать в табл. 3.2;
- в) повторить п. 4, б, установив ток базы 80 мкА;
- г) повторить п. 4, б, установив ток базы 120 мкА;
- д) повторить п. 4, б, установив ток базы 160 мкА;
- е) после проведения опытов установить потенциометры П1 и П2 в исходное положение «0».

### 3.2 Выходные статические характеристики $I_k = f(U_{кэ})$ при $I_B = \text{const}$

$U_{кэ}$ , В	$I_B$ , мА			
	$I_B = 40$ мкА	$I_B = 80$ мкА	$I_B = 120$ мкА	$I_B = 160$ мкА
0				
40				
80				
...				
200				

5 Представить данные эксперимента для проверки преподавателю. Разобрать электрическую цепь, навести порядок на рабочем месте.

6 По данным табл. 3.1 построить семейство выходных статических характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ).

7 По данным табл. 3.2 построить семейство выходных статических характеристик транзистора.

8 Используя полученные характеристики транзистора, графически определить его  $h$ -параметры. Рассчитать относительную погрешность графического определения параметров транзистора относительно справочных данных. Результаты занести в табл. 3.3.

9 Построить по выходным статическим характеристикам передаточную характеристику  $I_k = f(I_6)$  при  $U_{кз} = 4$  В.

10 Оформить отчет по выполненной работе и сделать краткие выводы.

### 3.3 Результаты графического определения $h$ -параметров

$h$ -параметры	Транзистор МП41		
	Справочные значения $h$ -параметров	Расчетные значения $h$ -параметров	Относительная погрешность, %
$h_{11э}$ , Ом	775...1525		
$h_{12э}$	0...0,004		
$h_{21э}$	30...60		
$h_{22э}$ , См	$(1102...189) \cdot 10^{-6}$		
$R_{вых}$ , Ом	907...5291		

#### Отчетный материал

- 1 Номер, название и цель лабораторной работы.
- 2 Технические данные электроизмерительных приборов, источника питания  $E$ .
- 3 Схема для снятия статических характеристик транзистора.
- 4 Таблицы наблюдений.
- 5 Графики входных и выходных статических характеристик транзистора.
- 6 Графические построения, показывающие определение  $h$ -параметров.
- 7 Значения  $h$ -параметров.
- 8 График передаточной функции  $I_k = f(I_6)$  при  $U_{кз} = 4$  В.
- 9 Выводы о проделанной работе.

#### Контрольные вопросы

- 1 Назовите типы транзисторов.
- 2 Каковы особенности схемы включения транзистора с ОЭ?
- 3 В чем заключается принцип работы биполярного транзистора в активном режиме?
- 4 Каков механизм влияния коллекторного напряжения на выходную характеристику?
- 5 Почему выходные характеристики с увеличением тока базы смещаются вверх?
- 6 В чем заключается преимущество схемы с ОЭ относительно других схем включения биполярных транзисторов?
- 7 Почему входные характеристики транзистора, включенного по схеме с ОЭ, смещаются вправо с увеличением модуля коллекторного напряжения?
- 8 Что такое статический и дифференциальный коэффициенты передачи тока базы?
- 9 Приведите систему  $h$ -параметров транзистора. Почему эта система имеет широкое применение на практике?

## Лабораторная работа 4

Исследование усилителя напряжения

на биполярном транзисторе

**Цель работы:** исследовать влияния параметров элементов схемы усилительного каскада, выполненного по схеме с ОЭ, на его основные показатели и характеристики.

**Объект исследования и описание стенда:** объектом исследования является однокаскадный усилитель напряжения, выполненный по схеме с общим эмиттером и представленный на рис. 4.1. Усилительным элементом в нем служит низкочастотный биполярный транзистор структуры  $p-n-p$ , германиевый типа МП16, МП41 и другие.

