

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по учебной дисциплине «Электронная техника»

для специальности 15.02.07 Автоматизация технологических
процессов и производств (по отраслям)
(базовая подготовка)

Челябинск, 2020 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ по учебной дисциплине «Электронная техника» предназначены для обучающихся по специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям) базовой подготовки.

Лабораторные и практические работы являются важным элементом учебной дисциплины. В процессе выполнения лабораторных работ обучающиеся систематизируют и закрепляют полученные теоретические знания, развивают интеллектуальные и профессиональные умения, формируют элементы компетенций будущих специалистов. На практических занятиях студенты овладевают первоначальными профессиональными умениями и навыками, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются в процессе курсового проектирования, учебной и производственной (по профилю специальности и преддипломной) практики. Наряду с формированием умений и навыков в процессе практических занятий обобщаются, систематизируются, углубляются и конкретизируются теоретические знания, вырабатывается способность и готовность использовать теоретические знания на практике, формируются элементы общих и профессиональных компетенций.

Методические рекомендации предназначены для организации выполнения лабораторных и практических работ по учебной дисциплине «Электронная техника».

Программой учебной дисциплины «Электронная техника» предусмотрено выполнение 19 лабораторных и 4 практических работ, направленных на

- формирование элементов следующих компетенций:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК 2.1 Выполнять работы по монтажу систем автоматического управления с учетом специфики технологического процесса.

ПК 2.2. Проводить ремонт технических средств и систем автоматического управления.

ПК 2.3. Выполнять работы по наладке систем автоматического управления.

формирование умений:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники;

- производить подбор элементов электронной аппаратуры по заданным параметрам;

обобщение и систематизацию знаний:

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;

- принципы включения электронных приборов и построения электронных схем;

- типовые узлы и устройства электронной техники.

Описание каждой лабораторной работы содержит:

- номер работы;

- наименование работы;

- цель;

- элементы компетенций,

- перечень оборудования и приборов;

- электрическую принципиальную схему;

- теоретическое изложение необходимого материала;

- варианты заданий;

- порядок выполнения и оформления работы;

- контрольные вопросы.

Отчеты студентов по лабораторным работам должны содержать

- номер работы;

- наименование;

- цель;

- перечень оборудования и приборов;

- электрическую принципиальную схему ;

- таблицы опытных и расчетных данных;

- расчеты;

- ответы на контрольные вопросы;

- вывод.

Описание каждой практической работы содержит:

- номер работы;
- наименование;
- цель;
- элементы компетенций,
- электрическую принципиальную схему (по необходимости);
- теоретическое изложение необходимого материала;
- варианты заданий;
- порядок выполнения и оформления работы;
- контрольные вопросы.

Отчеты студентов по практическим работам должны содержать:

- номер работы;
- наименование;
- цель;
- электрическую принципиальную схему (по необходимости);
- таблицы расчетных данных;
- расчеты;
- ответы на контрольные вопросы;
- вывод.

Титульный отчетный лист оформляется в соответствии с приложением А.

Для получения дополнительной, более подробной информации по основным вопросам учебной дисциплины в конце методических рекомендаций приведен перечень информационных источников.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ л/р	Раздел и тема	Наименование работ	Часы
	Раздел 1 Электронные приборы		
1	Тема 1.2 Электровакуумные приборы	Исследование лампового триода	2
2	Тема 1.3 Полупроводниковые диоды	Исследование полупроводникового диода	2
3	Тема 1.4 Транзисторы	Исследование биполярного транзистора.	2
4		Исследование полевого транзистора.	2
	Раздел 2 Источники питания и преобразователи		
5	Тема 2.2 Сглаживающие фильтры	Исследование однофазного неуправляемого выпрямителя со сглаживающими фильтрами.	2
6	Тема 2.3 Управляемые выпрямители	Исследование однофазного управляемого выпрямителя.	4
	Раздел 3 Усилители и генераторы		
7	Тема 3.2 Усилители напряжения	Исследование однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе, схема с общим эмиттером.	2
8		Исследование однокаскадного усилителя на полевом транзисторе, схема с общим истоком.	2
9		Исследование эмиттерного повторителя.	2
10	Тема 3.4 Усилители постоянного тока (УПТ)	Исследование инвертирующего операционного усилителя.	2
11		Исследование неинвертирующего операционного усилителя.	2
12		Исследование сумматора.	2
13		Исследование компаратора.	2
	Раздел 4 Электронные ключи		
14	Тема 4.3 Транзисторные ключи	Исследование ключевого каскада на транзисторе с общим эмиттером.	2
	Раздел 5 Формирователи импульсов		
15	Тема 5.2 Дифференцирующие цепи	Исследование дифференциатора на ИМС ОУ.	2
16	Тема 5.3 Интегрирующие цепи	Исследование интегратора на ИМС ОУ.	2
	Раздел 6 Генераторы релаксационных колебаний		
17	Тема 6.1 Транзисторные мультивибраторы	Исследование автоколебательного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями и регулированием частоты.	2
18		Исследование ждущего мультивибратора с эмиттерной связью.	2
19	Тема 6.2 Мультивибраторы на микросхемах	Исследование мультивибраторов на ИМС.	2
		Всего:	40

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

№ работы	Раздел и тема	Наименование работы	Часы
	Раздел 2 Источники питания и преобразователи		
1	Тема 2.1 Неуправляемые выпрямители	Расчет однофазного выпрямителя с активным сопротивлением нагрузки.	1
	Раздел 4 Электронные ключи		
2	Тема 4.1 Сигналы импульсных и цифровых устройств	Расчет параметров реального прямоугольного импульса.	1
	Раздел 6 Генераторы релаксационных колебаний		
3	Тема 6.1 Транзисторные мультивибраторы	Расчет транзисторного мультивибратора в автоколебательном режиме	2
		Всего:	4

Лабораторная работа №1

Испытание вакуумного триода

Цель работы: Освоение метода снятия статических характеристик триода и определение по ним статических параметров.

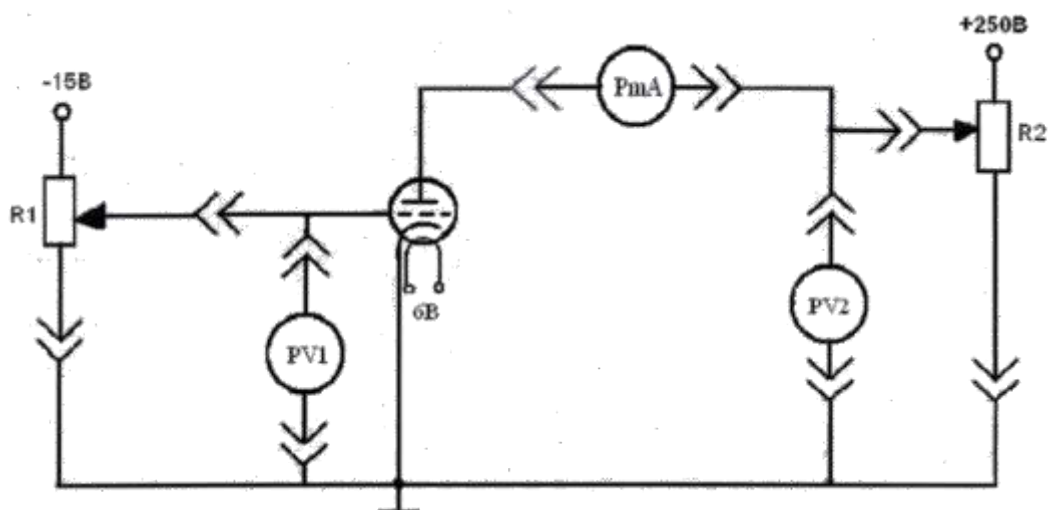
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники;

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Устройство и принцип действия триода.

Трёхэлектродный электровакуумный прибор, имеющий катод, анод и управляющий электрод, называют *триодом*. Управляющий электрод-сетка представляет собой металлическую спираль или решётку, окружающую катод.

Потенциал общей точки схемы, которой является катод, принимают равным нулю и все потенциалы отсчитываются от этой точки.

В триоде катодный ток, равный сумме анодного и сеточного токов

$$I_k = I_a + I_c,$$

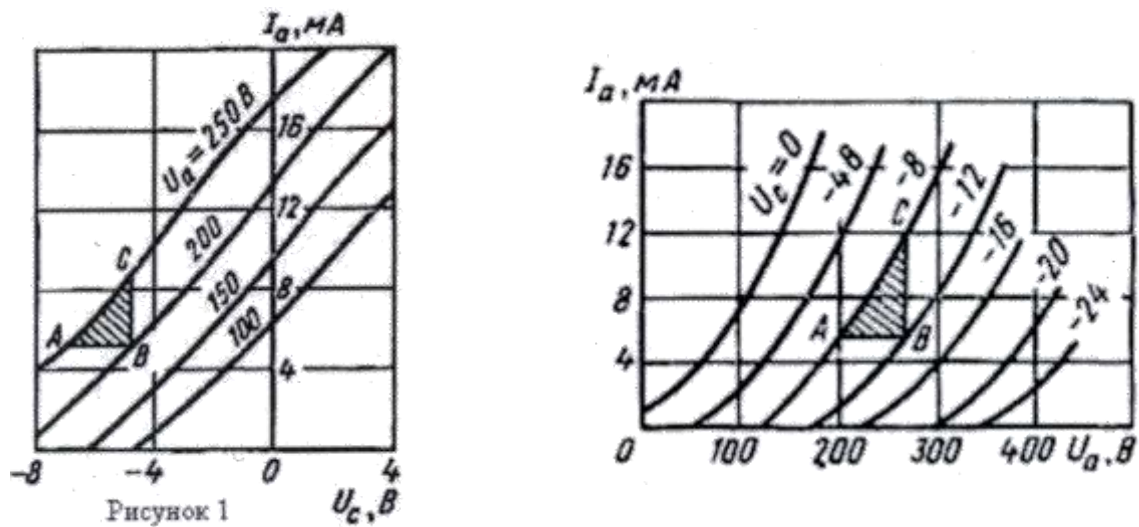
определяется результирующим электрическим полем, создаваемым анодным и сеточным напряжениями. Анод всегда имеет положительный относительно катода потенциал, а потенциал сетки может быть и положительным, и отрицательным. При отрицательном потенциале сетки её поле тормозит электроны, вылетающие из катода, уменьшая количество электронов, достигающих анода. Влияние сеточного напряжения на объёмный заряд в промежутке катод-сетка значительно сильнее, чем влияние анодного напряжения. Это даёт возможность эффективно управлять анодным током путём небольших изменений напряжения на сетке.

Управление током в триоде происходит практически без инерционно даже на высокой частоте. Это объясняется тем, что электроны пролетают промежуток катод-анод за весьма малое время и изменение анодного тока происходит практически без задержки вслед за изменением напряжения на сетке.

Статические характеристики триода.

Функциональную зависимость анодного тока от напряжения на сетке, снятую при постоянном анодном напряжении: $I_a = f_l(U_c)$ $U_a = \text{const}$, называют *статической анодно-сеточной характеристикой триода*. совокупность таких характеристик, снятых при различных значениях анодного напряжения, составляет *семейство статических анодно-сеточных характеристик* (рисунок 1а). Ток в цепи анода исчезает при определённом отрицательном напряжении

на сетке, которое называют *запирающим напряжением*. Значение запирающего напряжения зависит от анодного напряжения.



а)

б)

а) - семейство статических анодно – сеточных характеристик;

б) - семейство статических анодных характеристик

Рисунок 1 – Статические характеристики лампового триода:

Функциональную зависимость анодного тока от напряжения на аноде, снятую при постоянном сеточном напряжении: $I_a = f_I(U_c)$ $U_a = \text{const}$, называют *статической анодной характеристикой триода*. Ряд таких характеристик, снятых при различных напряжениях на сетке, составляет *семейство анодных характеристик* (рисунок 1б).

Параметры триода.

1) *Внутреннее сопротивление переменному току R_i (кОм)*- отношение приращения анодного напряжения к приращению анодного тока при постоянном сеточном напряжении:

$$R_i = \left(\frac{\partial U_a}{\partial I_a} \right)_{U_c = \text{const}}$$

Внутреннее сопротивление характеризует влияние анодного напряжения на анодный ток. Для триодов его значение обычно составляет единицы и десятки килоОм.

2) Коэффициент усиления μ -отношение приращения анодного напряжения к приращению сеточного напряжения при постоянном анодном токе:

$$\mu = \left(\frac{-\partial U_a}{\partial U_c} \right)_{I_a = \text{const}}$$

Коэффициент усиления характеризует степень влияния сеточного и анодного напряжений на анодный ток, показывая, во сколько раз сильнее влияет на анодный ток изменение напряжения на сетке по сравнению с изменением напряжения на аноде. Коэффициент усиления всегда больше единицы и для триодов находится в пределах $4 \div 100$.

3) Крутизна характеристики S в миллиметрах на вольт- отношение приращения анодного тока к приращению напряжения на сетке при постоянном анодном напряжении:

$$S = \left(\frac{\partial I_a}{\partial U_c} \right)_{U_a = \text{const}}$$

Крутизна характеристики количественно определяет управляющее действие сетки. В паспортах триодов и справочниках приводят значение крутизны характеристики, определённых триодов крутизна составляет $1 \div 10$ мА/В, а для генераторных триодов- $10 \div 200$ мА/В.

4) Проницаемость триода D -отношение приращения сеточного напряжения к приращению анодного напряжения при постоянном катодном токе:

$$D = \left(-\frac{\partial U_c}{\partial U_a} \right)_{I_k = \text{const}}$$

Проницаемость - безразмерная величина. Она характеризует степень ослабления электростатического влияния анодного напряжения на объёмный заряд у катода. Знак минус указывает на то, что для поддержания постоянного катодного тока I_k изменения напряжения на сетке и аноде должны быть противоположны.

5) Три дифференциальных параметра связаны между собой *внутренним уравнением триода*: $\frac{SR_i}{\mu} = 1$

В соответствии с Международной системой единиц (СИ) величины S и R ; должны выражаться соответственно в амперах на вольт и Омах. Однако на практике их чаще выражают в миллиамперах на вольт и килоОмах.

3 Варианты заданий даны в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты заданий.

Вариант		1	2	3	4	5
Анодная характеристика	U_{c1}, B	0	0	0	0	0
	U_{c2}, B	0,5	1	1,5	2	3
Анодно-сеточная характеристика	U_{a1}, B	120	130	140	150	100
	U_{a1}, B	170	180	190	200	150

4 Приборы и оборудование.

- 1) Вакуумный триод типа 6С2С.
- 2) Вольтметр магнитоэлектрической системы с $U_{ном} = 15 B$.
- 3) Вольтметр магнитоэлектрической системы с $U_{ном} = 250 B$.
- 4) Миллиамперметр магнитоэлектрической системы с $I_{ном} = 50 mA$.
- 5) Выпрямитель с напряжениями 15 В и 250 В.
- 6) Потенциометры: R_1 и R_2 .

5 Порядок выполнения работы.

- 1) Собрать схему.
- 2) Снять семейство анодных характеристик триода: $I_a = f(U_a)$ при $U_c = const$. Результаты измерений записать в таблицу 2.

Таблица 2- Анодные характеристики.

$U_c = B$		$U_c = B$	
U_a, B	I_a, mA	U_a, B	I_a, mA

- 3) Снять семейство анодно-сеточных характеристик триода $I_a = f(U_c)$ при $U_a = \text{const.}$

При снятии анодно-сеточных характеристик устанавливают заданное по варианту (по таблице 1) анодное напряжение. Затем устанавливают на сетке такое напряжение, при котором анодный ток равен нулю и, уменьшая отрицательное напряжение на сетке, определяют анодный ток. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3 – Анодно-сеточные характеристики.

$U_c = \dots B$		$U_c = \dots B$	
U_a, B	I_a, mA	U_a, B	I_a, mA

- 4) Построить семейство анодных и анодно-сеточных характеристик и графически определить по ним параметры триода:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = \frac{U'_a - U''_a}{U'' - U'_c}; \quad R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{U_{a2} - U_{a1}}{I_{a2} - I_{a1}}; \quad S = \frac{\Delta I_a}{\Delta I_c} = \frac{I''_a - I'_a}{U''_c - U'_c}$$

6 Контрольные вопросы:

- 1) Определить крутизну триода S , если известно, что в области линейных участков характеристик $\mu = 38$, а $R_i = 6,8 \text{ кОм}$.
- 2) Каковы параметры при режиме насыщения триодов?
- 3) Что называют напряжением запираения? Величины напряжений запираения при проведении исследований?

Лабораторная работа №2. Исследование полупроводникового диода.

Цель работы: Освоение методов снятия вольт – амперной характеристики диода и алгоритма расчета сопротивлений при прямом и обратном включении.

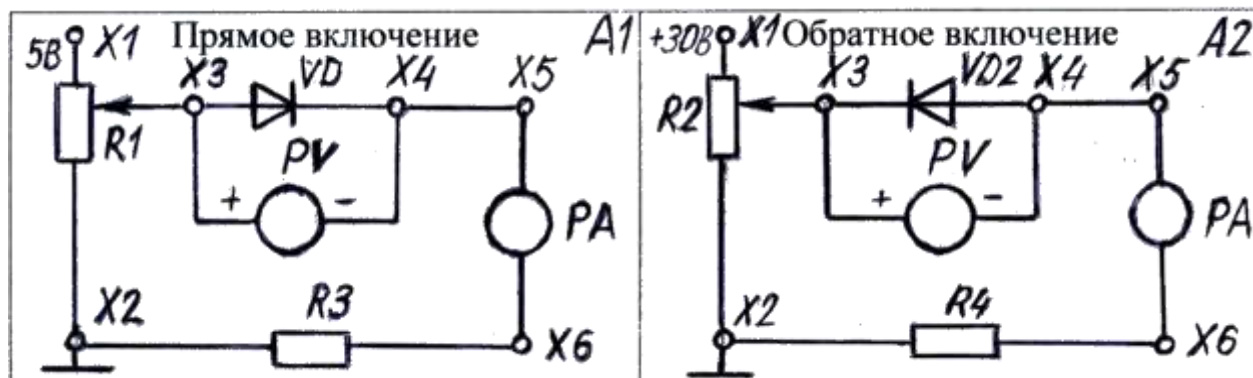
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники;

1 Схемы опытов



2 Теоретическое обоснование.

Полупроводниковым диодом называется прибор с двумя выводами, содержащий один электронно-дырочный переход.

Работа полупроводникового выпрямительного диода основана на свойстве *p-n*-перехода пропускать ток только в одном направлении. Основной характеристикой полупроводниковых диодов является вольт - амперная

характеристика (ВАХ)- зависимость тока через диод от приложенного напряжения.

Прямое включение диода.

Приложенное напряжение называется **прямым**, если плюс источника подключается к полупроводнику ***p*** – типа (аноду), а минус к полупроводнику ***n*** – типа (катоде). При прямом включении ток потечет только тогда, когда напряжение прямого включения $U_{пр}$ превысит потенциальный барьер. Высота потенциального барьера зависит от типа полупроводника: 0,3 В для германиевых и 0,6 В для кремниевых полупроводников.

Обратное включение диода.

Приложенное напряжение называется **обратным**, если минус источника подключается к полупроводнику ***p*** – типа (аноду), а плюс к полупроводнику ***n*** – типа (катоде). При обратном включении потенциальный барьер для основных носителей зарядов увеличивается, поэтому они не могут его преодолеть. Практически обратный ток обусловлен дрейфом неосновных носителей зарядов (током дрейфа), поэтому является незначительным.

Вольт -амперная характеристика.

Для сравнения на рисунке 2.1 приведены типовые ВАХ германиевого и кремниевого диодов. Кремниевые диоды имеют во много раз меньшие обратные токи при одинаковом напряжении, чем германиевые. Допустимое обратное напряжение кремниевых диодов может достигать 1000-1500 В, в то время как у германиевых оно лежит в пределах 100-400 В. Кремниевые диоды могут работать при температурах от -60 до +150°С, а германиевые - от -60 до +85°С. Это обусловлено тем, что при температурах выше 85° С резко увеличивается собственная проводимость германия, приводящая к недопустимому возрастанию обратного тока. Вместе с тем прямое падение напряжения у кремниевых диодов больше, чем у германиевых. Это объясняется, что у германиевых диодов можно получить величину сопротивления в прямом направлении в 1,5-2 раза меньшую, чем у кремниевых, при одинаковом токе нагрузки. Поэтому мощность, рассеиваемая внутри

германиевого диода, оказывается во столько же раз меньше. В связи с этим в выпрямительных устройствах низких напряжений выгоднее применять германиевые диоды.

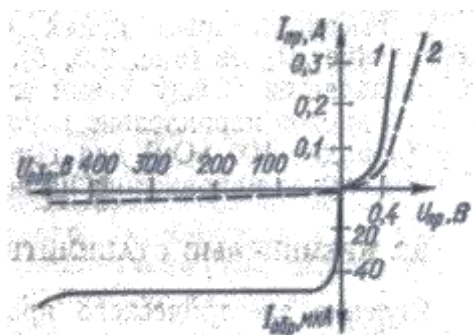


Рисунок 2.1 - Сравнительные ВАХ характеристики германиевого (1) и кремниевого (2) диодов.

3 Приборы и оборудование.

- 1) Лабораторный стенд «Промэлектроника», блок №1, схемы А1 и А2;
- 2) Прибор электроизмерительный многофункциональный Ц4317.3.
- 3) Соединительные провода.

4 Порядок выполнения работы.

Опыт 1 Снятие прямой ветви ВАХ диода.

- 1) Включить стенд в сеть, поставив сетевой тумблер в положение ВКЛ.
- 2) На одном из источников питания лабораторного стенда (V1 или V2) с помощью ручки выставить напряжение 5В, измерив его мультиметром на пределе измерений 20В.
- 3) Выключить сетевой тумблер.
- 4) Ручку потенциометра R1 повернуть против часовой стрелки до упора.
- 5) Подать питание на исследуемую схему: «+» на X1, «-» на X2.
- 6) Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерения согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность.
- 7) После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер.
- 8) Поворачивая ручку потенциометра R1 по часовой стрелке, устанавливать прямое напряжение диода в пределах, указанных в таблице 1, фиксируя значения тока. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1- Прямая ветвь ВАХ диода.

U _{пр} , В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
I _{пр} , мА						

9) Выключить сетевой тумблер.

Опыт 2. Снятие обратной ветви ВАХ диода.

1) На двух источниках питания постоянного напряжения лабораторного стенда «Промэлектроника» V1 и V2 выставить напряжения питания 15 В, повернув ручки по часовой стрелке до упора. Соединить источники последовательно, установив напряжение блока 30 В.

2) Подать напряжение питания на исследуемую схему: «+» от источника V2 на клемму X1, «-» от источника V1 на клемму X2.

3) Ручку потенциометра R2 повернуть против часовой стрелки до упора.

4) Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерений согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность.

5) После проверки преподавателем включить стенд в сеть.

6) Поворачивая ручку потенциометра R2 по часовой стрелке, изменять обратное напряжение на диоде в пределах, указанных в таблице 2. Значения обратного тока необходимо фиксировать каждые 5 В, результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2- Обратная ветвь ВАХ диода.

U _{обр} , В	0	5	10	15	20	25
I _{обр} , мкА						

7) Выключить сетевой тумблер.

8) По данным таблиц 1 и 2 построить ВАХ диода.

9) Выполнить расчеты сопротивлений R_{пр} и R_{обр}.

5 Контрольные вопросы.

1) Величины потенциальных барьеров германиевого и кремниевого и полупроводниковых диодов?

2) Как выполнить прямое включение диода?

3) Как выполнить обратное включение диода?

4) Почему при обратном включении диода ток через него намного меньше, чем при прямом включении?

Лабораторная работа №3 Исследование биполярного транзистора

Цель работы: Освоение методов снятия характеристик и алгоритма расчета параметров транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

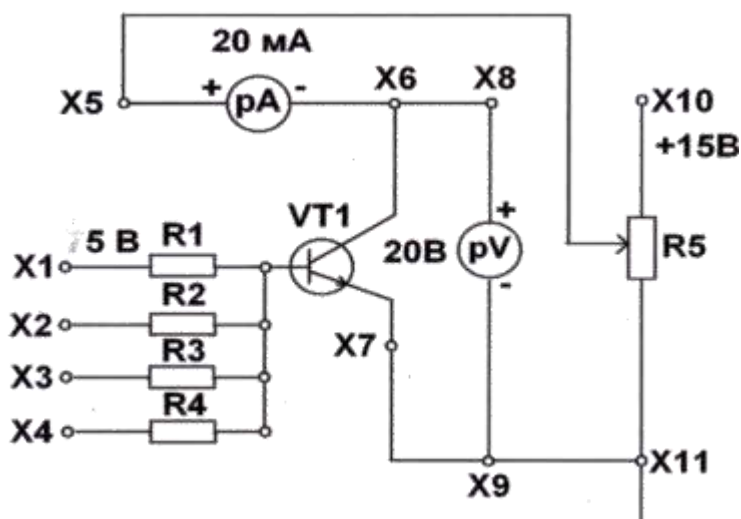
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта



2. Теоретическое обоснование.

Транзистор (полупроводниковый триод) представляет собой электронный прибор, основанный на взаимодействии двух расположенных

близко друг от друга (на расстоянии нескольких микрон) электронно-дырочных p - n -переходов.

Основным элементом транзистора является кристалл германия или кремния, в котором с помощью соответствующих примесей созданы три области (слоя) с различными типами проводимости. В германиевом транзисторе обычно два крайних слоя обладают дырочной проводимостью (p -области), а внутренний слой имеет электронную проводимость (n -область), в соответствии, с чем такой транзистор называется полупроводниковым триодом типа p - n - p . Условное обозначение транзистора типа **p - n - p** показано на рисунке 1. Кремниевые транзисторы чаще изготавливают в виде полупроводниковых триодов типа **n - p - n** , принципиальная схема и условное изображение которых показаны на рисунке 2. Принцип действия полупроводниковых транзисторов независимо от их типа один и тот же. Различие состоит лишь в выборе полярности присоединяемых к ним источников питания. Средняя область (слой) транзистора независимо от типа является его базой Б или основанием, а крайние — эмиттером Э и коллектором К.

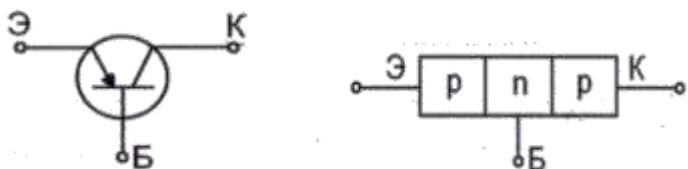


Рисунок 1 - Условное обозначение и структура транзистора типа p - n - p

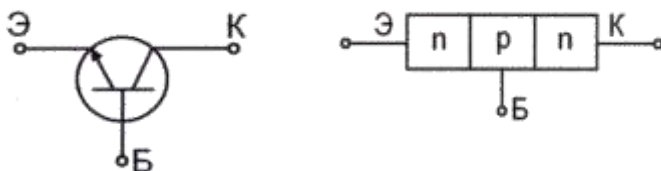


Рисунок 2 - Условное обозначение и структура транзистора типа n - p - n .

На границах раздела областей образуются два p - n -перехода, характеризующихся динамическим равновесием. Чтобы вывести p - n -переход из состояния равновесия, к нему прикладывается внешнее напряжение.

Принцип действия транзистора

Схемы включения источников питания транзисторов типов p - n - p и n - p - n представлены на рисунке 3.

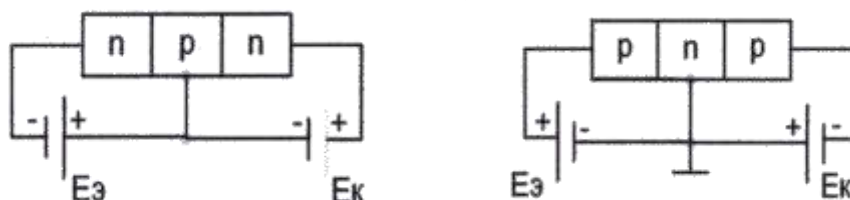


Рисунок 3 - Схемы нормального включения транзисторов.

Нормальное включение - транзисторы включаются в схему таким образом, чтобы к переходу эмиттер — база внешнее напряжение было приложено в прямом направлении, а к p - n -переходу коллектор — база — в обратном направлении.

При воздействии внешних напряжений потенциальный барьер между эмиттером и базой понижается, а между базой и коллектором — увеличивается. В результате основные носители заряда эмиттерного слоя переходят в область базы, а затем в область коллектора, создавая ток коллекторного перехода.

Одновременно с этим происходит и переход основных носителей заряда базы через эмиттерный переход. Однако в область базы при изготовлении транзистора вводят значительно меньшее количество атомов примеси, чем в эмиттер, поэтому ток эмиттерного перехода создается главным образом переходом основных носителей эмиттерного слоя. Если время прохождения основных носителей заряда эмиттера через область базы много меньше времени их независимого существования, то основная часть этих носителей доходит до коллекторного перехода и попадает в область коллектора. При этом лишь небольшая часть указанных носителей рекомбинирует в области базы с ее основными носителями. Таким образом, значение тока в цепи коллекторного

(закрытого) перехода зависит от значения тока в цепи эмиттерного (открытого) перехода. Связь между токами коллекторной и эмиттерной цепей характеризуется коэффициентом передачи тока

$$\alpha = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E} \quad \text{при } U_K = \text{const}$$

где $\Delta I_K, \Delta I_E$ - приращения коллекторного и эмиттерного токов.

Для плоскостных транзисторов коэффициент передачи тока $\alpha = 0,92—0,99$. Это означает, что в области базы рекомбинируют 1—8% основных носителей заряда эмиттера. Число рекомбинирующих в области базы основных носителей заряда эмиттера определяет ток базы I_B .

В соответствии с этими $I_B = I_E - I_K$

Схемы включения биполярных транзисторов в электрическую цепь.

Схемы классифицируются по названию электрода, общего для входной и выходной цепей.

Схема с общей базой. Схему усилительной ячейки на транзисторе с общей базой (рисунок - 4) можно применять на более высоких частотах, однако она имеет коэффициент усиления по току меньше единицы и малое входное сопротивление.

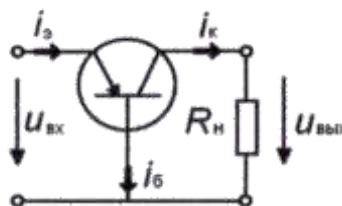


Рисунок 4 – Схема с общей базой.

Схема с общим коллектором. Схема включения транзистора с общим коллектором (рисунок 5) имеет большое входное и малое выходное сопротивления. Поэтому ее часто применяют в многокаскадных усилителях в качестве согласующего каскада и выходного каскада при работе на низкоомную нагрузку.

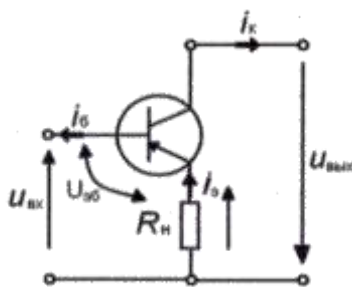


Рисунок 5 – Схема с общим коллектором.

Схема с общим эмиттером. Наиболее часто используют схему с общим эмиттером (рисунок 6), с помощью, которой возможно осуществлять усиление по току, напряжению и мощности наибольшее по сравнению с другими схемами включения транзистора. Эта схема характеризуется незначительным входным сопротивлением.

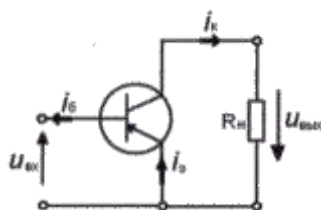
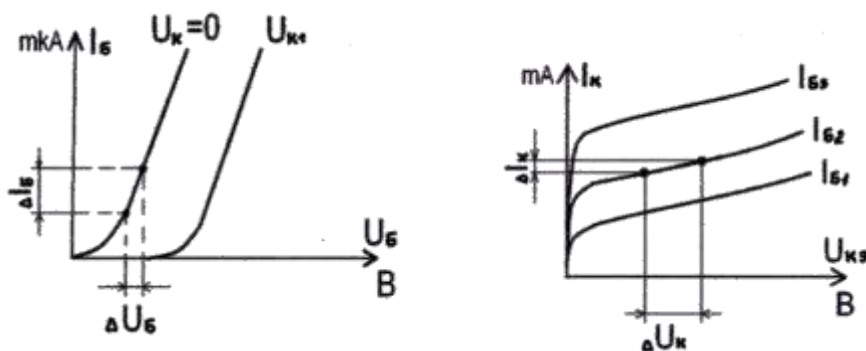


Рисунок 6 – Схема с общим эмиттером.

Статические характеристики транзистора.

Статические характеристики транзистора отражают зависимость между токами и напряжениями на его входе и выходе. Для схемы с общим эмиттером статической входной характеристикой является график зависимости тока базы I_B от напряжения $U_{БЭ}$ при постоянном напряжении на коллекторе $U_{КЭ}$: $I_B = f(U_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = const$.

Статические выходные характеристики транзистора представляют собой зависимость тока коллектора от напряжения между коллектором и эмиттером при постоянном токе базы: $I_K = f(U_{КЭ})$ при $I_B = const$. Графики статических характеристик представлены на рисунке 7.



а) входная характеристика; б) выходная характеристика;

Рисунок 7 – Статические характеристики транзистора
для схемы с общим эмиттером

3 Приборы и оборудование.

- 1) Лабораторный стенд «Промэлектроника», блок №2, схема А;
- 2) Прибор электроизмерительный многофункциональный Ц4317.3.
- 3) Соединительные провода.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Включит стенд в сеть, поставив сетевой тумблер в положение ВКЛ.
- 2) На источнике питания V1 с помощью ручки выставить напряжение 5В, измерив его мультиметром на пределе измерений 20В.
- 3) На источнике питания V2 с помощью ручки выставить напряжение 15В, измерив его мультиметром на пределе измерений 20В.
- 4) Выключить сетевой тумблер .
- 5) Соединить источник питания V1 со входом транзистора согласно мнемосхемы.
- 6) Соединить источник питания V 2 с выходными клеммами транзистора согласно мнемосхемы.
- 7) Ручку потенциометра R5 повернуть против часовой стрелки до упора.
- 8) Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерения согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность.
- 9) После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер.

10) Поворачивая ручку потенциометра R5 по часовой стрелке, изменять напряжение коллектора в пределах, указанных в таблице 1, фиксируя значения тока. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1- Семейство выходных характеристик.

$U_{кэ}, В$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	5
$I_k, мА$ при R_1									
$I_k, мА$ при R_2									
$I_k, мА$ при R_3									
$I_k, мА$ при R_4									

11) Выключить сетевой тумблер.

12) По данным таблицы 1 построить выходные характеристики транзистора $I_k = f(U_{кэ})$ при $I_b = const$ на миллиметровой бумаге. Рассчитать параметры (β , $R_{вых}$).

13) Сделать вывод.

5 Контрольные вопросы

- 1) Причины широкого применения схемы с ОЭ?
- 2) Параметр, остающийся неизменным при снятии статических выходных характеристик транзистора;
- 3) Коэффициент $a = 0,8$, вычислите β транзистора?
- 4) Какие изменения нужно произвести в схеме для исследования транзистора p-n-p типа?

Лабораторная работа №4

Исследование полевого транзистора.

Цель работы: Освоение методов снятия характеристик и алгоритма расчета параметров полевого транзистора в схеме с общим истоком.

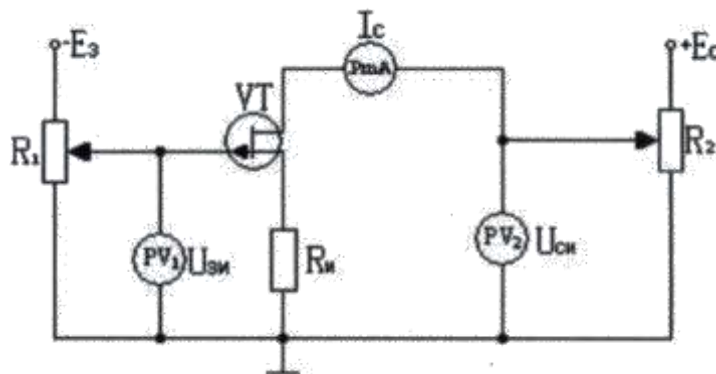
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта



2 Теоретическое обоснование.

Конструкция полевых транзисторов.

Полевым транзистором называется трехэлектродный полупроводниковый прибор, в котором ток создают основные носители заряда под действием продольного электрического поля, а управление величиной тока осуществляется поперечным электрическим полем, создаваемым напряжением, приложенным к управляющему электроду.

Все полевые транзисторы по своим конструктивным особенностям можно разделить на две группы:

- полевые транзисторы с ***p-n***-переходами (канальные, или униполярные, транзисторы);
- полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП- или МОП-транзисторы).

Полевой транзистор с *p-n*-переходом.

На рисунке 1 приведены схематическое изображение конструкции полевого транзистора с *p-n*-переходами и схема его включения. Тонкий слой

полупроводника типа **n** (или **p**), ограниченный с двух сторон электронно-дырочными переходами, называется *каналом*.

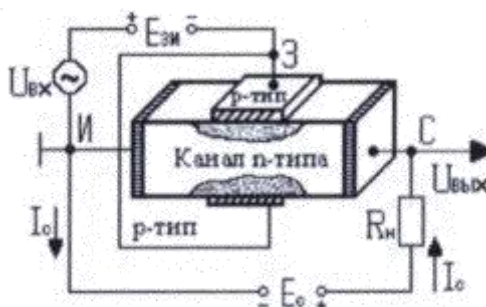


Рисунок 1- Конструкция и схема включения транзистора с p-n переходом.

Принцип действия транзисторов с каналом типа n или p аналогичен; различие заключается лишь в полярности напряжений источников питания. Включение канала в электрическую цепь обеспечивает с помощью двух омических электродов, один из которых (И) называется *истоком*, а второй (С) - *стоком*. Вывод, подсоединенный к областям **p**-типа, является управляющим электродом и называется *затвором* (З). Выводы И, С и З соответствуют (в порядке перечисления) катоду, аноду и сетке электровакуумного триода или эмиттеру, коллектору и базе обычного биполярного транзистора.

Величина тока в канале зависит от напряжения U_c , приложенного между стоком и истоком, нагрузочного сопротивления и сопротивления полупроводниковой пластинки между стоком и истоком. При U_c и $R_n = \text{const}$ ток в канале I_c (ток стока) зависит только от эффективной площади поперечного сечения канала. Источник $E_{зи}$ создает отрицательное напряжение на затворе, что приводит к увеличению толщины **p-n**-перехода и уменьшению токопроводящего сечения канала. С уменьшением сечения канала увеличивается сопротивление между истоком и стоком и снижается величина тока I_c . Уменьшение напряжения на затворе вызывает уменьшение сопротивления канала и возрастание тока I_c . Подключив последовательно с $E_{зи}$ источник усиленного переменного напряжения $U_{вх}$, можно изменять ток

через канал по закону изменения входного напряжения. Ток стока, проходя через сопротивление нагрузки R_H , создается на нем падение напряжения, изменяющееся по закону $U_{ВХ}$. При соответствующем подборе величина R_H можно добиться повышения уровня выходного напряжения по сравнению с напряжением на входе, т.е. усилить сигнал.

Характеристики транзисторов.

На рисунке 2 показан примерный вид семейства **выходных (стоковых)** ВАХ полевого транзистора с *p-n*-переходом $I_c = f(U_c)$ при $U_{зи} = \text{const}$. Пусть напряжение между затвором и истоком $U_{зи} = 0$. При увеличении положительного напряжения U_c на стоке ток I_c будет нарастать. Вначале зависимость $I_c = f(U_c)$ будет почти линейной (участок ОА). Однако с возрастанием I_c увеличивается падение напряжения на канале, повышается

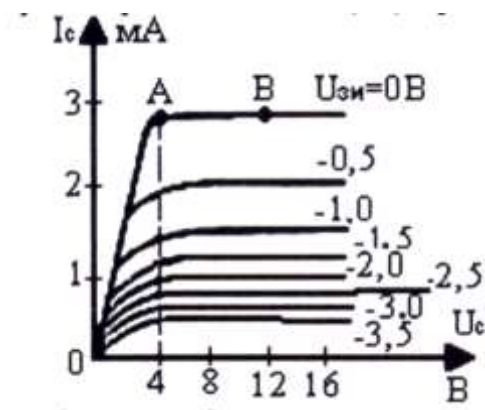


Рисунок 2 – Выходная (стоковая) характеристика полевого транзистора.

обратное смещение для *p-n*-переходов (особенно вблизи стока), что ведет к сужению сечения токопроводящего канала и замедляет рост тока I_c . В конечном итоге у стокового конца пластинки канал сужается настолько, что дальнейшее повышение напряжения уже не приводит к росту I_c (участок АВ). Этот режим получил название *режима насыщения*, а напряжение U_c , при котором происходит насыщение, называется *напряжением насыщения* ($U_{c \text{ нас}}$). Если снять зависимость тока I_c от напряжения U_c для ряда напряжений на затворе ($U_{зи} < 0$), то получим семейство выходных характеристик полевого транзистора, которые напоминают ВАХ вакуумного пентода. Зависимость $I_c = f(U_{зУ})$ при

$U_c = \text{const}$ получила название **стоко – затворной характеристики** (рисунок 3).

По внешнему виду напоминает анодно-сеточную характеристику лампы.

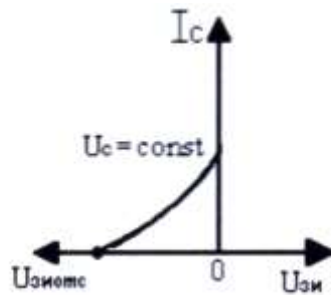


Рисунок 3 – Стоко-затворная характеристика полевого транзистора с p-n переходом.

Основные параметры полевых транзисторов:

- Крутизна стоко- затворной характеристики
-

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \quad \text{при } U_c = \text{const} \quad (1)$$

Этот параметр характеризует эффективность управляющего действия затвора.

- Напряжение отсечки $U_{зиотс}$ - обратное напряжение на затворе, при котором токопроводящий канал окажется перекрытым.
- Входное сопротивление $R_{вх}$ между затвором и истоком (определяется при максимально допустимом напряжении между этими электродами)

$$R_{вх} = \frac{\Delta U_{зи \max}}{\Delta I_c} \quad (2)$$

- Выходное сопротивление $R_{вых}$ (определяется в режиме насыщения)

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c} \quad \text{при } U_{зи} = \text{const}. \quad (3)$$

Выходное сопротивление характеризуется тангенсом угла наклона выходных характеристик. В рабочей области этот угол близок к нулю и, следовательно, выходное сопротивление оказывается достаточно большим (сотни килоОм).

3 Приборы и оборудование.

- 1) Лабораторный стенд «Промэлектроника», блок №2, схема А 2;
- 2) Прибор электроизмерительный многофункциональный Ц4317.3.
- 3) Соединительные провода.

4 Порядок выполнения работы.

Опыт 1. Снятие стоко –затворной характеристики.