Источником постоянного напряжения стенда является стабилизированный блок питания, дающий фиксированные напряжения в диапазоне 3...12 В. Подключения его к схеме производятся через клеммы 15 – 16 с помощью ключа  $S_{20}$ .

Входной усиливаемый сигнал (напряжение  $U_1$ ) на стенд подается от звукового генератора  $G$  через клеммы 1 – 2, к которым одновременно подключается и входной вольтметр.

Для наблюдения формы кривых напряжений на входе и выходе усилителя к стенду через клеммы 4 – 5 с помощью ключа  $S_{19}$  подключается электронный осциллограф ОЭ.

Нагрузкой усилителя является набор резисторов  $R_{н1}$ ,  $R_{н2}$ ,  $R_{н3}$  (ключи  $S_{15} – S_{17}$ ), с которых снимается выходное усиленное напряжение  $U_2$ . Оно измеряется с помощью выходного вольтметра, подключаемого к цепи через клеммы 13 и 14. Конденсатор  $C_0$  имитирует монтажную, выходную емкость транзистора и входную емкости следующего каскада (ключ  $S_{18}$ ).

Схема резисторного усилителя выполнена с автоматическим смещением и содержит три резистора  $R_{д1}$ ,  $R_{д2}$ ,  $R_3$ . За счет ООС, создаваемой сопротивлением  $R_3$  в цепи эмиттера, достигается требуемая температурная стабилизация точки покоя (или рабочей точки). Конденсатор  $C_3$  используется для устранения обратной связи по переменному току (ключ  $S_{11}$ ).

Нагрузочные резисторы в цепи коллектора  $R_{к1}$ ,  $R_{к2}$  (ключи  $S_5$  и  $S_6$ ) позволяют изменять наклон нагрузочной линии по постоянному току, т.е. менять положение рабочей точки. Перемещение рабочей точки на каждой из нагрузочных линий осуществляется изменением сопротивлений  $R_{д1}$  и  $R_{д2}$  (ключи  $S_1 – S_4$ ,  $S_7 – S_{10}$ ).

Изменение емкости разделительного конденсатора  $C_{р2}$  (ключи  $S_{12} – S_{14}$ ) воздействует на вид амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в области низких частот.  $C_{р1}$  исключает воздействие источника  $E_k$  на звуковой генератор,  $C_{БЛ}$  шунтирует источник питания  $E_k$  по переменному току.

Включение амперметров предусмотрено между клеммами 1 и 3 (входного) и 11 и 12 (выходного).

### Приборы и оборудование

(в расчете на один стенд):

- |  |             |
|--|-------------|
| 1) стенд «Усилитель напряжения» –  | 1 шт.;      |
| 2) источник постоянного напряжения $E_k$<br>с регулируемым напряжением до 12 В – | 1 шт.;      |
| 3) комбинированный электроизмерительный прибор –                                 | 4 шт.;      |
| 4) электронный осциллограф –   | 1 шт.;      |
| 5) звуковой генератор –  | 1 шт.;      |
| 6) провода соединительные –  | 1 комплект. |

### Задание:

- 1) исследовать влияние параметров элементов схемы усилительного каскада, выполненного на биполярном транзисторе по схеме с ОЭ, на АЧХ;
- 2) исследовать влияние параметров элементов схемы усилителя на амплитудную характеристику (АХ);
- 3) вычертить эквивалентную схему замещения по переменной составляющей исследуемого усилителя в областях низких (НЧ), средних (СЧ) и высоких частот (ВЧ);
- 4) произвести расчет основных показателей усилителя для СЧ;
- 5) составить отчет и сделать краткие выводы.

### Подготовка к работе:

- 1) повторить теоретический материал по теме «Усилители электрических сигналов»;
- 2) повторить правила подключения электроизмерительных приборов и определения их цены деления;

3) выписать  $h$ -параметры биполярного транзистора МП41 из справочника и из лабораторной работы «Исследование биполярного транзистора»;

4) подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.

### Порядок выполнения работы

1 Подготовить стенд к проведению эксперимента:

а) убедиться в обесточенности стенда;

б) омметром измерить сопротивления резисторов схемы и занести их в табл. 4.1;

в) подключить источник постоянного напряжения  $E_k$  к стенду (клеммы 15 – 16);

г) на вход стенда подключить звуковой генератор  $G$  (клеммы 1 – 2) и милливольтметр;

д) в выходную цепь включить вольтметр. Обратит внимание на то, чтобы выводы «земля» всех подключенных к усилителю приборов были соединены между собой и подключены к выводу «земля» стенда;

е) к клеммам 4 – 5 подключить осциллограф;

ж) записать технические данные электроизмерительных приборов.

#### 4.1 Сопротивления резисторов схемы

$R_3$ , Ом	$R_{д1}$ , кОм				$R_{д2}$ , кОм				$R_k$ , кОм		$R_H$ , кОм		
	$R_{д1}^1$	$R_{д11}^2$	$R_{д12}^2$	$R_{д13}^2$	$R_{д21}^1$	$R_{д22}^1$	$R_{д23}^1$	$R_{д2}^2$	$R_k$	$R_k$	$R_H$	$R_H$	$R_H$
									1	2	1	2	3

2 Собранный электрическую цепь показать для проверки преподавателю или лаборанту. По разрешению преподавателя провести необходимые эксперименты.

3 Подать напряжение питания на звуковой генератор, усилительный каскад и осциллограф. Установить на звуковом генераторе частоту  $f = 1$  кГц. Изменяя значение входного напряжения (ручка потенциометра на звуковом генераторе) от нуля до значения, отвечающего отклонению формы кривой выходного напряжения от входного, наблюдаемой на экране осциллографа, записать предельно допустимое значение входного напряжения  $U_{вх. доп.}$ .

Вариант(-ы) эксперимента указывает преподаватель из табл. 4.3, а также напряжение источника  $E_k$ .

Результаты занести в табл. 4.2.

#### 4.2 Допустимые значения входного напряжения

Вариант(-ы) эксперимента	Режим по постоянному току			Режим по переменному току	
	$U_{бэп}$ , В	$U_{кэп}$ , В	$E_k$ , В	$U_{вх. доп.}$ , В	$U_{вх. м}$ , В

4 Скопировать на кальку совмещенные осциллограммы входного  $u_{вх}(t)$  и выходного  $u_{вых}(t)$  напряжений при  $U_{вх. м} < U_{вх. м доп}$  и  $U_{вх. м} > U_{вх. м доп}$ .

5 После заполнения табл. 4.2 установить на звуковом генераторе частоту  $f = 30$  Гц.

6 Произвести исследование влияния параметров элементов усилителя на АЧХ. Для этого:

а) переключателями на стенде установить параметры элементов схемы усилителя по указанному варианту;

б) установить и поддерживать на входе усилителя неизменное действующее значение напряжения  $U_{вх} = 0,5U_{вх. доп.}$ ;

в) изменяя частоту звукового генератора от 50 до 150 кГц, измерить действующие значения  $U_{\text{вых}}$ .  
 Результаты измерений записать в табл. 4.4.

### 4.3 Варианты эксперимента

Но- мер вари- анта	$R_{д1}$	$R_{д2}$ 1	$R_{к1}$	$C_{п2}$	$R_{н1}$	Но- мер вари- анта	$R_{д1}$	$R_{д2}$ 2	$R_{к1}$	$C_{п2}$	$R_{н1}$
1	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н1}$	23	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н3}$
2	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н2}$	24	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$
3	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$	25	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н1}$
4	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	26	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н2}$
5	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н1}$	27	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$
6	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н2}$	28	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$
7	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н3}$	29	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н1}$
8	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	30	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н2}$
9	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н1}$	31	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н3}$
10	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н2}$	32	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$
11	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н3}$	33	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н1}$
12	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 1	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	34	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н2}$
13	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н1}$	35	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н3}$
14	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н2}$	36	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 3	$R_{к1}$	$C_{п23}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$
15	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$	37	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{п21}$	$R_{н1}$
16	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	38	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{п21}$	$R_{н2}$
17	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н1}$	39	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$
18	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{п22}$	$R_{н2}$	40	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{п21}$	$R_{н3}$ ++