- 1) Включит стенд в сеть, поставив сетевой тумблер в положение ВКЛ.
- 2) На источнике питания V1 с помощью ручки выставить напряжение 5В, измерив его мультиметром на пределе измерений 20В.
- 3) На источнике питания V2 с помощью ручки выставить напряжение 15В, измерив его мультиметром на пределе измерений 20В.
- 4) Выключить сетевой тумблер .
- 5) Соединить источник питания V1 со входом транзистора согласно мнемосхемы.
- 6) Соединить источник питания V 2 с выходными клеммами транзистора согласно мнемосхемы.
- 7) Ручки потенциометров R7 и R8 повернуть против часовой стрелки до упора.
- 8) Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерения согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность.
- 9) После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер.
- 10) Поворачивая ручку потенциометра R7 по часовой стрелке, установить такое отрицательное напряжение $U_{зи\ отс}$, чтобы ток стока был равен нулю $I_C = 0$.
- 11) Поворачивая ручку потенциометра R7 против часовой стрелки записать показания измерительных приборов в 5-6 точках, начиная от точки отсечки $U_{зи\ отс}$ до $U_{зи} = 0$. Результаты измерений занести в таблицу 1.
- 12) Выключить сетевой тумблер.

13) Изменить полярность напряжения, подаваемого на клемму Х1. Одновременно изменить полярность вольтметра.

14) Включить сетевой тумблер ВКЛ.

15) Поворачивая ручку потенциометра R7 по часовой стрелке снять показания приборов через 0,4 – 0,5 В. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Стоко - затворная $BAX I_c = f(U_{зи})$ при $U_{си} = const$

$U_{си} = 0B$	$U_{зи} B$								
	$I_c mA$								
$U_{си} = B$	$U_{зи} B$								
	$I_c mA$								
№ опыта		1	2	3	4	5	6	7	8

16) Выключить сетевой тумблер.

17) По данным таблицы 1 построить стоко – затворную $BAX I_c = f(U_{зи})$ при $U_{си} = const$ на миллиметровой бумаге. Рассчитать параметры.

Опыт 2. Снятие стоковых выходных характеристик.

1) Выполнить пункты 1) – 7) опыта 1.

2) Подключить измерительные приборы с указанными пределами измерения, согласно мнемосхемы, соблюдая указанную полярность.

3) После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер.

4) Установить $U_{зи} = 0$.

5) Поворачивая ручку потенциометра R8 по часовой стрелке, изменять напряжение $U_{си}$ по таблице 2, при этом фиксировать значения тока I_c , заносить в таблицу 2.

Таблица 2 - Стоковая $BAX I_c = f(U_{си})$ при $U_{зи} = const$

$U_{зи} = 0B$	$U_{си} B$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6
	I_c, mA									
$U_{зи} = B$	$U_{си} B$									
	I_c, mA									
№ опыта		1	2	3	4	5	6	7	8	9

6) Установить $U_{зи} \neq 0$. Выполнить пункт 5).

7) По данным таблицы 2 построить стоковую характеристику на миллиметровой бумаге, вычислить параметры.

5 Контрольные вопросы.

- 1) На чём основан принцип действия полевого транзистора?
- 2) Почему полевой транзистор иначе называют «униполярным»?
- 3) На характеристику какого прибора похожа стоко - затворная характеристика?
- 4) Перечислите основные параметры полевого транзистора?

Лабораторная работа №5

Исследование однофазного неуправляемого выпрямителя со сглаживающими фильтрами.

Цель работы: Освоение методов измерений и алгоритма расчета качественных характеристик выпрямленного напряжения при использовании разных типов фильтров.

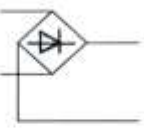
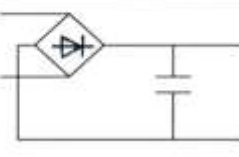
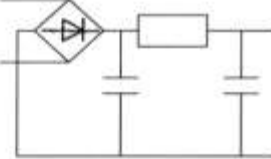
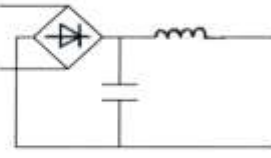
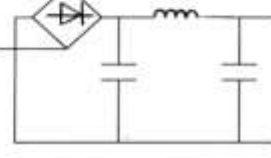
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники

1 Схемы опытов

№ пыта	Схема	Осциллограмма	U_d	U_n	K_n	K_c
			B	$\frac{max}{B}$	—	—
1						
2						
3						
4						
5						

2 Теоретическое обоснование

2.1 Основные понятия о сглаживающих фильтрах.

При рассмотрении схем выпрямителей было установлено, что выпрямленное напряжение всегда является пульсирующим и содержит кроме постоянной переменные составляющие. В большинстве случаев питание схем промышленной электроники пульсирующим напряжением неприемлемо. Допустимые значения коэффициента пульсации зависят от назначения и режима работы устройства; их выбирают в пределах 0,001 - 2,5%. Поскольку в любой схеме выпрямителя коэффициент пульсаций входного напряжения во много раз превышает эти пределы, на выходе выпрямителей включают сглаживающие фильтры.

К схемам сглаживающих фильтров предъявляют следующие основные требования:

1) Фильтр должен быть построен таким образом, чтобы с одной стороны, максимально уменьшились переменные составляющие, а с другой не происходило существенного уменьшения постоянной составляющей, которая проходит через фильтр. Поэтому обычно схемы сглаживающих фильтров содержат реактивные составляющие (индуктивности и ёмкости) и лишь при очень малых мощностях нагрузки могут содержать и активные сопротивления.

2) При переходных процессах в фильтре во время включения напряжения сети или нагрузки величины бросков напряжения и тока должны находиться в допустимых пределах.

3) Собственная частота фильтра должна быть ниже частоты основной гармоники выпрямленного напряжения во избежание резонансных явлений в отдельных звеньях фильтра.

Основным параметром позволяющим дать количественную оценку сглаживающего фильтра, является коэффициент сглаживания, который равен отношению коэффициента пульсации на входе фильтра к коэффициенту

пульсации на выходе фильтра:
$$K_{C_2} = \frac{K_{n.вх}}{K_{n.вых}}$$

Фильтры с пассивными элементами.

Роль простейших сглаживающих фильтров могут играть индуктивные катушки, включённые последовательно с нагрузкой, и конденсаторы, включённые параллельно нагрузке (рисунок 1).

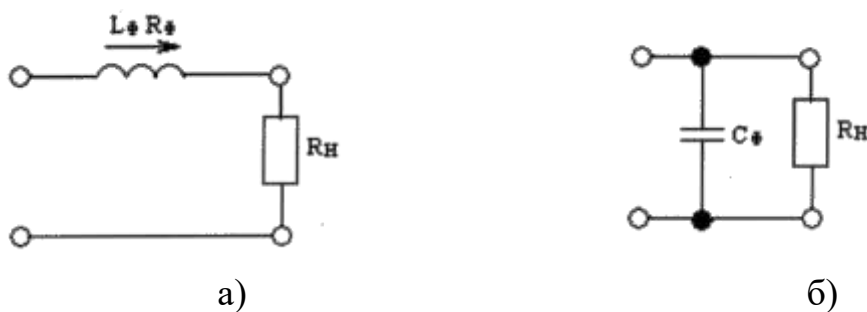


Рисунок 1 – Простейшие фильтры: а) индуктивный; б) емкостный.

При использовании индуктивных катушек высокий коэффициент сглаживания может быть достигнут при условии, что индуктивное сопротивление цепи значительно превышает её активное сопротивление:

$$X_L = \omega \cdot L \gg R_H$$

где ω - частота основной гармоники выпрямленного напряжения.

В этом случае основное падение напряжения переменных составляющих происходит не на сопротивлении нагрузки, а на индуктивности фильтра (дресселя) обычно невелико, напряжения постоянной составляющей выпрямленного тока на входе фильтра и на нагрузке практически равны.

Индуктивный фильтр имеет простую схему и обеспечивает малые потери мощности и малое изменение выходного напряжения при изменении сопротивления нагрузки. Однако при быстром уменьшении тока нагрузки на зажимах дросселя возникают кратковременные броски напряжения, которые могут достигать существенного значения.

Поскольку индуктивные фильтры обеспечивают лучшее сглаживание пульсации при малых сопротивлениях нагрузки, их применяют главным образом в мощных выпрямителях. При включении конденсатора параллельно нагрузке для лучшего сглаживания пульсаций ёмкостное сопротивление должно быть значительно меньше активного сопротивления:

$$X_C = \frac{1}{\omega_C} \ll R_H$$

В этом случае конденсатор заряжается через диод выпрямителя до амплитудного значения напряжения на выходе фильтра в те моменты времени, когда напряжение на выходе фильтра превышает напряжение на конденсаторе.

В остальное время конденсатор разряжается на нагрузку. Значение ёмкости выбирают таким образом, чтобы за период колебаний напряжения на выходе фильтра напряжение на конденсаторе существенно не изменилось.

Комбинированные фильтры.

Для получения более высокого коэффициента сглаживания применяют **комбинированные фильтры**, которые обозначают по конфигурации соединения элементов фильтра:

- Г - образные RC (Рисунок 2а);
- Г - образные LC (Рисунок 2б);
- П - образные RC (Рисунок 3а);
- П - образные LC (Рисунок 3б).

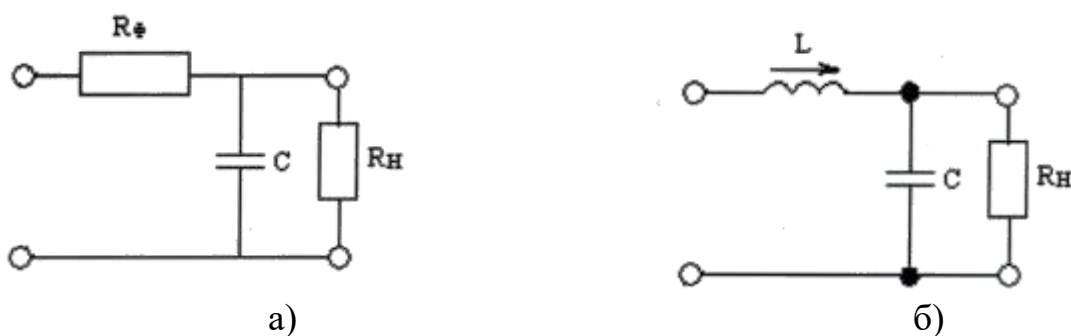


Рисунок 2 – Г –образные фильтры: а) RC – фильтр; б) LC – фильтр.



Рисунок 3 – П –образные фильтры: а) RC – фильтр; б) LC – фильтр.

Широкое применение на практике находят Г - образные индуктивно-ёмкостные фильтры, которые представляют собой сочетание двух простейших фильтров: индуктивного и ёмкостного.

При выполнении условия $X_C \ll R_H \ll X_L$ такие фильтры обеспечивают значительно более высокий коэффициент сглаживания пульсаций, чем фильтры из одной индуктивности или ёмкости.

Выбор конкретных значений индуктивности и ёмкости представляет в данном случае не математическую, а техническую задачу. Обычно её решают с

учётом дополнительных условий, к которым относятся габаритные размеры, масса и стоимость фильтра, а так же величина допустимого броска тока при включении. Более эффективными являются П -образные фильтры.

Лучший результат сглаживания получают с помощью **многозвенных фильтров**, состоящих из нескольких последовательно включённых Г -образных или П - образных фильтров.

Общий коэффициент сглаживания многозвенного фильтра равен произведению всех коэффициентов сглаживания отдельных звеньев:

$$K_{сг} = K_{сг1} K_{сг2} \dots K_{сгn}$$

Среди перечисленных требований, предъявляемых к сглаживающим фильтрам, отмечалась необходимость ограничения собственной частоты фильтра ω_0 условием $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \leq \frac{\omega}{2}$, откуда $CL \geq \frac{4}{\omega^2}$

3 Приборы и оборудование.

- 1) Лабораторный стенд «Промэлектроника», блок №8.
- 2) Осциллограф С1-159.
- 3) Соединительные провода.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Включить стенд в сеть.
- 2) Количество опытов соответствует количеству схем. Опыт:
- 3) Соединить проводами элементы схемы, соответствующие данному опыту. Подключить к выходу схемы осциллограф и вольтметр.
- 4) В выбранном масштабе разверток изобразить осциллограммы выпрямленных напряжений, определить амплитуду переменной составляющей выпрямленного напряжения. Данные занести в таблицу.
- 5) По вольтметру определить величину среднего выпрямленного напряжения U_d . Данные занести в таблицу.
- 6) Вычислить коэффициенты пульсаций K_n и сглаживания $K_{сгл}$ для каждого фильтра.
- 7) Сделать вывод о качестве выпрямленного напряжения

5 Контрольные вопросы:

- 1) После какого типа фильтра пульсация максимальна?
- 2) Какие типы фильтров можно применять только в маломощных выпрямителях?
- 3) Назовите фильтры, применявшиеся в работе?

Лабораторная работа №6

Исследование однофазного управляемого выпрямителя

Цель: Освоение методики снятия регулировочной характеристики и внешних характеристик однофазного управляемого выпрямителя при различных углах управления и различных нагрузках.

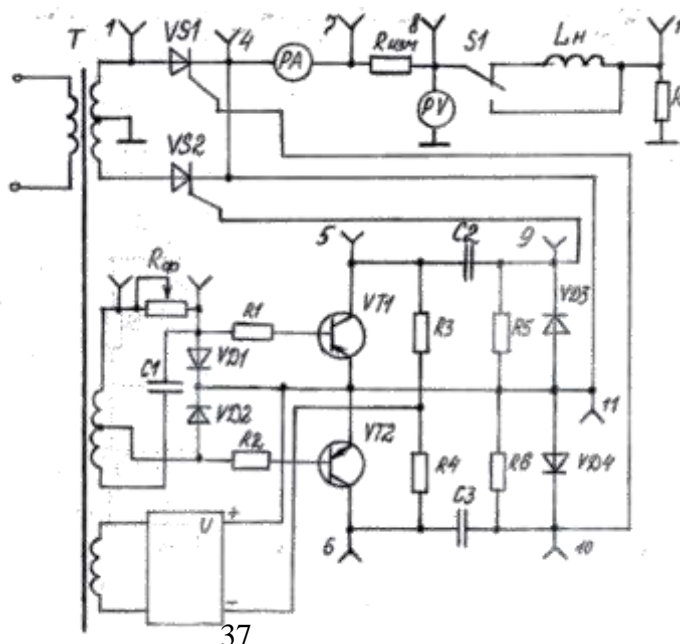
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники;

1 Схема опытов.



2 Теоретическое обоснование

Однофазный управляемый выпрямитель.

Управляемым называют выпрямитель, содержащий управляемые вентили и позволяющий регулировать уровень выпрямленного напряжения. Рассмотрим принцип работы однофазного управляемого выпрямителя на примере схемы с нулевым выводом при активной нагрузке (рисунок 1).

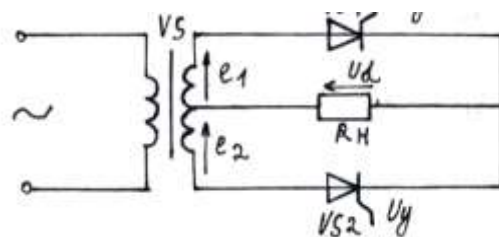


Рисунок 1 – Схема однофазного управляемого выпрямителя с нулевой точкой.

Вентильными элементами в этой схеме являются тиристоры. В схеме на управляемых тиристорах VS_1 и VS_2 момент открывания тиристоров определяется моментом подачи на управляющий электрод импульсов управления U_y (рисунок 2). При подаче таких импульсов в моменты времени ωt_1 и ωt_2 тиристоры открываются с соответствующей задержкой по отношению к моментам перехода напряжения через нуль, т. е. в общем случае с фазовым сдвигом $\alpha - \cot$, где ω - угловая частота напряжения сети.

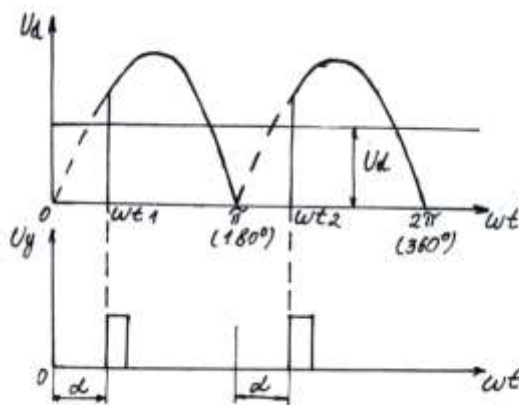


Рисунок 2 – Временные диаграммы напряжений выпрямителя.

Угол α , отсчитываемый от точки естественного отпирания вентилей и выраженный в градусах, называют углом управления. Поскольку управляющие импульсы подаются синхронно с частотой выпрямленного напряжения, то угол управления для обоих тиристоров остается постоянным.

В интервалы времени $0 - \omega t_1$ и $\pi - \omega t_2$ мгновенное значение напряжения на нагрузке равно нулю (рисунок 2 - штриховые линии), т.к. оба тиристора заперты, а в моменты времени ωt_1 и ωt_2 оно возрастает скачком, изменяясь затем по синусоидальному закону, до момента перехода напряжения через нуль. Изменение угла управления позволяет регулировать выпрямленное напряжение U_d .

Среднее значение выпрямленного напряжения для произвольного значения угла управления:

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} E_{2m} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{E_{2m}}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Для неуправляемого режима ($\alpha = 0$) $U_{d\alpha} = \frac{E_{2m}}{\pi}$

следовательно, при $\alpha \neq 0$ $U_{d\alpha} = \frac{U_{d0}(1 + \cos \alpha)}{2}$.

Характеристики управляемого выпрямителя.

Зависимость среднего выпрямленного напряжения от угла управления называется **регулирующей характеристикой**. Выражение $U_{d\alpha} = f(\alpha)$ является уравнением регулировочной характеристики выпрямителя.

При $\alpha = 0$ среднее значение выпрямленного напряжения максимально, $U_d = U_{d0}$, при $\alpha = \pi$.

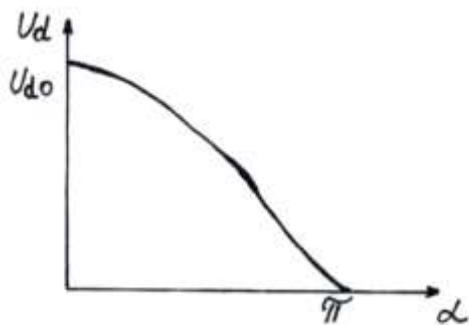


Рисунок 3 -Регулирующая характеристика выпрямителя.

Внешней характеристикой однофазного управляемого выпрямителя (рисунок 4) называется зависимость среднего выпрямленного напряжения U_d от среднего выпрямленного тока I_d при заданном угле управления α , $U_d = f(I_d)$ при $\alpha = \text{const}$. С увеличением угла управления среднее значение выпрямленного напряжения уменьшается, характеристики сдвигаются вниз относительно оси ординат.

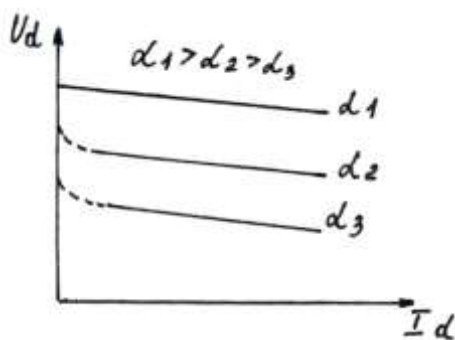


Рисунок 4 – Внешняя характеристика выпрямителя.

3 Приборы и оборудование:

- 1) Стенд ЭС-16
- 2) Осциллограф С1– 137

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Включить стенд в сеть. Горит лампочка «СЕТЬ».
- 2) Выбрать тип нагрузки при помощи переключателя «S1».
- 3) Величина фазового угла регулируется переключателем «R_ф». Установить «R_ф» в крайнее левое положение $R_{\phi} = 0$.
- 4) Величина активной нагрузки устанавливается переключателем «R_н» на панели. Установить ручку «R_н» в любое произвольное положение.

Опыт №1

- 5) Подключить осциллограф к гнездам контрольной панели (1). Наблюдаем синусоиду напряжения вторичной обмотки трансформатора.
- 6) Изменяя угол управления (увеличивая R_{ϕ}), снять регулировочную характеристику. Величины U_d и I_d измерить приборами РВ и РА. Данные изменений занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Расчет регулировочной характеристики

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
α , град	0	18	36	54	72	90	108	126
U_d , В								
I_d , А								

7) По данным измерений построить регулировочную характеристику $U_{d\text{оп}} = U_d(\alpha)_{\text{оп}}$.

8) Среднее значение выпрямительного напряжения для произвольного угла выпрямления: $U_{d\text{расч}}(\alpha) = \frac{U_{d0}(1+\cos\alpha)}{2}$; $U_d(0) = \frac{U_{2m}}{\pi}$,

где U_{2m} измерить по осциллограмме. Для измеренного U_{2m} рассчитать значения $U_d(\alpha)$ при изменении $\alpha = (0 \div \pi)$. Данные расчетов занести в таблицу 2 и построить график расчетной характеристики.

9) Сравнить опытную регулировочную характеристику $U_{d\text{оп}}(\alpha)$ с расчетной $U_{d\text{расч}}(\alpha)$.

Таблица 2 - Опытная регулировочная характеристика.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
α , град	0	18	36	54	72	90	108	126
U_d , В								

Опыт №2

10) Снять осциллограммы напряжений для нескольких углов регулирования. Пояснить.

Опыт №3

11) При установленном угле управления снять внешнюю характеристику выпрямителя для активной нагрузки. Данные занести в таблицу 3.

12) При установленном угле управления снять внешнюю характеристику выпрямителя для активно - индуктивной нагрузки. Данные измерений занести в таблицу 4.

13) Построить графики внешних характеристик по данным таблиц 3 и 4.

14) Сделать вывод по работе выпрямителя.

Таблица 3 - Внешняя характеристика при активной нагрузке

$\alpha =$		$\alpha =$	
I_d	U_d	I_d	U_d
A	B	A	B

Таблица 3 - Внешняя характеристика при активно - индуктивной нагрузке

$\alpha =$		$\alpha =$	
I_d	U_d	I_d	U_d
A	B	A	B

5 Контрольные вопросы:

- 1) Каковы диапазоны регулирования напряжения на выходе выпрямителя?
- 2) Величины угла управления при максимальном и минимальном напряжениях?
- 3) Какого влияние угла управления на ток нагрузки при постоянном сопротивлении нагрузки?

Лабораторная работа № 7

Исследование однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе, схема с общим эмиттером.

Цель работы: Освоение методики снятия осциллограмм входных и выходных напряжений однокаскадного усилителя, алгоритма расчета коэффициента усиления сигнала на всем диапазоне частот и построение амплитудно - частотной характеристики.

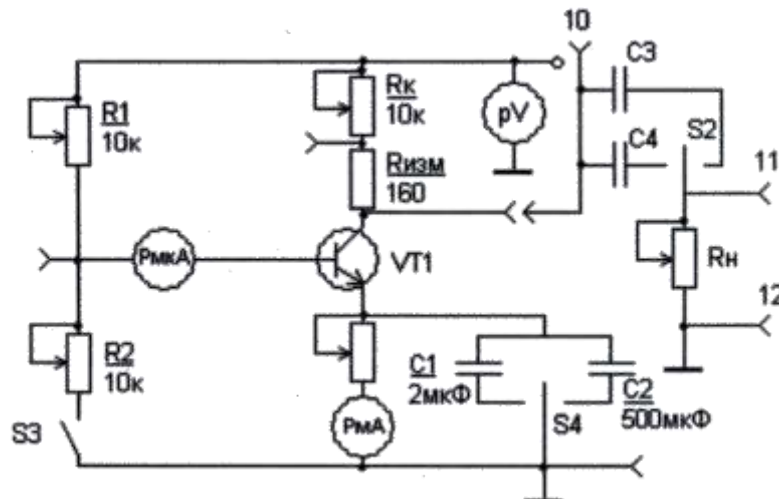
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Основные технические показатели усилителей.

Важнейшим техническим показателем усилителя являются: коэффициенты усиления (по напряжению, току и мощности), входное и выходное сопротивления, выходная мощность, коэффициент полезного действия, номинальное входное напряжение (чувствительность), диапазон усиливаемых частот, динамический диапазон амплитуд и уровень собственных помех, а показатели, характеризующие нелинейные, частотные и фазовые искажения усиливаемого сигнала.

1) Коэффициент усиления

Коэффициентом усиления по напряжению, или просто коэффициентом усиления K называется величина, показывающая, во сколько раз напряжение сигнала на выходе усилителя больше, чем на его входе:

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

Значение коэффициента усиления K у различных усилителей напряжения может иметь величину порядка десятков и сотен. Учитывая, что в современных

усилительных схемах коэффициент усиления, выраженный в безразмерных единицах, получается, довольно громоздким числом. В электронике получил распространение способ выражения усилительных свойств в логарифмических единицах - *децибелах* (дБ). Коэффициент усиления, выраженный в децибелах, равен

$$K=20\lg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}=20\lg K$$

Обратный переход от децибел к безразмерному числу производится при помощи выражения

$$K = 10^{\frac{K_{\text{дБ}}}{20}}$$

2) *Диапазон усиливаемых частот или полоса пропускания*, или полосой пропускания усилителя, называется та область частот, в которой коэффициент усиления изменяется не больше, чем это допустимо по техническим условиям.

Допустимые изменения коэффициента усиления в пределах полосы пропускания зависят от назначения и условий работы усилителя. В УНЧ, например, эти измерения обычно не превышают 3 дБ.

Искажения усилителей.

При усилении электрических сигналов могут возникнуть нелинейные, частотные и фазовые искажения.

1) *Нелинейные искажения* представляют собой изменение формы кривой усиливаемых колебаний, вызванное нелинейными свойствами цепи, через которую эти колебания проходят. Основной причиной появления нелинейных искажений в усилителе является нелинейность характеристик усилительных элементов, а также характеристик намагничивания трансформаторов или дросселей с сердечниками.

2) *Частотными* называются искажения, обусловленные изменением величины коэффициента усиления на различных частотах. Причиной частотных искажений, является присутствие в схеме усилителя реактивных элементов -

конденсаторов, катушек индуктивности, междуэлектродных емкостей усилительных элементов, емкости монтажа и т. д. Зависимость величины реактивного сопротивления от частоты не позволяет получить постоянный коэффициент усиления в широкой полосе частот.

Частотные искажения, вносимые усилителем оценивают по амплитудно-частотной характеристике, представляющей собой зависимость коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала. При построении амплитудно-частотных характеристик частоту по оси абсцисс удобнее откладывать не в линейном, а логарифмическом масштабе (для каждой частоты фактически по оси откладывается величина $\lg f$, а подписывается значение частоты). Если частоту отложить в линейном масштабе, то такая характеристика будет неудобной для пользования, так как все нижние частоты будут очень сжаты у самого начала координат, а область верхних частот окажется слишком растянутой.

Резистивный каскад на биполярном транзисторе.

Схема с фиксированным базовым током.

Простейшая схема резистивного усилительного каскада с общим эмиттером и питанием от одного источника показана на рисунке 1. Входной сигнал поступает на базу и изменяет ее потенциал относительно заземленного эмиттера. Это приводит к изменению тока базы, а следовательно, к изменению тока и напряжения на нагрузочном сопротивлении R_K . Разделительный конденсатор C_{p1} служит для предотвращения протекания постоянной составляющей тока базы через источник входного сигнала. С помощью конденсатора C_{p2} на выход каскада подается переменная составляющая напряжения $U_{кэ}$, изменяющаяся по закону входного сигнала, но значительно превышающая его по величине. Важную роль играет резистор R_B в цепи базы, обеспечивающий выбор исходной рабочей точки на характеристиках транзистора и определяющий режим каскада по постоянному току.

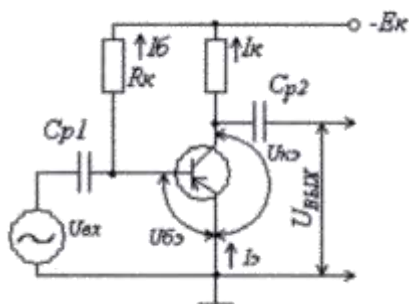


Рисунок 1 – Схема резистивного каскада с резистором в цепи базы.

Схема с фиксированным изменением напряжения смещения на базе представлена на рисунке 2. В этой схеме резисторы $R'_Б$ и $R''_Б$, подключенные параллельно источнику питания $E_К$, составляет делитель напряжения. Сопротивления делителя определяют из очевидных соотношений:

$$R'_Б = \frac{E_К - U_{БЭр}}{I_Д + I_{БЭр}}$$

Ток делителя $I_Д$ обычно выбирают в пределах $I_Д \approx (2 \div 5)I_{БР}$.

При этом повышается стабильность режима работы схемы, так как изменяется ток в цепях эмиттера и коллектора транзистора незначительно влияют на величину напряжения смещения. Вместе с тем ток делителя не следует выбирать слишком большим из соображений экономичности, так как чем больше ток $I_Д$, тем более мощным должен быть источник питания $E_К$.

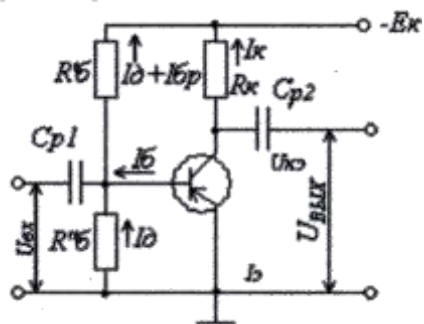


Рисунок 2 – Схема резистивного каскада с фиксированным напряжением смещения.

2.4 Схемы температурной стабилизации.

При построении схем транзисторных усилителей приходится принимать меры для стабилизации положения рабочей точки на характеристиках. Основной дестабилизирующий фактор, нарушающий устойчивую работу транзисторной схемы, - влияние температуры. Существуют различные способы термостабилизации режима работы транзисторных каскадов.

В схеме на рисунок 3а терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления включен в базовую цепь транзистора таким образом, что при повышении температуры происходит уменьшение отрицательного напряжения на базе за счет уменьшения сопротивления терморезистора R_T . При этом происходит уменьшение тока базы, а следовательно, и тока коллектора. В результате увеличения коллекторного тока, вызванное влиянием температуры, компенсируется его уменьшением за счет действия термозависимого смещения, т. е. общее приращение тока коллектора будет незначительным.

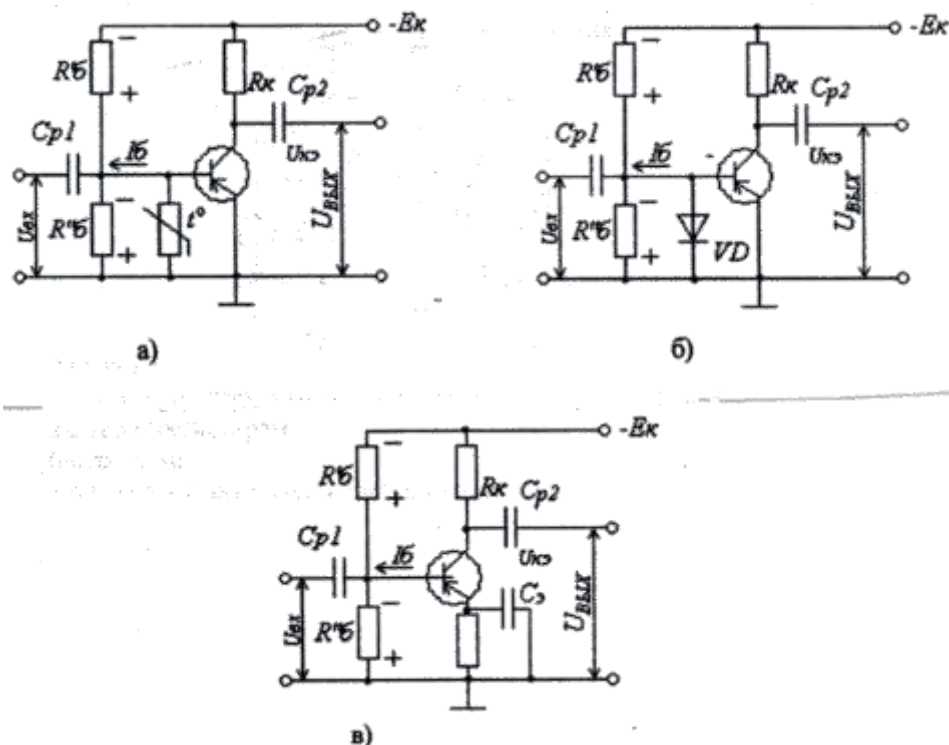


Рисунок 3 – Схемы термостабилизации режима транзисторного каскада:

а – с терморезистором; б - с диодом; в – с цепочкой эмиттерной стабилизации

Одна из возможных схем термостабилизации режима транзистора с помощью полупроводникового диода показана рисунок 3б. В этой схеме диод включен в обратном направлении, а температурная характеристика обратного тока диода должна быть аналогична температурной характеристике обратного тока коллектора применяемого транзистора. Реализовать эту возможность, однако, удастся только для одного транзистора данного типа. При смене транзистора стабильность, как правило, ухудшается из-за разброса величины обратного тока коллектора (напомним, что обратный ток коллектора в наибольшей степени подвержен влиянию температуры).

Наибольшее распространение получила схема термостабилизации режима, приведенная на рисунок 3в. В этой схеме на встречу фиксированному прямому напряжению смещения, снимаемому с резистора R_B , включено напряжение, возникающее на резисторе $R_Э$ при прохождении через него тока эмиттера. Для отвода переменной составляющей тока эмиттера от резистора $R_Э$ он шунтируется конденсатором емкости (порядка десятков микрофарад).

3 Приборы и оборудование.

- 1) Стенд ЭС4А «Однокаскадный усилитель с общим эмиттером».
- 2) Осциллограф С1-137.

4 Порядок выполнения работ.

- 1) Подготовить стенд ЭС4А к работе в соответствии с инструкцией.

Установить параметры усилителя:

а) Установить $E_K = 8 \div 12 В$;

б) Включить тумблер S_3 , регулируя сопротивления делителя $R_{д1}$ и $R_{д2}$, установить ток базы I_B .

в) Включить S_4 , изменяя $R_Э$ установить $I_Э$.

3) Включить осциллограф, подключить измерительные кабели к гнездам стенда: луч I – измерение входного сигнала; луч II – измерение выходного сигнала.

4) При $R_{Г} = \text{const}$, установить входной сигнал заданной амплитуды (луч I).

5) Регулировкой R_K и R_H добиться максимальной амплитуды выходного сигнала (луч II). Измерить амплитуды выходных сигналов на различных частотах.

Данные измерений занести в таблицу 1.

6) Рассчитать K_U , K_U (дБ).

7) Построить амплитудно-частотную характеристику.

8) Рассчитать R_{BX} , $R_{ВЫХ}$, $P_{ВЫХ}$ усилителя.

Таблица 1 – Амплитудно – частотная характеристика

$U_{ВХ} = \quad В$					
$f(Гц)$					
$U_{ВЫХ} (В)$					
K_U					
$K_U \text{ дБ}$					

9) Снять осциллограммы выходных сигналов в режимах:

- а. - линейного усилителя;
- б. - при появлении нелинейных искажений;

10) Определить влияние сопротивления нагрузки на K_U .

11) Определить влияние изменения коллекторного питания E_K на K_U .

12) Выключить S4. Как изменилось $U_{ВЫХ}$ при отключении температурной стабилизации?

13) Выключить стенд. Выключить осциллограф.

5 Контрольные вопросы

- 1) Величины коэффициентов усиления на нижней, средней и верхней частотах?
- 2) Каков диапазон усиливаемых частот?
- 3) Каким образом осуществляется термостабилизация режима?

Лабораторная работа № 8

Исследование однокаскадного усилителя на полевом транзисторе, схема с общим истоком.

Цель работы: Освоение методики снятия осциллограмм входных и выходных напряжений однокаскадного усилителя, алгоритма расчета коэффициента усиления сигнала на всем диапазоне частот и построение амплитудно - частотной характеристики.

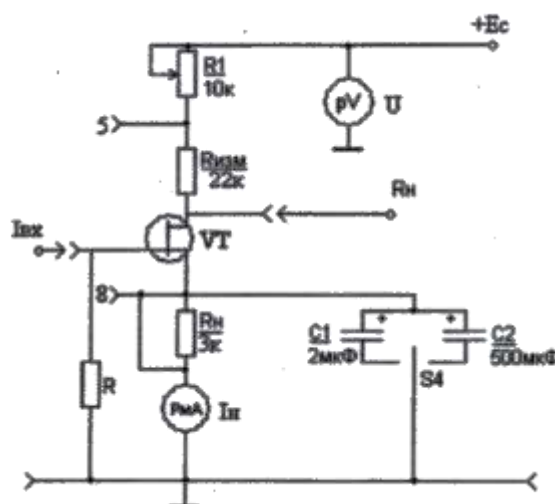
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Резистивные каскады на полевом транзисторе применяются в трех схемах включения:

- С общим истоком (ОИ);
- С общим затвором (ОЗ);
- С общим стоком (ОС).

Основным и наиболее распространенным является каскад ОИ. Схема аналогична каскаду с общим эмиттером, а цепочка истоковой термостабилизации аналогична цепочке эмиттерной термостабилизации.

Особенности и достоинства полевых транзисторов.

1) Во-первых, полевой транзистор существенно отличается от биполярного транзистора принципом действия. В биполярном транзисторе управление выходным током транзистора производится с помощью входного тока, а в полевом транзисторе – с помощью входного напряжения (или электрического поля).

2) р-п-переход затвора полевого смещен в обратном направлении напряжением $U_{зи}$ и, следовательно, закрыт. Поэтому входная проводимость полевого транзистора очень мала, а входное сопротивление $R_{вх}$ полевого транзистора велико.

3) В цепи затвора протекает лишь малый ток обратно смещенного перехода. Поэтому мощность, необходимая для управления током стока и потребляемая от источника входного сигнала в цепи затвора, оказывается очень малой. Следовательно, полевой транзистор может обеспечить усиление электрических сигналов как по току и напряжению, так и по мощности.

4) Полевые транзисторы могут обладать более низким уровнем шума, чем биполярные транзисторы (особенно на низких частотах). Это объясняется тем, что в полевых транзисторах не *используется* явление инжекции не основных носителей заряда и, следовательно, отсутствуют процессы рекомбинации носителей в р-п-переходах.

5) В полевых транзисторах отсутствуют процессы изменения (накопления и рассасывания) объёмного заряда неосновных носителей, заметно снижающие быстродействие биполярных транзисторов при их использовании в качестве электронных ключей.

3 Приборы и оборудование.

- 1) Стенд ЭС4А «Однокаскадный усилитель, схема с общим истоком».
- 2) Осциллограф С1-137.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Подготовить стенд ЭС4А к работе в соответствии с инструкцией.
- 2) Установить параметры усилителя:
 - а) Установить $E_C = 8 \div 12\text{В}$;
 - б) Включить S4.
- 3) Включить осциллограф, подключить измерительные кабели к гнездам стенда: луч I – измерение входного сигнала; луч II – измерение выходного сигнала.
- 4) При $R_{\Gamma} = \text{const}$, установить входной сигнал заданной амплитуды (луч I).
- 5) Регулировкой R_1 и R_H добиться максимальной амплитуды выходного сигнала (луч II). Измерить амплитуды выходных сигналов на различных частотах. Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет амплитудно – частотной характеристики.

$U_{\text{ВХ}} = \text{В}$									
$f, \text{Гц}$									
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$									
K_U									
$K_U, \text{дБ}$									

- 6) Рассчитать $K_U, K_U (\text{дБ})$.
- 7) Построить амплитудно-частотную характеристику.
- 8) Рассчитать $R_{\text{ВХ}}, R_{\text{ВЫХ}}, P_{\text{ВЫХ}}$ усилителя.
- 9) Снять осциллограммы выходных сигналов в режимах:
 - а. - линейного усилителя;
 - б. - при появлении нелинейных искажений;
- 10) Определить влияние сопротивления нагрузки на K_U .
- 11) Определить влияние изменения величины питания E_C на K_U .

12) Выключить S4. Как изменилось $U_{\text{вых}}$ при отключении температурной стабилизации?

13) Выключить стенд. Выключить осциллограф.

14) Сделать вывод.

5 Контрольные вопросы.

- 1) В чем сходство и отличие схем ОЭ и ОИ?
- 2) Каким образом осуществляется термостабилизация выбранного режима работы усилительного на полевом транзисторе?
- 3) Перечислите основные достоинства каскадов на полевых транзисторах.
- 4) Почему усилительный каскад ОИ обладает большим, чем каскад ОЭ входным сопротивлением?

Лабораторная работа № 9

Исследование эмиттерного повторителя

Цель работы: Освоение методики снятия амплитудно - частотной характеристики и алгоритма расчета параметров эмиттерного повторителя выполненного на транзисторе КТ 808А.

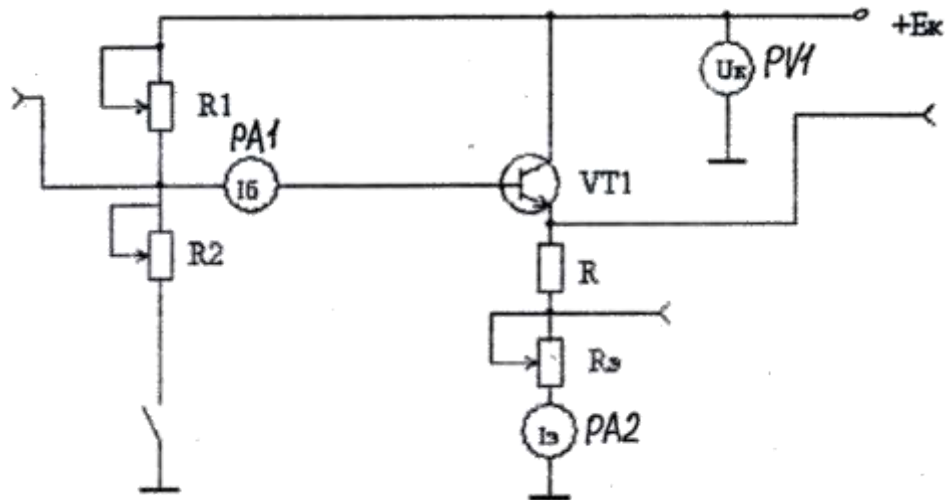
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Схему (рисунок 1) называют каскадом с общим коллектором (ОК) потому, что коллекторный вывод транзистора по переменному току является общим электродом для входной и выходной цепей каскада. Эмиттерным повторителем схему называют вследствие того, что ее выходное напряжение, снимаемое с эмиттера транзистора, близко по величине входному напряжению: $u_{\text{вых}} = u_{\text{вх}} - u_{\text{бэ}} \ll u_{\text{вх}}$ и совпадает с ним по фазе.

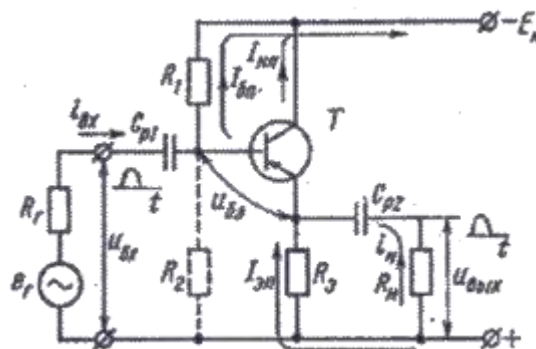


Рисунок 1 –Схема с общим коллектором.