											$C_0$
19	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$	41	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н1}$
20	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	42	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н2}$
21	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{p23}$	$R_{н1}$	43	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$
22	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^1$ 2	$R_{к1}$	$C_{p23}$	$R_{н2}$	44	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$

Продолжение табл. 4.3

Но- мер вари- анта	$R_{д1}$	$R_{д2}$	$R_{к}$	$C_{p2}$	$R_{н}$	Но- мер вари- анта	$R_{д1}$	$R_{д2}$	$R_{к}$	$C_{p2}$	$R_{н}$
45	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н1}$	59	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н3}$
46	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н2}$	60	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$
47	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н3}$	61	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н1}$
48	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	62	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н2}$
49	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н1}$	63	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н3}$
50	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н2}$	64	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$
51	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н3}$	65	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н1}$
52	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p21}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	66	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н2}$
53	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н1}$	67	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$
54	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н2}$	68	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$
55	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$	69	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н1}$
56	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p22}$	$R_{н3}$ ++ $C_0$	70	$R_{д1}^1$	$R_{д2}^2$	$R_{к2}$	$C_{p23}$	$R_{н2}$



8 Представить данные эксперимента для проверки преподавателю. Разобрать электрическую цепь, навести порядок на рабочем месте.

9 Произвести обработку результатов опытов:

а) по АЧХ определить граничные частоты  $f_H$  и  $f_B$  полосы пропускания усилителя, на которых коэффициент усиления уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз;

б) по АХ  $U_{\text{вых}} (U_{\text{вх}})$  определить графически коэффициент усиления по напряжению  $K$  на линейном участке характеристики и сравнить его с коэффициентом усиления, полученным по АЧХ;

в) по АХ определить динамический диапазон работы усилителя;

г) вычертить эквивалентные схемы замещения усилителя по переменной составляющей исследуемого усилителя для НЧ, СЧ, ВЧ;

д) используя схему замещения, произвести расчет показателей для СЧ усилителя ( $R_{\text{вх}}$ ,  $R_{\text{вых}}$ ,  $K$ ,  $K_i$ ,  $K_p$ ) для варианта, указанного преподавателем. Сравнить вычисленное значение коэффициента усиления по напряжению  $K$  со значением, определенным в п. 9, б и рассчитать относительную погрешность;

е) построить нагрузочные линии по переменному и постоянному току с указанием рассмотренных точек покоя.

10 При расчете основных показателей усилителя напряжения для средних частот (СЧ) использовать следующие соотношения:

а) входное сопротивление каскада при  $R_{\text{дз}} \gg h_{11з}$ :

$$R_{\text{вх}} \approx h_{11з} \text{ (Ом);}$$

б) выходное сопротивление с учетом неравенства  $R_{\text{к}} \ll 1/h_{22э}$ :

$$R_{\text{вых}} \approx R_{\text{к}} \text{ (Ом);}$$

в) коэффициент усиления по напряжению:

$$K \approx h_{21э} R_{\text{кн}} / h_{11з},$$

где  $R_{\text{кн}} = R_{\text{к}} R_{\text{н}} / (R_{\text{к}} + R_{\text{н}})$ ;

г) коэффициент усиления по току:

$$K_i \approx h_{21э};$$

д) коэффициент усиления по мощности:

$$K_p \approx K K_i.$$

11 Оформить отчет по выполненной работе и сделать краткие выводы.