Резистор R_3 в схеме выполняет ту же функцию, что и резистор R_k в схеме ОЭ, - это создание изменяющегося напряжения в выходной цепи за счет

протекания в ней тока, управляемую по цепи базы. Функция конденсатора C_{p2} - передача в нагрузку переменной составляющей выходного сигнала. Резисторы R_1 и R_2 предназначены для задания режима покоя каскада. Для повышения входного сопротивления резистор R_2 в схему часто не вводят.

3 Приборы и оборудование.

- 1) Стенд ЭС4А «Однокаскадные усилители. Схема со общим коллектором»
- 2) Осциллограф С1-137

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Подготовить стенд ЭС4А к работе в соответствии с инструкцией.
 - 2) Установить параметры усилителя:
 - а) Установить $E_K = 8 \div 12 В$;
 - б) Включить тумблер S_3 , регулируя сопротивления делителя $R_{д1}$ и $R_{д2}$, установить ток базы I_B .
 - 3) Включить осциллограф, подключить измерительные кабели осциллографа к гнездам стенда: луч I – измерение входного сигнала; луч II – измерение выходного сигнала.
 - 4) Выбрать вид сигнала генератора – синусоидальный.
- При $R_{г} = \text{const}$, установить входной сигнал заданной амплитуды (луч I).
- 5) Регулировкой $R_{э}$ и $R_{н}$ добиться максимальной амплитуды выходного сигнала (луч II). Измерить амплитуды выходных сигналов на различных частотах. Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1-

$U_{вх} = \quad В$									
$f, Гц$									
$U_{вых}, В$									
K_U									

- 6) Рассчитать K_U . Результаты расчета занести в таблицу 1.

- 1) Построить амплитудно-частотную характеристику.
- 2) Рассчитать $R_{вх}$, $R_{вых}$, $P_{вых}$ усилителя.
- 3) Снять осциллограммы входного и выходного сигналов.

- 4) Определить влияние сопротивления нагрузки на K_U .
- 5) Определить влияние изменения коллекторного питания E_K на K_U .
- 6) Выключить S3. Как изменилось $U_{ВЫХ}$?
- 14) Выключить стенд. Выключить осциллограф.

5 Контрольные вопросы.

- 1) Каков диапазон частот исследуемых сигналов?
- 2) Какова величина фазового сдвига между входным и выходным сигналом?
- 3) Применение каскада с общим коллектором, если коэффициент усиления по напряжению $K_U < 1$?

Лабораторная работа №10

Исследование инвертирующего операционного усилителя.

Цель работы: Освоение методики снятия передаточной характеристики инвертирующего операционного усилителя при различных коэффициентах усиления, определения параметров опытным путем.

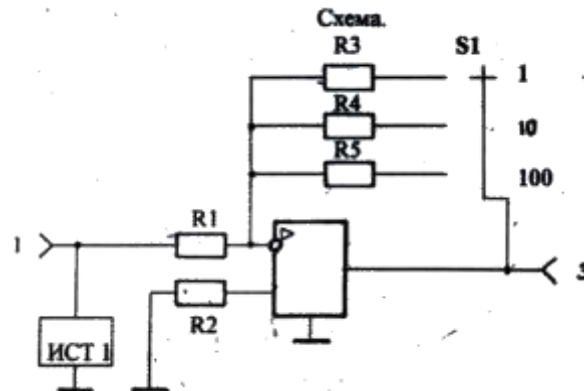
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Операционные усилители (ОУ) в интегральном исполнении в настоящее время составляют основу аналоговых интегральных схем. В настоящее время под ОУ понимают высококачественный усилитель напряжения, предназначенный для выполнения самых разнообразных функций алгебраического сложения, вычитания, умножения, деления, дифференцирования, интегрирования, логарифмирования.

Большинство стандартных интегральных ОУ (рисунок 1) имеет дифференциальный вход (два входных зажима и один выходной).

При этом выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ находится в фазе с напряжением $U_{\text{ВХ1}}$ и противофазно напряжению $U_{\text{ВХ2}}$.

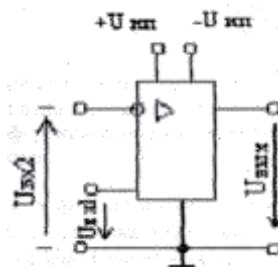


Рисунок 1 – Условное обозначение микросхемы ОУ

Параметры идеального ОУ:

- 1) Коэффициент усиления $K_U \rightarrow \infty$;
- 2) Входное сопротивление $R_{\text{ВХ}} \rightarrow \infty$;

3) Выходное сопротивление $R_{\text{ВЫХ}} \rightarrow 0$;

4) Широкая полоса пропускания $f_H = 0, f_B = \infty$;

5) Постоянство амплитуды усиленного сигнала во всем диапазоне частот;

6) Отсутствие статических, шумовых и дрейфовых ошибок во времени и в диапазоне температур;

7) Питание ОУ осуществляется от двух соединенных последовательно источников с одинаковыми постоянными напряжениями $U_{\text{ип}1}$ и $U_{\text{ип}2}$ или от одного источника со средней точкой, которая заземлена.

Передаточная характеристика операционного усилителя.

Передаточная характеристика ОУ (рисунок 2) - это зависимость выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$ от величины и полярности входного сигнала $U_{\text{ВХ}}$; $U_{\text{ВЫХ}} = F(U_{\text{ВХ}})$.

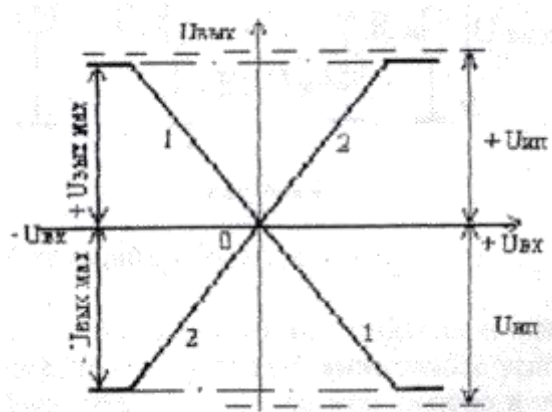


Рисунок 2 - Передаточная характеристика ОУ.

Как входное, так и выходное напряжение могут симметрично изменяться относительно нуля (быть биполярными), как это видно из передаточной характеристики ОУ $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$. При заземленном неинвертирующем входе, (рисунок 3), передача сигнала на выход усилителя осуществляется с инвертированием фазы входного сигнала (передаточная характеристика 1). В случае заземления инвертирующего входа фаза усиленного сигнала в процессе усиления не изменяется (передаточная характеристика 2). Выходное

напряжение снимается относительно средней точки источников питания (корпуса).

Условие баланса ОУ. Если $U_{BX} = 0$, то $U_{ВЫХ} = 0$

Коэффициент усиления ОУ K_U . Наклон передаточной характеристики определяется собственным коэффициентом усиления ОУ

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

Инвертирующее включение ОУ. В зависимости от условий подачи на вход ОУ усиливаемого сигнала, а также с учетом подключения внешних компонентов, можно получить инвертирующее включение усилителя. Включение называется инвертирующим, если входной сигнал подается на инвертирующий вход (вход «-»), а не инвертирующий вход заземлен (рисунок 3).

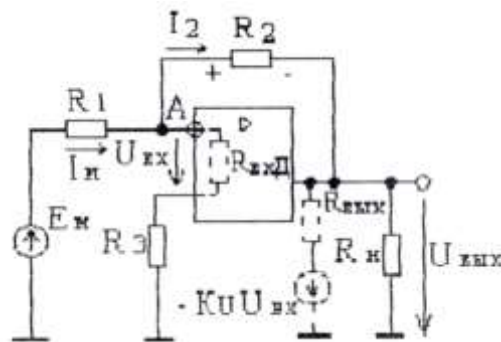


Рисунок 3 – Инвертирующее включение ОУ.

Так как усиление ОУ очень велико, то с небольшой ошибкой будем считать такую модель идеальной, что соответствует выполнению условий $K_U \rightarrow \infty$ и $K_I \rightarrow \infty$, где K_U и K_I - коэффициенты усиления по напряжению и по току без обратной связи. Если при этом охватить усилитель параллельной отрицательной обратной связью по напряжению через резистор R_2 , то любой незначительный сигнал U_{BX} на входе будет усилен и передан по цепи обратной связи во входную цепь ОУ, компенсируя входной сигнал так, что в состоянии равновесия (стационарном режиме) $U_{BX} = 0$. Поскольку входное сопротивление усилителя также велико, то можно считать, что ток источника I_H входит только в сопротивление R_2 падение напряжения на котором за счет этого тока

$$U_{R2} = - I_2 \times R_2 = - I_{II} \times R_2 = - E_{II} (R_2/R_1). \quad (1)$$

Так как потенциал точки А, где осуществляется суммирование токов, практически равен нулю, то

$$U_{ВЫХ} = U_{R2} = - E_{II} (R_2/R_1), \quad (2)$$

откуда коэффициент усиления ОУ с учетом того, что коэффициент передачи напряжения обратной связи $\beta = R_2/R_1$,

$$K_U = - R_2/R_1 \quad (3)$$

Знак «-» в уравнении (3) указывает на инвертирование фазы (полярности) входного сигнала.

3 Приборы и оборудование.

- 1) Стенд ЭС 23 «Решающие усилители».
- 2) Осциллограф С1-159.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Установить и закрепить на лицевой панели стенда ЭС23 накладную панель с изображением инвертирующего усилителя ИУ.
- 2) Включить стенд ЭС23 в сеть.
- 3) Для исследования схемы ИУ необходимо пользоваться функциональной зоной «1» стенда ЭС23.
- 4) Нажать кнопку «ИУ» в зоне «1».
- 5) Нажатием соответствующей кнопки на панели стенда ЭС23, включить источник питания ИП1 в режим «Постоянный ток»: кнопка (-)
- 6) Величины входных и выходных сигналов определяется:
 - а) приближенно по вольтметрам стенда;
 - б) точно при помощи осциллографа:

- входное напряжение ИУ измеряют подключением к гнездам [2;⊥];

- $U_{\text{ВЫХ}}$ ИУ измеряют подключением к гнездам [3;⊥] зоны «1»

7) Выбор коэффициента усиления ИУ осуществляется нажатием одной из кнопок: 1; 10; 100. Поворотом ручки регулирования величины напряжения источника питания ИП1 установить необходимую величину входного сигнала. Измерить $U_{\text{ВЫХ}}$, данные занести в таблицу 1.

Таблица 1- Передаточная характеристика инвертирующего ОУ

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$		
	$K_U = 1$	$K_U = 10$	$K_U = 100$

8) Построить передаточную характеристику $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ при различных величинах и полярностях $U_{\text{ВХ}}$.

5 Контрольные вопросы.

- 1) Какова общая особенность всех типов ОУ?
- 2) Как определить коэффициент усиления инвертирующего ОУ?
- 3) Чем определяется наклон начального участка передаточной характеристики?
- 4) Какую схему ОУ называют «инвертирующим повторителем»?

Лабораторная работа №11

Исследование неинвертирующего операционного усилителя

Цель работы: Освоение методики снятия передаточной характеристики неинвертирующего операционного усилителя при различных коэффициентах усиления.

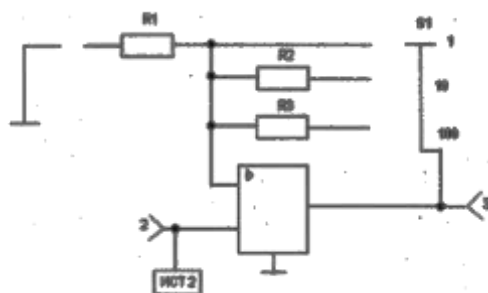
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование

Схема неинвертирующего операционного усилителя представлена на рисунке 1. Операционный усилитель называется неинвертирующим, если входной сигнал поступает на неинвертирующий вход (вход «+»), полярность выходного напряжения совпадает с полярностью входного.

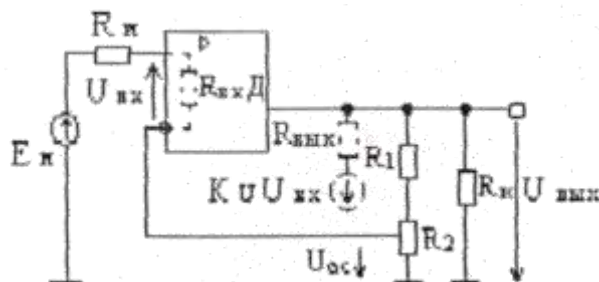


Рисунок 1 - Схема включения неинвестирующего ОУ.

Напряжение обратной связи, снимаемое с делителя R_1 - R_2 , пропорционально выходному напряжению усилителя:

$$U_{oc} = U_{вых} R_2 / (R_1 + R_2) = \beta_U U_{вых}.$$

Для инвертирующего ОУ

$$K_U = 1 / \beta_U = (R_1 + R_2) / R_2 = 1 + R_1 / R_2$$

Если $R_1 = 0$, то $K_U = 1$, ОУ становится инвертирующим повторителем.

3 Приборы и оборудование:

- 1) Стенд ЭС23 «Решающие усилители».
- 2) Осциллограф С1-159.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Установить и закрепить на лицевой панели стенда ЭС23 накладную панель с изображением неинвертирующего усилителя (НУ).
- 2) Включить стенд ЭС23 в сеть.
- 3) Для исследования схемы НУ необходимо пользоваться функциональной зоной «1» стенда ЭС23.
- 4) Нажать кнопку «НУ» в зоне «1».
- 5) Включить источник питания ИП» в режим «Постоянный ток»: кнопка (-).
- 6) Величины входных и выходных сигналов определяются:
 - а) приближенно по вольтметрам стенда;
 - б) точно при помощи осциллографа:
 - входное напряжение НУ измеряют подключением к гнездам [2; \perp];
 - $U_{вых}$ НУ измеряют подключением к гнездам [3; \perp] зоны «1».
- 7) Выбор коэффициента усиления НУ осуществляется нажатием одной из кнопок: 1;10;100.

8) Поворотом ручки регулирования величины напряжения источника питания ИП2 установить необходимую величину входного сигнала. Измерить $U_{\text{ВЫХ}}$. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Передаточная характеристика неинвертирующего ОУ.

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$		
	$K_U = 1$	$K_U = 10$	$K_U = 100$

9) Построить передаточную характеристику $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ при различных величинах и полярностях $U_{\text{ВХ}}$.

5 Контрольные вопросы.

- 1) Как определить коэффициент усиления неинвертирующего ОУ?
- 2) Проанализируйте, находится ли ОУ в состоянии «баланса»?
- 3) Как его вычислить «напряжением смещения нуля»?

Лабораторная работа № 12

Исследование сумматора

Цель работы: Освоение методов измерения выходных напряжений инвертирующего сумматора при различных коэффициентах усиления входных сигналов.

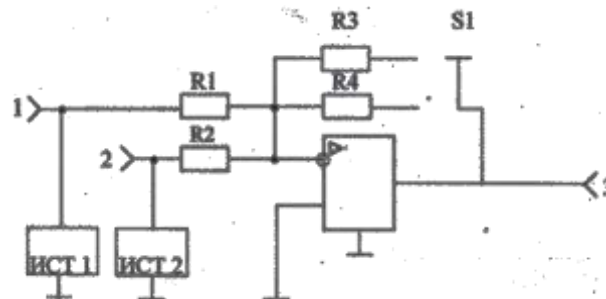
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

Сумматор со многими входами

На вход сумматора (рисунок 1) от нескольких источников с выходными сопротивлениями R_1, R_2, R_3 , поступают входные сигналы $U_{И1}, U_{И2}, U_{И3}$. Кроме того, ко входу усилителя (точка А) через сопротивление обратной связи R_{OC} подводится часть выходного напряжения $U_{ВЫХ}$.

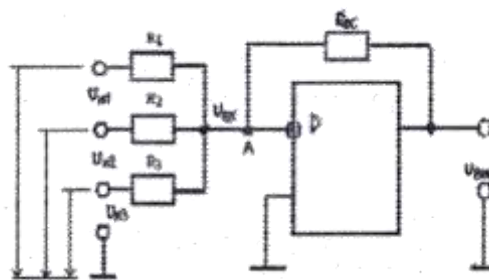


Рисунок 1 - Схема сумматора со многими входами.

При этом необходимо учитывать, что небольшое выходное сопротивление усилителя входит в сопротивление R_{OC} .

$$U_{ВЫХ} = -U_{OC} = -(I_1 + I_2 + I_3) \times R_{OC} = -(U_1/R_1 + U_2/R_2 + U_3/R_3) \times R_{OC}$$

Если $R_{OC} = R_1 = R_2 = R_3$, тогда $U_{ВЫХ} = -(U_{И1} + U_{И2} + U_{И3})$.

3 Приборы и оборудование.

- 1) Стенд ЭС23 «Решающие усилители».
- 2) Осциллограф С1- 15 9.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Установить на лицевой панели стенда ЭС23 накладную панель с изображением сумматора (панель «3»).
- 2) Включить стенд ЭС23 в сеть.
- 3) Для исследования схемы сумматора необходимо пользоваться функциональной зоной «3».
- 4) Выбрать масштабный коэффициент усиления операционного усилителя: нажать одну из кнопок переключателя <R3> или <R4>.
- 5) Подключение источников постоянного напряжения ИСТ1 и ИСТ2 производится нажатием поочередно кнопок <->.
- 6) Вращая ручки соответствующих потенциометров, установить напряжение на входах сумматора. Контроль величины U_{BX1} и U_{BX2} осуществляется по вольтметру U_{BX} . Полярность входных напряжений определяется сигнальными лампами <->, <+>.
- 6) Для точного контроля U_{BX} осциллограф необходимо подключить к гнездам [1 ;2] функциональной зоны.
- 7) Измерить $U_{ВЫХ}$.
 - а) приблизительно вольтметром $U_{ВЫХ}$, полярность показывают сигнальные лампы <->, <+>.
 - б) точно осциллографом.
- 9) Данные измерений U_{BX1} , U_{BX2} , $U_{ВЫХ}$ занести в таблицу 1.

Таблица 1- Напряжения сумматора.

$U_{BX1}, В$				
$U_{BX2}, В$				
$U_{ВЫХ}, В$				

2 Контрольные вопросы.

- 1) В чем заключается сходство и отличие схем инвертирующего сумматора и инвертирующего ОУ?
- 2) Чем ограничена величина входных напряжений сумматора?
- 3) Чем ограничена величина выходных напряжений (сумма сигналов)?
- 4) При каком условии сумматор усиливает алгебраическую сумму сигналов?

Лабораторная работа № 13

Исследование компаратора

Цель работы: Освоение методов выполнения переключений компаратора при различных опорных напряжениях и входных сигналах.

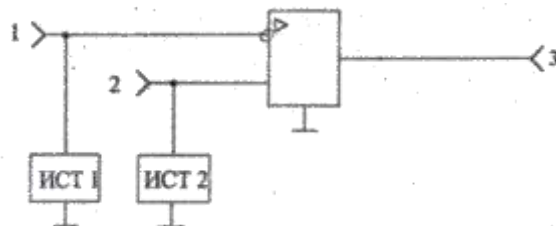
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники;

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование

Компараторное включение операционного усилителя используется для сравнения напряжения источника сигнала $U_{\text{и}}$ с опорным напряжением U_0 . В компараторном режиме обычно отсутствуют цепи отрицательной обратной связи с подачей сравниваемых сигналов на один или оба входа усилителя.

В двухвходовом компараторе (рисунок 1) сравнивающие сигналы поступают на оба входа усилителя. Поэтому состояние выхода компаратора

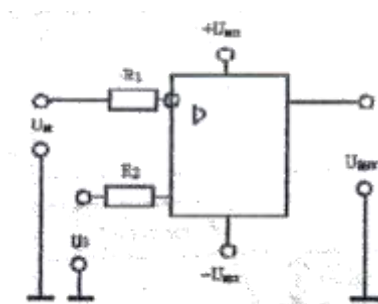


Рисунок 1 – Схема двухвходового компаратора.

(полярность выходного напряжения) определяется большим по уровню напряжением одного из входов, что отражает передаточная характеристика компаратора (рисунок 2). При равенстве входных напряжений (момент времени t_1) выходное напряжение компаратора равно нулю, т.е. соответствии с принципом работы интегрального операционного усилителя. Уровень входного напряжения компаратора ограничивается допустимым синфазным входным напряжением: $U_{\text{сф}} = \frac{U^+ + U^-}{2}$

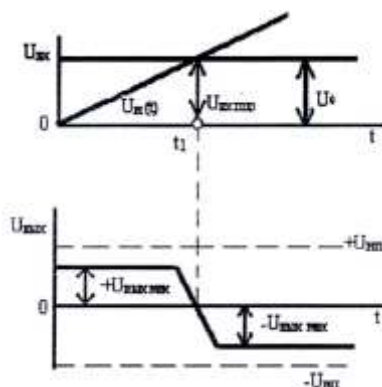


Рисунок 1 – Передаточная характеристика компаратора.

3. Приборы и оборудование:

- 1) Стенд ЭС23 «Решающие усилители».
- 2) Осциллограф С1-159.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Установить на лицевой панели стенда ЭС23 накладную панель с изображением компаратора (панель 1.1).
- 2) Включить стенд ЭС23 в сеть.
- 3) Для исследования схемы компаратора необходимо пользоваться функциональной зоной «1» стенда ЭС23.
- 4) Нажать кнопку «К» в зоне «1».
- 5) Нажатием кнопки $\langle \rightarrow \rangle$ на панели стенда ЭС23 включить источник ИСТ2 в режим «Постоянное напряжение», источник ИСТ1 отключен.
- 6) Вращая ручку потенциометра установить произвольную величину входного напряжения U_{BX2} . Контроль величины U_{BX2} осуществляется вольтметром U_{BX} , контроль полярности напряжений производится по сигнальным лампам $\langle - \rangle$, $\langle + \rangle$. Величину напряжения занести в таблицу 1.

Таблица 1- Переключения компаратора.

$U_{BX1}, В$					
$U_{BX2}, В$					
$U_{ВЫХ}$ В	До переключения				
	После переключения				

- 7) Определить выходное $U_{ВЫХ}$ по вольтметру стенда и соответствующим сигнальным лампам: $\langle - \rangle$, $\langle + \rangle$. Данные занести в таблицу 1.
- 8) Отключить источник ИСТ2, затем включить источник ИСТ1.
- 9) Вращая ручку второго потенциометра, установить $U_{BX1} = U_{BX2}$. Контроль величины и полярности U_{BX1} производится по вольтметру U_{BX} и сигнальным лампам: $\langle - \rangle$, $\langle + \rangle$. Величину U_{BX1} занести в таблицу 1.
- 10) При равенстве входных сигналов $U_{BX2} = U_{BX1}$ зафиксировать переключение компаратора по переключению полярности выходного напряжения, т.е. по сигнальным лампам: $\langle - \rangle$, $\langle + \rangle$. Измерить $U_{ВЫХ}$. Данные занести в таблицу 1.
- 11) Выполнить несколько опытов по пунктам 5) - 10).

12) По результатам опытов начертить статическую характеристику идеального компаратора.

5 Контрольные вопросы.

- 1) Каков диапазон устанавливаемых в лабораторной работе входных сигналов?
- 2) Каковы наблюдаемые выходные напряжения? Почему?
- 3) В чем заключается отличие статических передаточных характеристик идеального и реального компаратора?
- 4) Нарисуйте схему детектора нулевого уровня.

Лабораторная работа № 14

Исследование ключевого каскада на транзисторе с ОЭ.

Цель работы: Исследование ключевого режима работы биполярного транзистора.

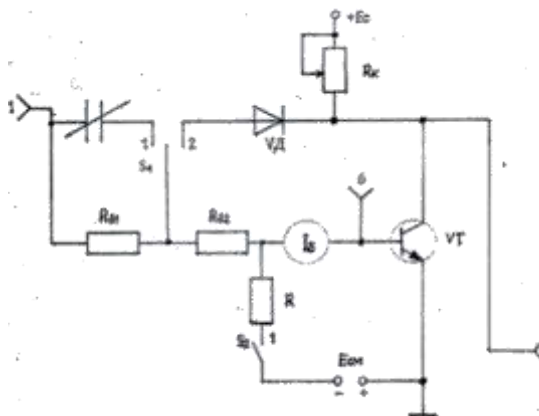
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование

Транзисторная импульсная и цифровая техника базируется на работе транзистора в качестве ключа. Замыкание и размыкание цепи нагрузки - главное назначение транзистора, работающего в **ключевом режиме**. Качество транзисторного ключа определяется падением напряжения (**остаточным напряжением**) на транзисторе в замкнутом (открытом) состоянии и **остаточным током** транзистора в выключенном (закрытом) состоянии.

Путем изменения состояний транзистора в последовательной цепи с резистором и источником питания осуществляются формирование сигналов импульсной формы. Транзистор применяют также в качестве бесконтактного ключа в цепях постоянного и переменного токов для регулирования мощности, подводимой к нагрузке.

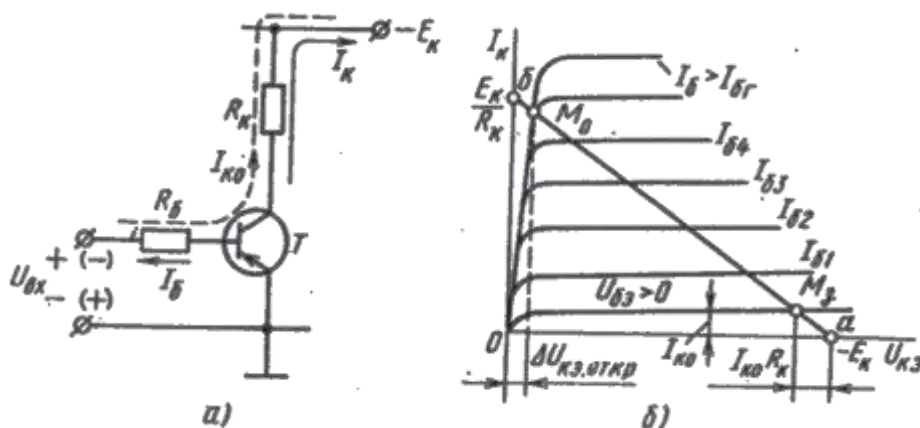


Рисунок 1. Ключевая схема на транзисторе (а),
графическое определение режимов открытого и
закрытого состояний транзистора (б)

Основой всех узлов и схем импульсной и цифровой техники является так называемая ключевая схема - каскад на транзисторе, работающем в ключевом режиме. Построение ключевой схемы подобно усилительному каскаду. Транзистор в ключевой схеме может включаться с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. Наибольшее распространение получила схема ОЭ. Ключевая схема на транзисторе типа **p-n-p** показана на рисунке 1а. Транзистор Т выполняет функцию ключа в последовательной цепи с резистором R_K и источником питания. Линия нагрузки (рисунок 1,б)

описывается соотношением $U_{кэ} = - (E_{к} - I_{к}R_{к})$ и проводится так же, как для усилительного каскада. Точки пересечения линии нагрузки с вольтамперными характеристиками транзистора определяют напряжения на элементах и ток в последовательной цепи.

Режим запираания (режим отсечки) транзистора осуществляется подачей на его вход напряжения положительной полярности ($U_{вх} > 0$), эмиттерный переход транзистора запирается ($U_{бэ} > 0$) и его ток $I_{э} = 0$. Вместе с тем через резистор $R_б$ протекает обратный (тепловой) ток коллекторного перехода $I_{ко}$. Режиму закрытого состояния транзистора соответствует точка M_3 (рисунок 1,б). Протекание через нагрузку теплового тока $I_{ко}$ связано с тем, что транзистор в закрытом состоянии не обеспечивает полного отключения нагрузочного резистора $R_к$ от источника питания. Малое значение $I_{ко}$ является одним из критериев выбора транзистора для ключевого режима работы.

Величину запирающего входного напряжения $U_{вх. зап}$ выбирают из расчета того, чтобы при протекающем через резистор $R_б$, тепловом токе было обеспечено выполнение условия

$$U_{бэ} = U_{вх. зап} - I_{к0} R_б > 0 \quad (1)$$

Напряжение $U_{бэ}$ для германиевых транзисторов составляет 0,5 — 2 В.

Режим открытого состояния транзистора достигается изменением полярности входного напряжения ($U_{вх} < 0$) и заданием соответствующего тока базы. Открытое состояние транзистора характеризует точка M_0 на линии нагрузки. Определим необходимые условия для создания открытого состояния транзистора. С этой целью предположим, что при $U_{вх} < 0$ ток базы $I_б$, увеличивается постепенно.

Увеличению тока базы будет соответствовать увеличение тока коллектора и перемещение рабочей точки из положения M_3 вверх по линии нагрузки. Напряжение $U_{кэ}$ транзистора при этом постепенно уменьшается. До некоторого

граничного значения тока базы ($I_{б.гр}$) сохраняется известная пропорциональная зависимость между I_k и I_b :

$$I_k = \beta_{ст} I_b + (1 + \beta_{ст}) I_{ко} \approx \beta_{ст} I_b, \quad (2)$$

где $\beta_{ст}$ - статический (усредненный) коэффициент передачи тока транзистора в схеме ОЭ (а не дифференциальный коэффициент ρ , действительный для малого входного сигнала). Точка M_0 при токе базы $I_{б. гр}$ характеризует «полное» открытие транзистора. Через транзистор и резистор R_k протекает ток $I_k = (E_k - \Delta U_{кэ.откр})R_k$, (3)

где $\Delta U_{кэ.откр}$ - падение напряжения (остаточное напряжение) на транзисторе в открытом состоянии. Остаточное напряжение $\Delta U_{кэ.откр}$, являющееся существенным параметром транзистора в импульсном режиме работы, должно быть минимальным. В зависимости от типа прибора $\Delta U_{кэ.откр}$ лежит в пределах 0,05 - 1В. Ввиду относительно малого остаточного напряжения по сравнению с E_k расчет тока I_k открытого транзистора проводится по формуле

$$I_k = E_k / R_k \quad (4)$$

С учетом формулы (2) находят граничное значение тока базы $I_{б.гр}$ открытого транзистора, при котором наблюдается пропорциональная зависимость тока коллектора от тока базы:

$$I_{б.гр} = I_k / \beta_{ст} = E_k / (\beta_{ст} R_k). \quad (5)$$

Точка M_0 на рисунке 1,б представляет собой точку пересечения линии нагрузки с начальным участком коллекторной характеристики транзистора при $I_b = I_{б.гр}$. При дальнейшем увеличении тока базы ($I_b > I_{б.гр}$) остаточное напряжение $\Delta U_{кэ.откр}$ остается почти неизменным, так как все коллекторные характеристики транзистора $I_b > I_{б.гр}$ практически проходят через точку M_0 на рисунке 1,б.

Режим работы открытого транзистора при $I_{\text{б.}} > I_{\text{б.гр}}$ называют насыщенным, а отношение $s = I_{\text{б.}}/I_{\text{б.гр}}$ - коэффициентом насыщения транзистора.

Найденный ток базы обеспечивается параметрами входной цепи ключевой схемы $I_{\text{б.}} = (U_{\text{вх.}} - U_{\text{бэ.}})/R_{\text{б.}}$ (7)

Рассмотрим процессы, протекающие в ключевой схеме при наличии на ее входе управляющего импульса напряжения (рисунок 2, а). Примем входной импульс напряжения идеальной прямоугольной формы (длительности переднего и заднего фронтов импульса равны нулю).

На интервале $t_0 - t_1$, когда входной импульс напряжения отсутствует, транзистор заперт напряжением $U_{\text{вх. зап}}$ положительной полярности. Токи $I_{\text{б.}}$, $I_{\text{к.}}$ определяются тепловым током транзистора $I_{\text{к0}}$ (рисунок 2, б, в). Напряжение на транзисторе $U_{\text{кэ.}} = - (E_{\text{к.}} - I_{\text{к0}} R_{\text{к.}})$ (рисунок 2, г).

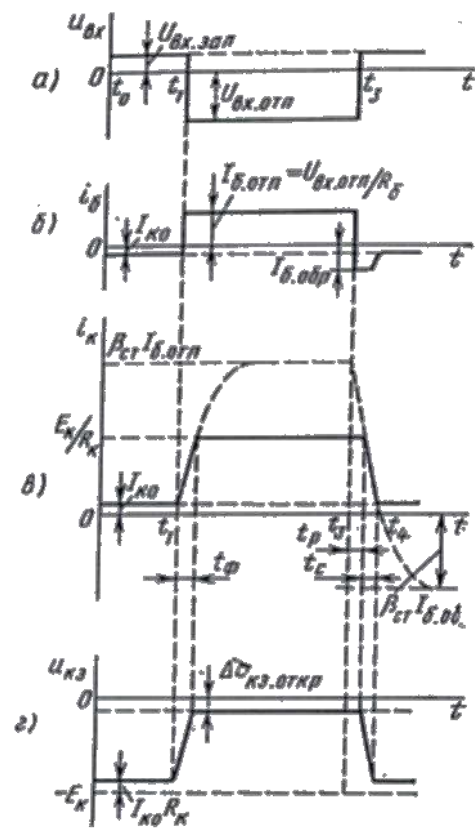


Рисунок 2 - Диаграммы напряжений и токов ключевой схемы:
 а - входной импульс напряжений; б - ток базы; в - ток коллектора;
 г - напряжение на коллекторе

С момента времени t_1 (рисунок 2, а) процессы в схеме обуславливаются отпиранием транзистора входным импульсом напряжения отрицательной полярности $U_{вч.отп}$. Это сопровождается изменением тока i_K и напряжением $u_{кэ}$ транзистора (рисунок 2, в, г). Как видно из диаграмм, характер изменения i_K и $u_{кэ}$ при отпирании транзистора отличается от вызвавшего их скачкообразного изменения входного напряжения. Отличие обусловлено инерционностью транзистора и проявляется в постепенных нарастании тока i_K и уменьшении напряжения $u_{кэ}$. В первом приближении можно принять, что изменения $i_K(t)$ и $u_{кэ}(t)$ происходят по экспоненте. Тогда инерционность транзистора может быть учтена эквивалентной постоянной времени $\tau_B = \tau_\beta + \tau_K$ в предположении $\tau_K = C_{K(э)} \cdot R_K$, где $C_{K(э)}$ - интегральная емкость коллекторного перехода транзистора в схеме ОЭ.

Если принять, что ток базы в интервале отпирания имеет прямоугольную форму с амплитудой $I_{б.отп} \approx U_{вч.отп} / R_b > I_{б.гр}$ (рисунок 2, б), то вызванный им ток $i_K(t)$ будет изменяться по закону

$$i_K(t) = \beta_{ст} I_{б.отп} (1 - e^{-t/\tau_B}) \quad (8)$$

Коллекторный ток возрастает по экспоненциальному закону, стремясь к $\beta_{ст} \cdot I_{б.отп} > E_K / R_K$ (см. рисунок 2, в). Однако, достигнув предельного значения $I_K \approx E_K / R_K$, ток i_K в дальнейшем не изменяется и формирование фронта импульса i_K заканчивается.

Положив в формуле (8) $i_K = I_K$, находим длительность фронта нарастания коллекторного тока транзистора:

$$t_\phi = \tau_B I_n \cdot (I_{б.отп} / I_{б.отп} - I_K / \beta_{ст}) \quad (9)$$

С учетом того, что $I_K / \beta_{ст} = I_{б.гр}$, а $I_{б.отп} / I_{б.гр} = s$, имеем

$$t_\phi = \tau_B I_n \cdot (s/s-1) \quad (10)$$

Из соотношения (10), следует, что *длительность фронта импульса сокращается с увеличением коэффициента насыщения транзистора*. Это объясняется тем, большому коэффициенту s соответствует больший отпирющий базовый ток, вследствие чего ток коллектора достигает

установившегося значения за меньший интервал времени. Так, например, при $\tau_b = 5$ мкс и $s = 3$ получаем $t_\phi = 2,03$ мкс.

Характер изменения $u_{кэ}(t)$ при отпирании транзистора (рисунок 2, г) подчиняется зависимости $u_{кэ}(t) = -E_k + i_k(t)R_k$.

В момент времени t_3 действие входного отпирающего импульса напряжения заканчивается. К базе транзистора прикладывается запирающее напряжение $U_{вх.зап}$ (рисунок 2, а).

С приложением запирающего напряжения ток коллектора и напряжение $u_{кэ}$ в течение некоторого интервала времени остаются неизменными, а транзистор по-прежнему открыт. Создается задержка в запираании транзистора. Это объясняется тем, что к моменту времени t_3 транзистор находится в режиме насыщения и при наличии запирающего сигнала ток коллектора поддерживается уходящими из базы в коллектор избыточными носителями заряда (дырками). Только после ухода (рассасывания) избыточных носителей и перехода транзистора в активный режим ток коллектора начинает уменьшаться, а напряжение на коллекторе - возрастет (рисунок 2, в, г). Помимо ухода избыточных носителей заряда по цепи коллектора их рассасывание осуществляется и по цепи базы за счет протекания обратного тока $I_{б.обр}$, вызванного запирающим напряжением. Обратный (инверсный) ток базы при этом ограничивается сопротивлением R_b входной цепи: $I_{б.обр} \approx U_{вх.зап} / R_b$.

Время, в течении которого происходит рассасывание избыточного заряда а базе, называется временем рассасывания t_p (рисунок 2, в). Это время пропорционально коэффициенту насыщения s . Следующий затем интервал спада тока i_k определяет время заднего фронта (среза) t_c коллекторного тока:

$$i_r(t) = \beta_{CT}(I_{б.омн} + I_{б.обр})e^{-t/\tau_\beta} - \beta_{CT}I_{б.обр} \quad (11)$$

где τ_β - эквивалентная постоянная времени, примерно равная времени жизни неосновных носителей заряда в базе в режиме насыщения, но меньшая постоянной времени τ_r , действительно для активного режима ($\tau_\beta \approx \tau_r / 2$).

Выражение (11) является уравнением экспоненциальной кривой, показанной в интервале $t_3 - t_4$ пунктиром (рисунок 2, в).

Положив в выражении (11) $i_K = I_K \approx E_K / R_K = \beta_{ст} I_{б.обр}$, находим

$$i_p = \tau_\beta I_n (I_{б.отн} + I_{б.обр} / I_{б.зр} + I_{б.обр}). \quad (12)$$

При $U_{вх. зап} = 0$ ток $I_{б.обр} = 0$ и

$$t_p = \tau_\beta \ln s \quad (13)$$

После выхода транзистора из насыщения ток $i_K(t)$ уменьшился от значения I_K , также стремясь к $\beta_{ст} I_{б.обр}$ (рисунок 2, в), т. е.

$$i_K(t) = (I_K + \beta_{ст} I_{б.обр}) e^{-t/\tau_\beta} - \beta_{ст} I_{б.обр}, \quad (14)$$

Положив в формуле (14) $i_K = 0$, получаем

$$t_c = \tau_\beta \ln (I_{б.гр} + I_{б.обр}) / I_{б.обр} \quad (15)$$

Длительности t_f , t_p , t_c характеризуют быстродействие транзисторного ключа. Как следует из выражения (9), (12), (15), они зависят от частотных свойств используемого транзистора и параметров импульса базового тока. Порядок их величин составляет от долей единицы до единиц микросекунды.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6
E_K , В	10	12	14	16	12	13
$U_{см}$, В	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4

4 Приборы и оборудование:

- 1) Стенд мультивибраторов ЭС 8А;
- 2) Осциллограф С1 – 137.

5 Порядок выполнения работы

- 1) В зоне управления 1 необходимо установить:
 - a. - переключатель «Sp» - в нейтральное положение;
 - b. - тумблер «S₂» - в нижнее положение;
 - c. - тумблер «C_y» - произвольно;
 - d. - ручку «RK» - крайнее левое положение;

- 2) Соединить «выход генератора» с входом ключа «1»
- 3) Включить сеть тумблером «Вкл», при этом должна загореться сигнальная лампочка.
- 4) На выходе генератора установить необходимую форму импульса, амплитуду и максимальную частоту. Контроль выходного сигнала генератора осуществляется осциллографом подключением к гнездам контрольной панели.
- 5) Установить необходимое коллекторное напряжение ручкой «Ек», контролируя его по встроенному прибору "Ек".
- 6) Установить необходимое напряжение смещения ручкой «Есм», контролируя по встроенному прибору "Есм".
- 7) Осциллограммы входного ($U_{вх}$) и выходного ($U_{вых}$) напряжений ключа перенести на миллиметровку.
- 8) Переключатель « S_2 » установить в верхнее положение. При установленной ускоряющей емкости C_u посмотреть осциллограммы напряжений $U_{вх}$ и $U_{вых}$, перенести их на миллиметровку. Переключив « S_u », после просмотра осциллограмм, сделать вывод о влиянии ускоряющей емкости.
- 9) Вращая ручку «РК», посмотреть и зафиксировать по осциллограммам влияние коллекторной нагрузки на работу ключа.
- 10) Сделать вывод о работе ключа.

6 Контрольные вопросы.

- 1) Перечислите типы электронных ключей на биполярных транзисторах.
Тип электронного ключа в лабораторной работе?
- 2) Режимы работы транзистора ключевого каскада?
- 3) Объясните причины переходных процессов в ключе.
- 4) Как влияет коллекторная нагрузка на работу ключа?

Лабораторная работа №15

Исследование дифференциатора

Цель работы: Исследование работы дифференциатора на микросхеме ОУ

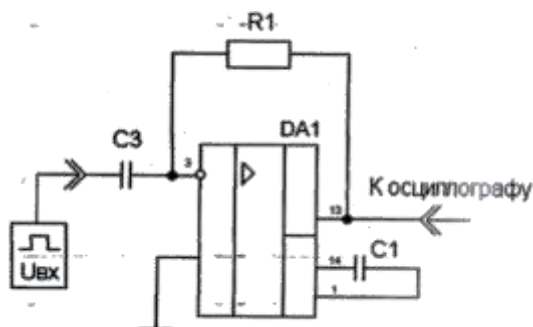
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта



2 Теоретическое обоснование.

Дифференцирующими называют цепи, у которых напряжение на выходе пропорционально производной входного напряжения, т.е.

$$u_{\text{вых}} = a \frac{du_{\text{вх}}}{dt} \quad (1)$$

Дифференцирующие цепи применяют для дифференцирования сигналов различной формы. При этом решают две основные задачи преобразования сигналов:

- получение импульсов очень малой длительности (укорочение импульсов), которые используются для запуска управляемых преобразователей электрической энергии, триггеров, одновибраторов и других устройств;
- выполнение математической операции дифференцирования (получение производной во времени) сложных функций, заданных в виде электрических сигналов, что имеет место в вычислительной технике, аппаратуре авторегулирования и др.

Схема емкостной дифференцирующей RC- цепи показана на рисунке 1. Входное напряжение $U_{вх}$ прикладывается ко всей цепи, а выходное снимается с резистора R.

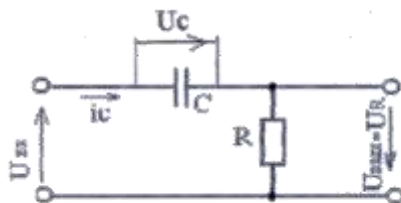


Рисунок 1 Дифференцирующая RC- цепь.