### Отчетный материал

- 1 Номер, название и цель лабораторной работы.
- 2 Технические данные электроизмерительных приборов, звукового генератора, осциллографа.
- 3 Схема усилительного каскада.
- 4 Таблица наблюдений.
- 5 Графики АЧХ, АХ с указанием необходимых графических построений для определения полосы пропускания и коэффициента усиления по напряжению, а также  $K(R_{\text{н}})$ ,  $K(C_{\text{р2}})$ .
- 6 Схемы замещения усилителя по переменной составляющей для НЧ, СЧ, ВЧ.
- 7 Аналитический расчет показателей усилителя для СЧ.
- 8 Краткие выводы о проделанной работе с обоснованием влияния параметров элементов схемы на работу усилителя.

### Контрольные вопросы

- 1 Вычертить типовую схему усилительного каскада с общим эмиттером.

- 2 Поясните, как влияет изменение сопротивления  $R_k$  на коэффициент усиления усилительного каскада с общим эмиттером.
- 3 Поясните назначение делителя напряжения  $R_{д1} - R_{д2}$  в схеме усилителя с ОЭ.
- 4 Укажите назначение цепи  $R_3 - C_3$  в усилителе напряжения с ОЭ.
- 5 Поясните влияние на полосу пропускания усилителя разделительного конденсатора  $C_{р2}$ .
- 6 Что называют АЧХ и что она характеризует?
- 7 Что называют АХ и какие показатели усилителя с помощью нее можно определить?

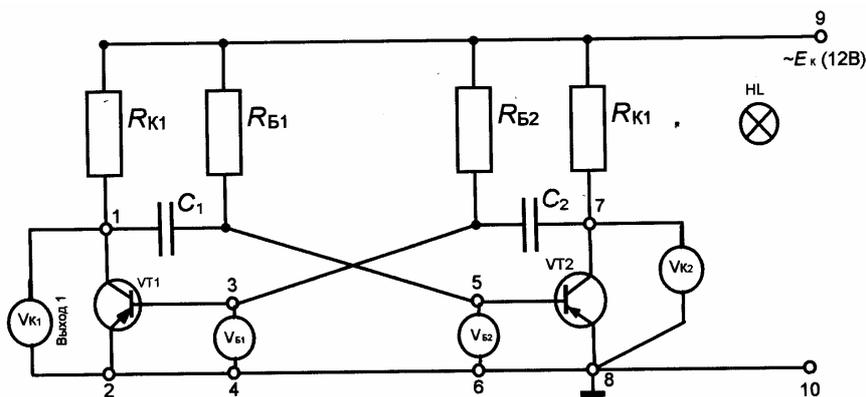
## Лабораторная работа 5

### Исследование симметричного мультивибратора

#### Цель работы:

- 1) изучить схему симметричного мультивибратора;
- 2) исследовать изменения напряжений на коллекторе и базе каждого из транзисторов схемы за период генерируемых импульсов;
- 3) построить временные диаграммы генерируемых импульсов;
- 4) определить параметры последовательности импульсов.

**Объект исследования и описание объекта:** объектом исследования является симметричный мультивибратор, представляющий собой релаксационный генератор прямоугольных импульсов со 100 % положительной обратной связью (ПОС).



**Рис. 5.1** Схема стенда «Симметричный мультивибратор»

Схема стенда «Симметричный мультивибратор» показана на рис. 5.1.

Она представляет собой двухкаскадный усилитель с базово-коллекторными связями, осуществляющими ПОС. Усилительными элементами в схеме служат биполярные транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  структуры  $p-n-p$ . Цепи ПОС содержат конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$ . Вместе с токоограничивающими резисторами  $R_{б1}$  и  $R_{б2}$ , присоединенными к отрицательному полюсу источника питания ( $-E_k$ ), конденсаторы выполняют функции времязадающих цепей, определяющих длительность импульсов и пауз. Коллекторные сопротивления  $R_{к1}$  и  $R_{к2}$  определяют необходимую амплитуду выходных импульсов и сокращают длительность переходных процессов при переключении мультивибратора из одного квазиустойчивого положения в другое.