Ток, проходящий через емкость, связан с напряжением на емкости известным соотношением $i_C = C \left(\frac{du_C}{dt} \right)$. Учитывая, что этот же ток проходит через сопротивление R, для выходного напряжения получим

$$u_{вых} = i_C R = RC \frac{du_C}{dt} = RC \frac{d(u_{вх} - u_{вых})}{dt} \quad (2)$$

Если $u_{вых} \leq u_{вх}$, что имеет место, когда падение напряжения на резисторе R много меньше напряжения u_C , то уравнение (2) можно записать в приближенном виде:

$$u_{вых} \approx RC \frac{du_{вх}}{dt} \quad (3)$$

Выражение (3) соответствует выражению (2). Соотношение $u_{\text{вых}} \leq u_{\text{вх}} \approx u_c$ выполняется в том случае, если сопротивление R много меньше величины реактивного сопротивления конденсатора т.е. $R \leq 1/(\omega \cdot C)$ (для сигнала синусоидальной формы) и $R \leq 1/(\omega \cdot C)$, где ω_3 - частота высшей гармоники импульсного сигнала. Следственно, для получения дифференцирующей RC-цепи необходимо выбрать элементы R и C достаточно малыми так, чтобы выдерживалось соотношение $RC \leq T$, где T - период входного напряжения.

Рассмотрим физическое явление в емкостной дифференцирующей цепи для случая, когда на вход цепи воздействует периодическая последовательность импульсов прямоугольной формы (рисунок 2)

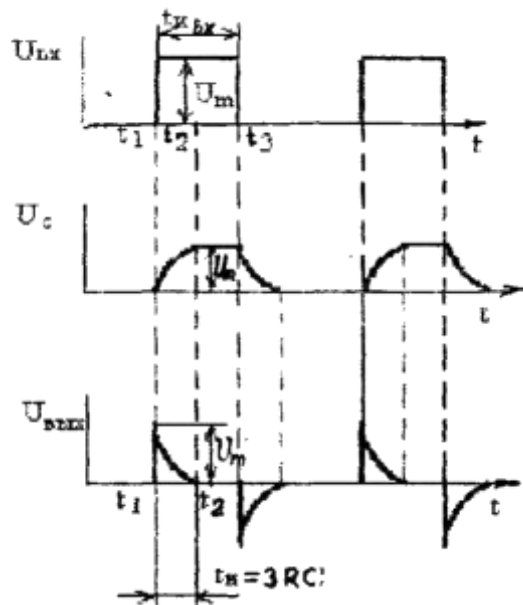


Рисунок 2 - Напряжения на элементах RC-цепи.

В момент времени t_1 напряжение на входе цепи скачком достигает значения $u_{\text{вх}} = U_m$. Учитывая, что напряжение на конденсаторе времени мгновенно изменится не может и равно в начальный момент нулю (рисунок 2), все входное напряжение прикладывается к сопротивлению R ($u_{\text{вых}} = u_R = U_m$).

В дальнейшем конденсатор C заряжается в течении времени $t_1 < t < t_3$ экспоненциально убывающим током. При этом напряжение на конденсаторе увеличивается, а на резисторе R уменьшается так, что в каждый момент

времени сумма напряжений на конденсаторе и резисторе равна приложенному напряжению, т.е. $u_C + u_R = U_m$. Через промежуток времени $t > 3RC$ (момент времени t_2) конденсатор зарядится практически до напряжения, равного приложенному напряжению U_m , u_R станет равным нулю, а зарядный ток прекратится. Этим заканчивается формирование выходного положительного остроконечного импульса длительностью $t_H \approx 3RC$, имеющего конечную амплитуду U_m . Теперь конденсатор начинает разряжаться. Его напряжение полностью приложено к резистору R . Так как в первый момент времени это напряжение равно U_m , то через резистор идет начальный ток разряда конденсатора $i_C = \frac{U_m}{R}$. Направление тока разряда противоположно направлению зарядного тока, поэтому полярность напряжения на резисторе изменяется.

По мере разряда конденсатора напряжение на нем уменьшается, а вместе с ним уменьшается падение напряжения на резисторе R . В результате формируется импульс отрицательной полярности той же длительности, так как постоянная времени цепи разряда равна постоянной времени цепи заряда. Результат воздействия последующих импульсов периодической последовательности аналогичен приведенному. Таким образом дифференцирование сопровождается укорочением длительности импульсов.

Дифференциатор на ИМС ОУ (рисунок 3) представляет собой микросхему ОУ, входным элементом которой является конденсатор, а выходное напряжение снимается с резистора R_o в цепи обратной связи.

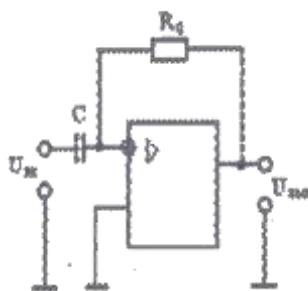


Рисунок 3- Дифференциатор на микросхеме ОУ

3 Приборы и оборудование.

- 1) Генератор Г6-43
- 2) Осциллограф С1-137
- 3) Стенд «Дифференциатор»
- 4) Блок питания «Агат».

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Собрать электрическую цепь.
- 2) Включить электронные приборы в сеть.
- 3) Измерить осциллографом параметры входного и выходного сигналов. Осциллограммы сигналов отобразить на миллиметровой бумаге.
- 4) По осциллограмме определить параметры дифференцирующего импульса.
- 5) По заданным параметрам дифференциатора на ОУ рассчитать параметры дифференцирующего импульса и отобразить на бумаге.
- 6) Сделать вывод по работе цепи.

5 Контрольные вопросы.

- 1) При каком соотношении постоянной времени RC — цепи и длительности входного импульса цепь является дифференцирующей?
- 2) Как вычислить длительность идеального дифференцирующего импульса?
- 3) В чем заключается основное отличие дифференциатора на микросхеме ОУ от дифференцирующей RC - цепи?

Лабораторная работа №16

Исследование интегратора

Цель работы: Освоение методики снятия напряжений на выходе интегратора, и определения характера функциональной зависимости выходного напряжения на основе построенных графиков.

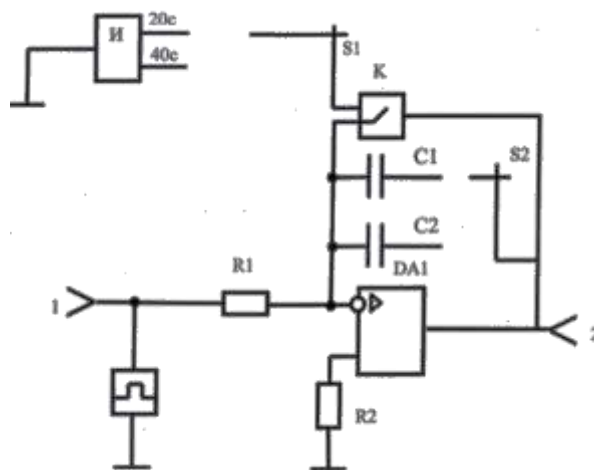
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Интегрирующие цепи

Интегрирующей называют цепь, у которой выходное напряжение пропорционально интегралу по времени от входного напряжения:

$$u_{\text{вых}} = a \int u_{\text{вх}} dt \quad (1)$$

Отличие схемы интегрирующей RC- цепи (рисунок 1) от схемы дифференцирующей цепи состоит в том, что выходное напряжение снимается с конденсатора. Применяют интегрирующие цепи чаще всего для получения изменяющихся (пилообразных) напряжений.

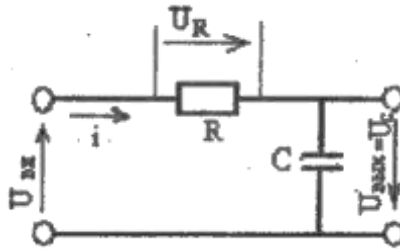


Рисунок 1- Интегрирующая RC-цепь.

Напряжение на выходе интегрирующей цепи определяется известным

равенством $u_{\text{вых}} = u_c = \frac{1}{C} \cdot \int i dt$ Когда напряжение на конденсаторе C

незначительно по сравнению с падением напряжения на резисторе R т.е.

$u_{\text{вых}} = u_c \leq u_R$, то ток i в цепи пропорционален входному напряжению, которое

прикладывается ко всей цепи. Поэтому $i = \frac{u_{\text{вх}}}{R}$ и $u_{\text{вых}} \approx \frac{1}{RC} \int u_{\text{вх}} dt$ (2)

что соответствует равенству (1). Условие интегрирования будет выполняться

при $R \geq \frac{1}{\omega C}$ для синусоидального сигнала и при $RC \geq t_{\text{и.вх}}$ для импульсного

сигнала. Рассмотрим физические процессы в интегрирующей цепи при воздействии на нее вход периодической последовательности импульсов прямоугольной формы (рисунок 2).

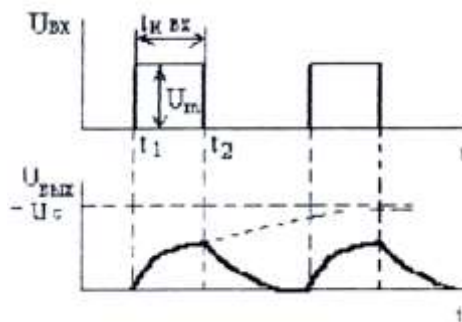


Рисунок 2 - Напряжения на входе и выходе RC-цепи.

При выполнении условия интегрирования ($\tau \geq t_{\text{и.вх}}$) в момент поступления импульса ($t=t_1$) на вход цепи все входное напряжение оказывается приложенным к резистору, а напряжение на конденсаторе равно нулю. Далее в

промежуток времени $t_1 - t_2$ происходит медленный заряд конденсатора и напряжение на нем медленно возрастает. К моменту окончания входного импульса ($t = t_2$) напряжение на конденсаторе не успевает достигнуть значения напряжения U_m . После окончания входного импульса конденсатор так же медленно разряжается. Таким образом на емкостном выходе цепи будут выделяться растянутые импульсы, имеющие форму экспоненциальной пилы.

Высококачественные интеграторы выполняют на ОУ. В цепь обратной связи вместо сопротивления включают конденсатор. Благодаря большому коэффициенту усиления и малому входному току i_y можно считать, что напряжение на инвертирующем входе близко к нулю $U_0 = 0$, а ток входной цепи равен току обратной связи. Для узла «а»:

$$i_{ax} = i_{oc} + i_y$$

При малом входном токе $i_y \approx 0$ принимают $i_{ax} = i_{oc} = \frac{U_{ax}}{R_1}$,

т.е. линейная функция $U_{вых} = -U_C = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{ax} dt$

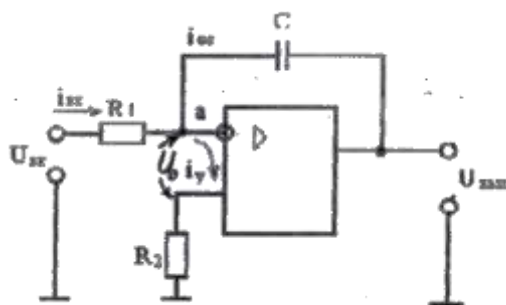


Рисунок 3- Интегратор на ИМС ОУ.

3 Приборы и оборудование:

- 1) Стенд ЭС23
- 2) Осциллограф С1 -137

4 Порядок выполнения работы

- 1) Установить и закрепить на лицевой панели стенда ЭС23 накладную панель с изображением интегратора (5). Включить стенд ЭС23 в сеть.

2) Управление электрической схемой осуществляется из функциональной зоны (5) на лицевой панели стенда.

3) Для выбора конденсатора нажать одну из кнопок выключателя S2 (для выбора необходимой постоянной интегрирования).

4) Регистрировать одновременно показания секундомера и вольтметра « $U_{\text{вых}}$ ». Выполнить измерения для двух номиналов конденсаторов. Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристики интегрирования

С 1	t,с					
	$U_{\text{вых}}$, В					
С2	t,с					
	$U_{\text{вых}}$ В					

5) Напряжение можно контролировать, подключая осциллограф к соответствующим гнездам в зоне (5).

6) Построить характеристику интегрирования.

5 Контрольные вопросы.

1) Как составить схему простейшего интегратора?

2) При каком условии RC - цепь будет интегрирующей для прямоугольного импульса?

3) В чём состоит преимущество интегратора на микросхеме ОУ?

Лабораторная работа № 17

Исследование автоколебательного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями и регулированием частоты.

Цель работы: Освоение методики снятия осциллограмм напряжений на выходе автоколебательного мультивибратора и определения параметров.

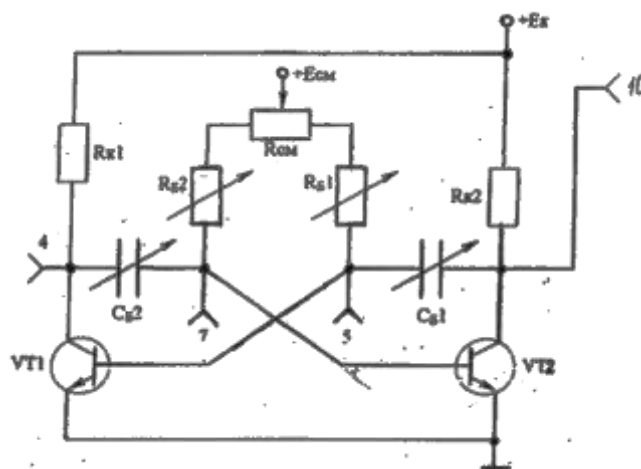
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

Мультивибратор представляет собой автогенератор релаксационного типа с прямоугольной формой выходных колебаний. Термин «автогенератор» означает, что он генерирует незатухающие колебания без какого-либо запуска извне. Поэтому наличие в схеме автогенератора звена положительной обратной связи - условие обязательное. Наиболее широкое распространение получил симметричный мультивибратор с коллекторно-базовыми связями (рисунок 1). Как и для триггера, симметричность означает идентичность симметрично расположенных элементов, т.е.

- 1) $R_{к1} = R_{к2}$; $R_{б1} = R_{б2}$;
- 2) $C_{б1} = C_{б2}$;
- 3) параметры транзисторов одинаковы.

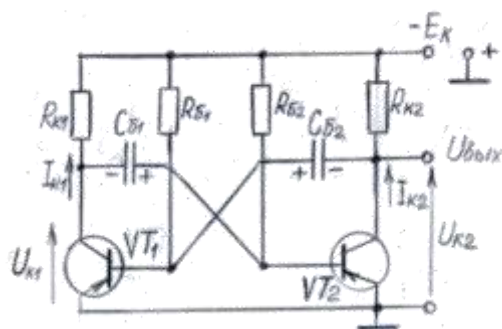


Рисунок 1 - Схема автоколебательного мультивибратора.

Мультивибратор состоит из двух усилительных каскадов по схеме ОЭ, выходное напряжение каждого из которых подается на вход другого. При подсоединении схемы к источнику питания E_k оба транзистора пропускают коллекторные токи, поскольку на базы через резисторы $R_{б1}$ и $R_{б2}$ подается отрицательное смещение. Однако такое состояние неустойчиво. Из-за наличия в схеме положительной обратной связи легко выполняется условие $\beta K \geq 1$, и двухкаскадный усилитель самовозбуждается. Начинается процесс генерации - быстрое увеличение тока одного транзистора и уменьшение тока другого.

Пусть в результате любого случайного изменения напряжений на базах или коллекторах несколько увеличится ток $I_{к1}$ транзистора VT_1 . При этом увеличится падение напряжения на резисторе $R_{к1}$ и коллектор транзистора VT_1 получит приращение положительного потенциала. Поскольку напряжение на конденсаторе $C_{б1}$ мгновенно измениться не может, то это приращение прикладывается к базе транзистора VT_2 , подзапирая его. Коллекторный ток $I_{к2}$ при этом уменьшится, напряжение на коллекторе транзистора VT_2 станет более отрицательным и, передаваясь через конденсатор $C_{б2}$ на базу транзистора VT_1 , еще более отпирает его, увеличивая ток $I_{к1}$. Этот процесс протекает лавинообразно и заканчивается тем, что транзистор VT_1 входит в режим насыщения, а транзистор VT_2 - в режим отсечки. Схема переходит в одно из своих временных устойчивых состояний (квазиустойчивое состояние). При этом открытое состояние транзистора VT_1 обеспечивается смещением от источника E_k через резистор $R_{б1}$ а запертое состояние транзистора VT_2 -

положительным напряжением на конденсаторе C_{61} , который через открытый транзистор VT_1 включен в промежутке база - эмиттер транзистора VT_2 . На временных графиках (рис. 2) описанные процессы соответствуют моменту времени $t = 0$. Теперь конденсатор C_{62} быстро заряжается по цепи $+E_k$ - эмиттер - база VT_1 - C_{62} - R_{k2} - E_k до напряжения E_k . Конденсатор C_{61} , заряженный в предыдущий период, перезаряжается через резистор R_{62} и открытый транзистор VT_1 током источника питания E_k и напряжение на нем стремится уменьшиться до $-E_k$ (рис. 2). В момент времени t_1 , напряжение $U_{C61} = U_{62}$ меняет знак, что вызывает отпирание транзистора VT_1 и появление тока I_{k2} . Увеличение тока I_{k2} приводит к процессу, аналогичному описанному при увеличении тока I_{k1} . В результате транзистор VT_2 войдет в режим насыщения, а транзистор VT_1 - в режим отсечки (второе временно устойчивое состояние). В промежуток времени $t_1 - t_2$ происходит зарядка конденсатора C_{61} и перезарядка C_{62} .

Переходя периодически из одного временно устойчивого состояния в другое, мультивибратор формирует выходное напряжение, снимаемое с коллектора любого транзистора, почти прямоугольной формы. Напряжение на базе любого из транзисторов изменяется по экспоненциальному закону (рисунок 2) - для перезарядки конденсатора C_{61}

$$U_6 = 2E_k e^{-1/\tau_6} - E_k,$$

где $\tau_6 = R_6 C_6$; $R_{61} = R_{62} = R_6$; $C_{61} = C_{62} = C_6$. При $t = t_1$, и $U_6 = 0$.

Из предыдущего уравнения для длительности одного импульса имеем

$$t_u = \tau_6 \ln 2 = 0,7 R_6 C_6.$$

Полный период колебаний мультивибратора $T = 2t_u = 1,4 R_6 C_6$.

Следовательно, частота генерируемых колебаний определяется скоростью перезарядки времязадающих конденсаторов C_{61} и C_{62} . В несимметричных мультивибраторах транзисторы обычно выбирают одинаковыми, коллекторные нагрузки - равными, однако $R_{61} \neq R_{62}$, $C_{61} \neq C_{62}$. Чем короче должен быть один из импульсов, тем меньшей выбирают соответствующую постоянную времени.

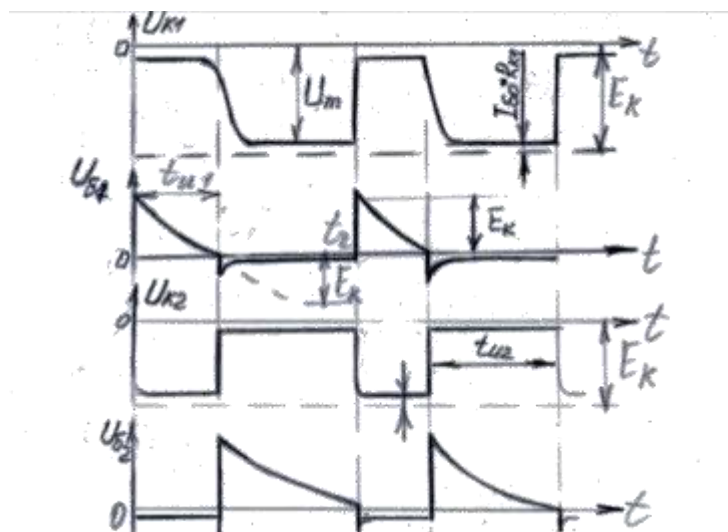


Рисунок 2- Осциллограммы напряжений.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6
$E_K, В$	10	12	14	16	12	13
$U_{см}, В$	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4

4 Приборы и оборудование.

- 1) СтендЭС8А
- 2) Осциллограф С1- 137

5 Порядок выполнения работы.

- 1) Включить сеть тумблером <ВКЛ>, при этом должна загореться сигнальная лампочка
- 2) Установить необходимое коллекторное напряжение ручкой <Ек>, контролируя его встроенным вольтметром <Ек>.
- 3) Установить необходимое напряжение смещения ручкой <Есм>, контролируя его встроенным вольтметром <Есм>.
- 4) Установить $C_B = 0,15 мкФ$, а величины сопротивлений R_R и $R_{см}$ в произвольное среднее положение. Снять осциллограмму выходных импульсов мультивибратора. Контрольные гнезда $[10; \perp]$ или $[4; \perp]$
- 5) Установить $C_B = 0,015 мкФ$, остальные параметры мультивибратора оставить прежними. Снять осциллограмму $U_{вых}$.

- 6) Изменить E_k , остальные параметры схемы оставить прежними. Снять осциллограмму $U_{\text{вых}}$.
- 7) Изменить $E_{\text{см}}$, остальные параметры схемы оставить прежними. Снять осциллограмму $U_{\text{вых}}$.
- 7) Изменить сопротивление в цепи базы R_B . Остальные параметры схемы оставить без изменений. Снять осциллограмму $U_{\text{вых}}$.
- 8) Изменить величину $R_{\text{см}}$, другие параметры схемы оставить прежними. Снять осциллограмму $U_{\text{вых}}$.
- 9) Сделать вывод по работе мультивибратора.