В качестве источника питания стенда используется блок питания постоянного напряжения на 12 В. Индикатором генерируемых импульсов служит лампа накаливания  $HL$ , встроенная в схему автогенератора.

Контролирование длительности импульсов и пауз осуществляется с помощью ручных часов. Вольтметры  $V_{к1}$ ,  $V_{б1}$ ,  $V_{к2}$ ,  $V_{б2}$ , включенные в схему, позволяют одновременно проследить за характером изменений базовых и коллекторных напряжений, а также производить измерения напряжений выходных импульсов.

## Приборы и оборудование

(в расчете на один стенд):

- 1) стенд «Симметричный мультивибратор» – 1;
- 2) блок питания постоянного напряжения на 12 В – 1;
- 3) вольтметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения 15 В – 1;
- 4) электронный осциллограф – 1;
- 5) провода соединительные – 1 комплект.

### Задание:

- 1) ознакомиться с лабораторным стендом «Симметричный мультивибратор» и используемыми электроизмерительными приборами;
- 2) получить экспериментальные данные для расчета параметров чередования импульсов ( $t_{и}$ ,  $t_{п}$ ,  $t$ ,  $f$ ,  $q$ ), генерируемых мультивибратором;
- 3) получить экспериментальные данные для построения временных диаграмм генерируемых импульсов на обоих выходах автогенератора [ $u_{к1}(t)$  и  $u_{к2}(t)$ ] и изменений напряжений на базах транзисторов [ $u_{б1}(t)$  и  $u_{б2}(t)$ ];
- 4) по известным значениям сопротивлений  $R_{б1} = R_{б2} = R_{б}$  и емкостей  $C_1 = C_2 = C$  рассчитать период  $T$ , длительности импульсов ( $t_{и}$ ) и пауз ( $t_{п}$ ) и сравнить их с экспериментальными данными;
- 5) составить отчет о проделанной работе;
- 6) сделать краткие выводы.

### Подготовка к лабораторной работе:

- 1) повторить теоретический материал по теме «Импульсные электронные устройства»;
- 2) повторить правила подключения электроизмерительных приборов и определения их цены деления;
- 3) подготовить на отдельных листах рабочий материал к данной лабораторной работе.

## Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться со схемой рабочего стенда, уяснить назначение приборов и элементов схемы. Записать основные технические данные электроизмерительных приборов.

2 Подготовить стенд к проведению эксперимента для получения данных по расчету параметров чередования импульсов. Для этого, не включая блок питания в сеть на напряжение 220 В, собрать схему согласно рис. 5.1. При этом включение вольтметров  $V_{б1}$ ,  $V_{к2}$ ,  $V_{б1}$  не обязательно.

3 Собранную электрическую цепь представить для проверки преподавателю или лаборанту. По разрешению преподавателя приступить к проведению эксперимента.

4. Подключить блок питания к сетевому напряжению 220 В и измерить напряжение  $E_{к}$ , подаваемое на стенд, отдельным вольтметром (на рис. 5.1 он не показан). Оно должно быть не выше 12 В и соответствовать указанной полярности.

5 Измерить период последовательности импульсов. Для этого по секундомеру ручных часов определить промежуток времени  $t$ , за который произойдет  $N = 20$  вспышек индикаторной лампы  $HL$ . Измерения повторить не менее 5 раз. Рассчитать период по формуле  $T = t / N$  (с). Определить среднее значение периода  $T$  чередования импульсов. Результаты занести в табл. 5.1.

6 Аналогично измерить не менее 5 раз длительность импульса  $t_{и}$ . Длительность паузы  $t_{п}$  определить по формуле:  $t_{п} = T - t_{и}$  (с). Скважность  $q$  рассчитать согласно выражению:  $q = T / t_{и}$ . Результаты измерений внести в табл. 5.1.

7 Приступить к одновременному измерению значений выходных напряжений  $u_{к1}(t)$  и  $u_{к2}(t)$ , а также базовых напряжений  $u_{б1}(t)$  и  $u_{б2}(t)$ . Для этого, отключив питание стенда, подключить к схеме еще вольтметры

$V_{б1}$ ,  $V_{к2}$ ,  $V_{б2}$ , соблюдая полярность включения приборов. Подать напряжение на стенд. Произвести синхронные измерения следующих величин:  $U_{б1}$ ,  $U_{б2}$ ,  $U_{к1}$ ,  $U_{к2}$ . Их необходимо производить в начале импульса на выходе 1 ( $HL$  подключена именно к нему), в конце и во время паузы между импульсами. Подобным образом проконтролировать не менее трех периодов генерируемых импульсов. Результаты измерений занести в табл. 5.2.

8 Подключить к выходу 1 вместо  $V_{к1}$  осциллограф и под руководством преподавателя зарисовать осциллограмму выходного напряжения  $u_{к1}(t)$ . Аналогично снять осциллограмму  $u_{б1}(t)$ , подключив осциллограф к базовому электроду транзистора VT1.

9 После проведения эксперимента и согласования данных с преподавателем, разобрать электрическую цепь, сдать приборы и навести порядок на рабочем месте.

10 Выписать номинальные параметры резисторов  $R_{б1}$  и  $R_{б2}$  и конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ . Произвести аналитический расчет следующих величин:  $T$ ,  $t_{и}$ ,  $t_{п}$  и  $q$ .

## 5.1 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ

Количество измерений	$E_{к}$ , В	$n$	$t$ , с	$T$ , с	$t_{и}$ , с	$t_{п}$ , с	$q$
1							
2							
3							
4							
5							
Среднее значение							

### 5.2 Результаты измерений для построения временных диаграмм генерируемых импульсов

Измеряемые величины	Номера периодов												Среднее значение за период		
	1			2			3								
	Начало импульса	Конец импульса	Пауза												
$U_{к1}$ , В															
$U_{б1}$ , В															
$U_{к2}$ , В															
$U_{б2}$ , В															

Для симметричного мультивибратора использовать следующие формулы:

- период генерируемых импульсов  $T = 1,4R_6 C$  (с);
- длительность импульса  $t_{и}$  и паузы  $t_{п}$

$$t_{и} = t_{п} = T / 2 \text{ (с);}$$

- скважность  $q = T / t_{и}$ .

11 Оформить отчет по выполненной работе и сделать краткие выводы.

## Отчетный материал

- 1 Номер, название и цель лабораторной работы.
- 2 Технические данные электроизмерительных приборов и оборудования.
- 3 Схема стенда.
- 4 Таблица наблюдений.
- 5 Временные диаграммы и осциллограммы.
- 6 Расчетная часть.
- 7 Выводы о проделанной работе.

## Контрольные вопросы

- 1 Основные параметры импульса и последовательности импульсов.
- 2 Дайте понятие генератора импульсов.
- 3 Назовите основные типы генераторов импульсов.
- 4 Объясните принцип работы мультивибратора на транзисторах.
- 5 Укажите назначение элементов электрической цепи мультивибратора в данной лабораторной работе.
- 6 Объясните выбор величин емкостей  $C_1$ ,  $C_2$  и сопротивлений  $R_6$ ,  $R_k$ .
- 7 Почему колебания, возникающие в мультивибраторе, имеют форму прямоугольных импульсов?
- 8 Какими параметрами схемы определяется частота генерируемых импульсов?
- 9 Какие условия необходимы для возникновения генерации в мультивибраторе?
- 10 Какой вид обратной связи имеет место в этой лабораторной работе и почему?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Морозов А.Г. Электротехника, электроника и импульсная техника. М.: Высшая школа, 1987.
- 2 Рекус Г.Г., Чесноков В.Н. Лабораторные работы по электротехнике и основам электроники. М.: Высшая школа, 1989.
- 3 Электротехника: Лабораторные работы / А.А. Иванов. Киев: Вища школа, 1982.
- 4 Патокин Е.И. Электротехника и основы электроники: Лабораторные работы. Л.: ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1988.

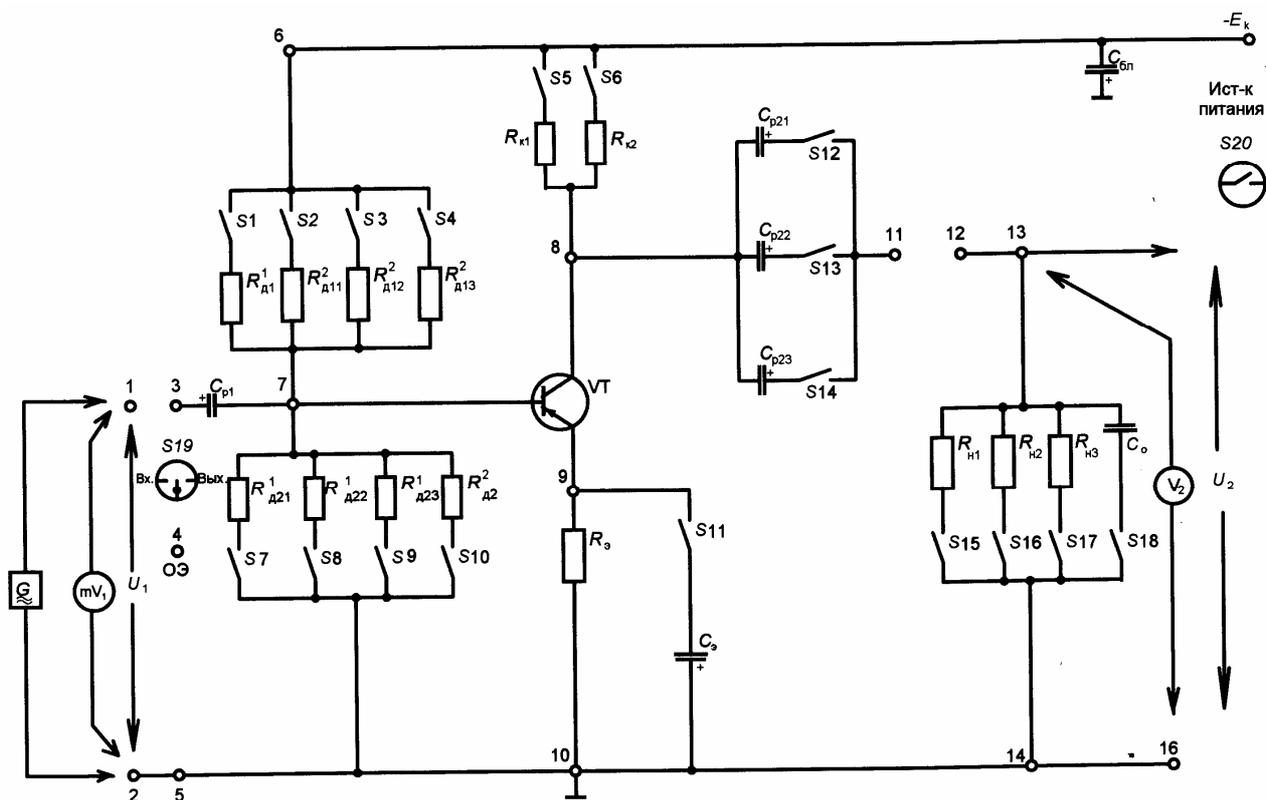


Рис. 4.1 Схема стенда «Усилитель напряжения»