6 Контрольные вопросы

- 1) Что означает термин «автогенератор»?
- 2) Какой мультивибратор называется симметричным?
- 3) Как определяются длительность импульса и период колебаний мультивибратора?

Лабораторная работа №18

Исследование ждущего мультивибратора

Цель работы: Освоение методики снятия осциллограмм напряжений на выходе ждущего мультивибратора при поступлении запускающих импульсов, установления характера зависимости параметров выходного импульса от входного.

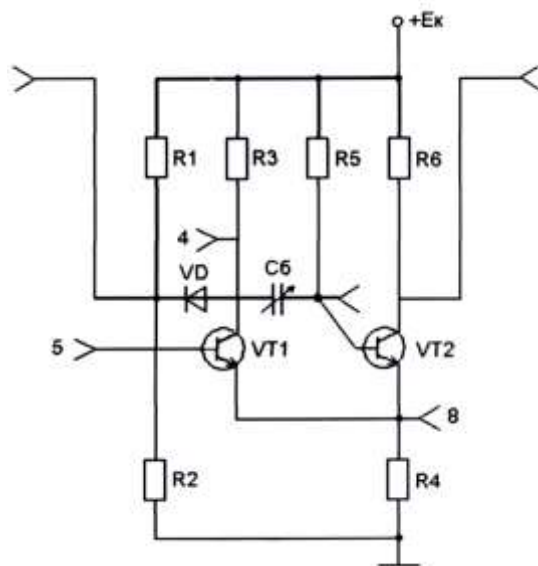
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

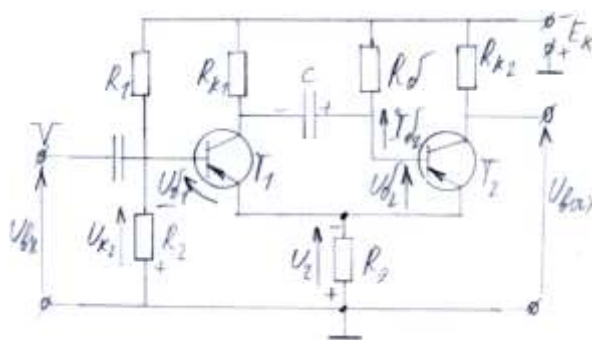
- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники;

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Одновибратор (ждущий мультивибратор) может быть получен из мультивибратора с самовозбуждением, если его принудительно запереть в одном из временно устойчивых состояний, превратив его в устойчивое. Для получения прямоугольных импульсов заданной длительности и амплитуды часто применяют схему одновибратора с эмиттерной связью (рисунок 1).



насыщения, так как через резистор R_3 проходит достаточно большой базовый ток I_{b2} . За счет эмиттерного тока транзистора VT_2 на общем резисторе R_D создается падение напряжения $U_3 = I_{c2} R_3$ с указанной на рисунке полярностью, а за счет источника питания E_K на нижнем плече делителя $R_1 R_2$ - падение напряжения U_{R2} .

При выполнении условия $|U_3| > |U_{R2}|$ на базу транзистора VT₁ подается положительное напряжение U_{61} , запирающее его. Конденсатор С при этом оказывается заряженным до напряжения $u_c = E_k - U_3$. При подаче на вход одновибратора в момент времени t_1 , (см. рисунок 2) запускающего отрицательного импульса с амплитудой, превышающей напряжение на базе, транзистор VT₁ начинает открываться и напряжение на его коллекторе увеличивается. Положительное приращение напряжения передается через конденсатор С на базу транзистора VT₂, запирая его. Уменьшение падения напряжения на резисторе R₃ способствует дальнейшему отпиранию транзистора VT₂, и процесс нарастает лавинообразно, заканчиваясь полным запирающим транзистора VT₂ и насыщением транзистора VT₁. Такое состояние одновибратора является временно устойчивым, поскольку теперь конденсатор С начинает перезаряжаться по $+E_k$ (корпус) – R₃ – эмиттер – коллектор VT₁ – С – R_{B2} – ($-E_k$) и напряжение на нем, а следовательно, на базе транзистора VT₂ снижается (рисунок 2).

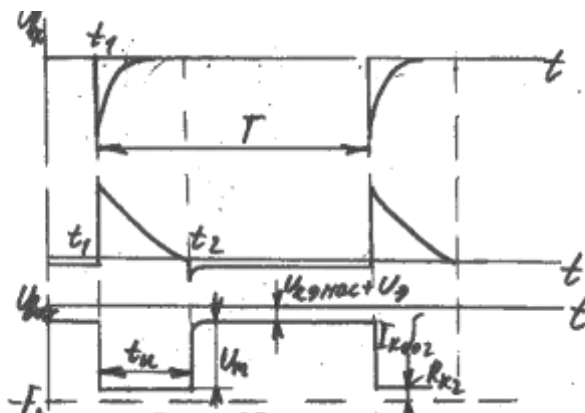


Рисунок 2 - Временные диаграммы

Когда это напряжение в момент времени t_2 достигает нулевого уровня, транзистор VT_2 открывается, и в схеме возникает процесс опрокидывания, аналогичный описанному, в результате которого одновибратор возвращается в исходное устойчивое состояние. Схема «ждет» следующего запускающего импульса.

Длительность импульса, формируемого на коллекторе транзистора VT_2 , от момента подачи запускающего импульса до временно устойчивого состояния определяется тем же соотношением, что и для автоколебательного мультивибратора: $t_u = 0,7CR_6$.

Время восстановления одновибратора, определяемое временем зарядки конденсатора: $t_6 \approx 3\tau_{зар} \approx 3C(R_{k1} + R_3)$

Для нормальной работы одновибратора период повторения запускающих импульсов не должен быть меньше полного цикла его работы: $T \geq t_u + t_6$

3 Приборы и оборудование

- 1) Стенд ЭС8А
- 2) Осциллограф С1 – 137

4 Порядок выполнения работы

- 1) Включить сеть тумблером <ВКЛ>, при этом должна загореться сигнальная лампочка.
- 2) Установить необходимое коллекторное напряжение ручкой <Ек>, контролируя его встроенным вольтметром <Ек>.
- 3) Установить необходимую амплитуду и частоту запускающих импульсов, контролируя его осциллографом. Контрольные гнезда $[1; \perp]$.
- 4) Снять осциллограммы импульсов мультивибратора на контрольных выводах. Контрольные гнезда $[5; \perp]$ или $[10; \perp]$

- 5) Изменить частоту запускающих импульсов мультивибратора, амплитуду оставить прежней. Снять осциллограммы .
- 6) Изменить E_k , остальные параметры схемы оставить прежними. Снять осциллограммы контрольных напряжений.
- 7) Изменяя частоту запускающих импульсов, определить частоту срыва генерации, объяснить причину срыва.
- 8) Сделать вывод по работе одновибратора.

5 Контрольные вопросы.

- 1) Как из мультивибратора получить одновибратор?
- 2) Как рассчитывается длительность импульса одновибратора?
- 3) Чему равно время восстановления одновибратора?
- 4) Каково должно быть соотношение между периодом мультивибратора периодом повторения запускающих импульсов?

Лабораторная работа №19

Исследование мультивибраторов на ИМС

Цель работы: Освоение методики снятия осциллограмм напряжений на выходе мультивибраторов при изменении его параметров, определения параметров последовательности импульсов

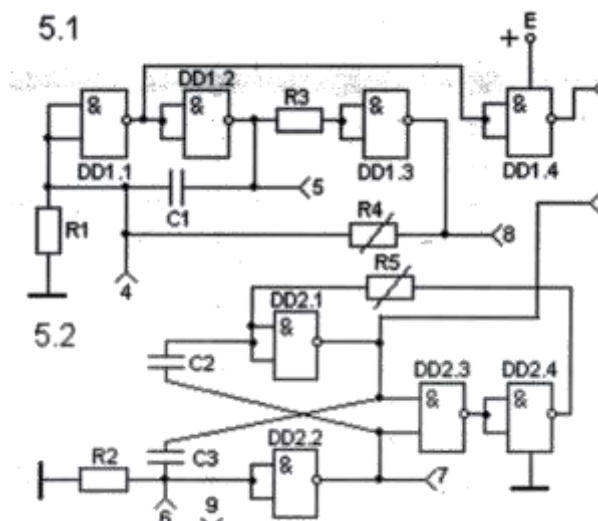
Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- определять и анализировать основные параметры электронных схем и устанавливать по ним работоспособность устройств электронной техники.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Рассмотрим схему автоколебательного мультивибратора на универсальных ТТЛ-элементах И-НЕ, работающих в режиме инверторов. Схема такого мультивибратора и временная диаграмма его работы приведена на рисунке 1.

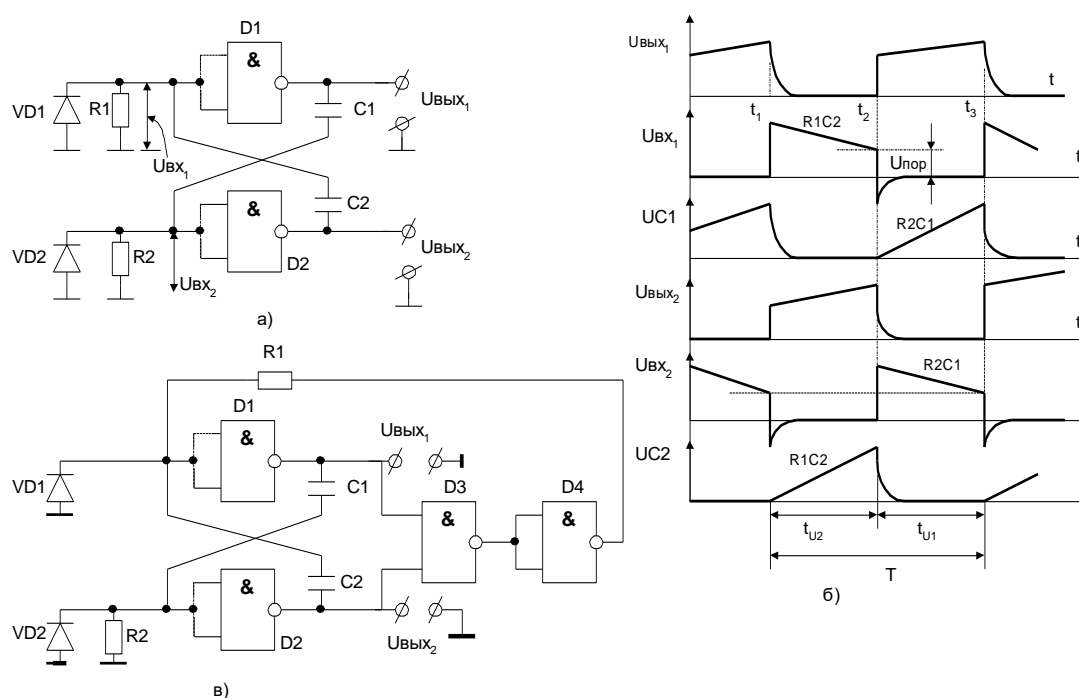


Рисунок 1 – Автоколебательный мультивибратор на логических элементах и временные диаграммы его работы.

Логические элементы схемы D1 и D2 поочередно переключаются из одного состояния в другое. Если на выходе D1 напряжение соответствует уровню логической 1, то на выходе D2 – логическому 0. Пусть в интервале времени $0 - t_1$ элемент D1 закрыт, а элемент D2 открыт. Тогда конденсатор C1 заряжается выходным током D1 по цепи: “+” E_{Π} , C1, R2, “общая точка”. Пока ток заряда достаточно большой, на R2 создается падение напряжения, достаточное для поддержания D2 в открытом состоянии. По мере заряда конденсатора $U_{R2} = U_{ВХ2}$ уменьшается и как только становится меньше $U_{ПОР}$ элемент D2 начинает закрываться, напряжение на его выходе возрастает. Через C2 это изменение передается на вход D1, последний начинает открываться и напряжение на его выходе уменьшается.

Развивается лавинообразный процесс опрокидывания схемы: D1 открывается, на его выходе устанавливается уровень логического 0; D2 закрывается и на его выходе формируется уровень логической 1. Конденсатор C1 быстро разряжается через открытый диод VD2. Начинается заряд конденсатора C2, обеспечивая ток заряда падение напряжения на R1, поддерживающее D1 в состоянии 1.

Постоянные времени заряда и разряда конденсаторов соответственно равны:

$$\tau_{ЗАР} = C(r_{ВЫХ1} + R) ; \quad \tau_{РАЗР} = C(r_{ВДПД} + r_{ВЫХ0}) ,$$

где $r_{ВЫХ1}$ и $r_{ВЫХ0}$ – соответственно, выходное сопротивление ИМС в закрытом состоянии (на выходе напряжение равно уровню логической единицы) и открытом состоянии (выходное напряжение равно уровню логического нуля), $r_{ВДПД}$ – сопротивление открытого диода.

Длительности импульсов на выходах схемы определяются по формулам:

$$t_{И1} = C_1(r_{ВЫХ1} + R_2) \ln \frac{U_{R\max}}{U_{ПОР}} , \quad t_{И2} = C_2(r_{ВЫХ1} + R_1) \ln \frac{U_{R\max}}{U_{ПОР}} ,$$

где $U_{R_{MAX}} = (U_{BЫX}^1 - U_{BЫX}^0) \frac{R}{R + r_{BЫX1}}$. Если учесть, что $U_{BЫX}^0 \approx 0$, а $R \gg r_{BЫX1}$ и принять

$C1 = C2$, $R1 = R2$, то период колебаний на выходе схемы можно определить как

$$T = 2CR \ln \frac{U_{BЫX}^1}{U_{ПОР}}.$$

Резисторы R выбираются из условий:

$$R_{max} \approx \frac{R_1}{E/U_{ПОР} - 1}, \quad R_{min} \approx \frac{R_{BH}}{E_1/U_{ПОР} - 1},$$

где E – напряжение питания ТТЛ элемента, R_{BH} – сопротивление источника сигнала, E_1 – уровень логической единицы входного сигнала.

Форма выходного импульса рассматриваемой схемы отличается от прямоугольной, т.к. вершина не является плоской. Это объясняется неодинаковыми значениями сопротивлений $r_{BЫX1}$ и $r_{BЫX0}$ элементов $D1$ и $D2$ ($r_{BЫX1} > r_{BЫX0}$). Из-за деления положительного перепада выходного напряжения между $r_{BЫX1}$ и входным сопротивлением каскада на другом ЛЭ амплитуда этого перепада напряжения меньше амплитуды отрицательного перепада.

Недостатком рассмотренной схемы является возможное жесткое возбуждение колебаний в момент подключения напряжения питания. Если напряжение нарастает медленно и небольшими токами, возможна ситуация, когда ни на одном из резисторов $R1$ или $R2$ напряжение не превысит $U_{ПОР}$. Тогда оба элемента будут закрыты. С целью предотвращения этого явления в схему вводятся дополнительные логические элементы $D3$ и $D4$ (рисунок 1, в). Если на выходе $D1$ и $D2$ одновременно появляются сигналы логической 1, на выходе элемента $D3$ формируется логический 0, на выходе $D4$ – логическая 1, которая переводит $D1$ в состояние 0. В результате $D3$ закрывается, $D4$ открывается и заземляет $R1$, схема превращается в ранее рассмотренный вариант.

3 Приборы и оборудование

- 1) Стенд ЭС8А
- 2) Осциллограф С1 – 137

4 Порядок выполнения работы

- 1) Установить и закрепить на лицевой панели стенда сменную панель <5>.
- 2) Включить стенд ЭС8А в сеть тумблером <ВКЛ> загорится сигнальная лампа <СЕТЬ>.
- 3) Переключатель <S1> в зоне «Нагрузка» установить в положение «1».
- 4) Для нескольких положений регулятора <R4> в рабочей зоне «5» определить по осциллографу параметры выходных напряжений:

- длительность импульса t_u ;
- длительность паузы t_n ;
- величину амплитудного значения импульса U_m ;

Рассчитать

- период следования $T = t_u + t_n$;
- частоту импульсов $f = 1/T$;
- скважность коэффициента заполнения $q = T / t_u$;

- 5) Переключатель <S2> в зоне «Нагрузка» установить в положение «2»
- 6) Для нескольких положений регулятора <R5> в рабочей зоне «5» определить по осциллографу параметры выходных напряжений:

- длительность импульса t_u ;
- длительность паузы t_n ;
- величину амплитудного значения импульса U_m ;

Рассчитать:

- период следования $T = t_u + t_n$;
- частоту импульсов $f = 1/T$;
- скважность $q = T / t_u$;
- коэффициент заполнения $\gamma = t_u / T$;

- 7) Отключить стенд от сети тумблером <ВКЛ>, при этом сигнальная лампа <СЕТЬ> должна погаснуть.
- 8) Сделать вывод по работе авто колебательных мультивибраторов на логических элементах.

5 Контрольные вопросы

- 1) Сколько логических элементов И - НЕ содержит простейшая схема автоколебательного мультивибратора?
- 2) Как защитить входы микросхем от отрицательных перепадов напряжения?
- 3) Как можно изменять параметры импульсов мультивибраторов на цифровых ИМС в автоколебательном режиме?

Практическая работа № 1

Расчет однофазного выпрямителя с активным сопротивлением нагрузки

Цель работы: Формирование умений подбора диодов по допустимому току I_d и обратному напряжению U_b для работы в качестве вентилей в схеме однополупериодного выпрямителя.

Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- производить подбор элементов радиоэлектронной аппаратуры по заданным параметрам.

1 Теоретический материал

Параметры выпрямительных диодов.

- *Наибольший выпрямительный ток* $I_{пр\ max}$ - наибольшее допустимое среднее значение выпрямленного тока за период;
- *Прямое падение напряжения* $U_{пр}$ - напряжение на диоде при протекающем через него установленном выпрямленном токе;

- *Наибольшее обратное напряжения* $U_{обр\ max}$ - напряжение, которое может быть приложено к диоду в обратном направлении в течении длительного времени без опасности нарушения нормальной работы диода;

- *Наибольший обратный ток* $I_{обр\ max}$ - ток через диод в обратном направлении при приложенном к нему наибольшем допустимом обратном напряжении;

- *Наибольшая допустимая мощность рассеивания* $P_{рас\ тах}$ - допустимое значение рассеиваемой мощности, при которой обеспечивается заданная надежность при длительной работе диода.

- *Диапазон частот* Δf - полоса частот, в пределах которой выпрямленный ток диода не уменьшается ниже заданного уровня.

Способы включения диодов.

При разработке выпрямительных схем может возникнуть необходимость получить выпрямленный ток, превышающий предельно допустимое включение одностипных диодов (рисунок 1).

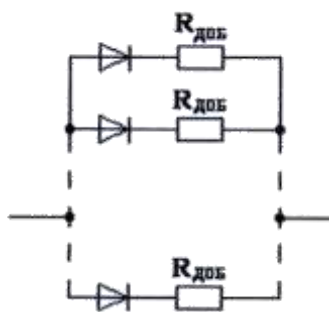


Рисунок 1 - Параллельное соединение выпрямительных диодов.

Для выравнивания токов, протекающих через диоды, последовательно с диодами включаются омические добавочные резисторы $R_{доб}$ порядка нескольких Ом. Это позволяет искусственно уравнивать прямые сопротивления диодов, которые для разных образцов приборов могут быть существенно различными.

В высоковольтных цепях часто используют последовательное соединение диодов (рисунок 2).

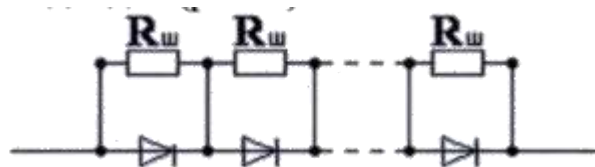


Рисунок 2 - Последовательное соединение выпрямительных диодов.

При таком соединении напряжение распределяется между всеми диодами. Для обеспечения надежной работы диодов параллельно каждому из них следует включить резистор (порядка 100 кОм) для выравнивания обратных сопротивлений. В этом случае напряжения на всех диодах будут равными.

Выпрямительные схемы.

Однофазный однополупериодный выпрямитель – простейшая схема с одним диодом представлена на рисунке 3.

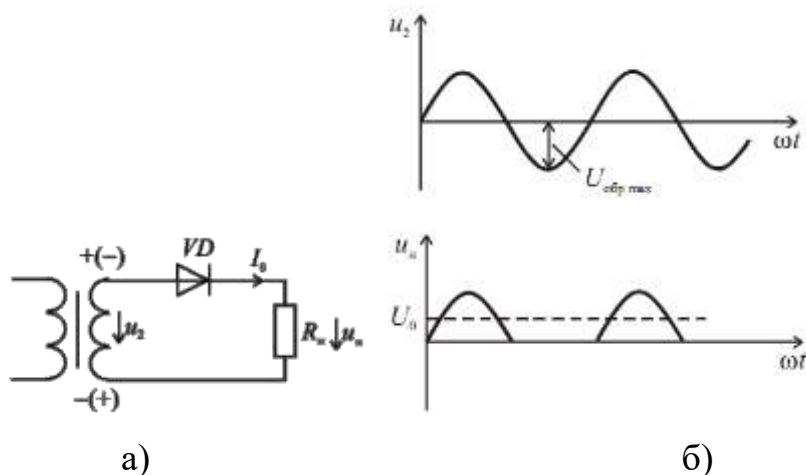


Рисунок 3 – Однофазный однополупериодный выпрямитель:

а - схема; б - временные диаграммы работы.

Однофазный выпрямитель со средней точкой состоит из однофазного трансформатора с двумя одинаковыми вторичными

обмотками, имеющими общую точку, и двух диодов. Схема выпрямителя представлена на рисунке 4.

Однофазный мостовой выпрямитель состоит из однофазного трансформатора с одной первичной и одной вторичной обмоток и симметричной схемы на четырех диодах (мостовой схемы). Схема выпрямителя представлена на рисунке 5.

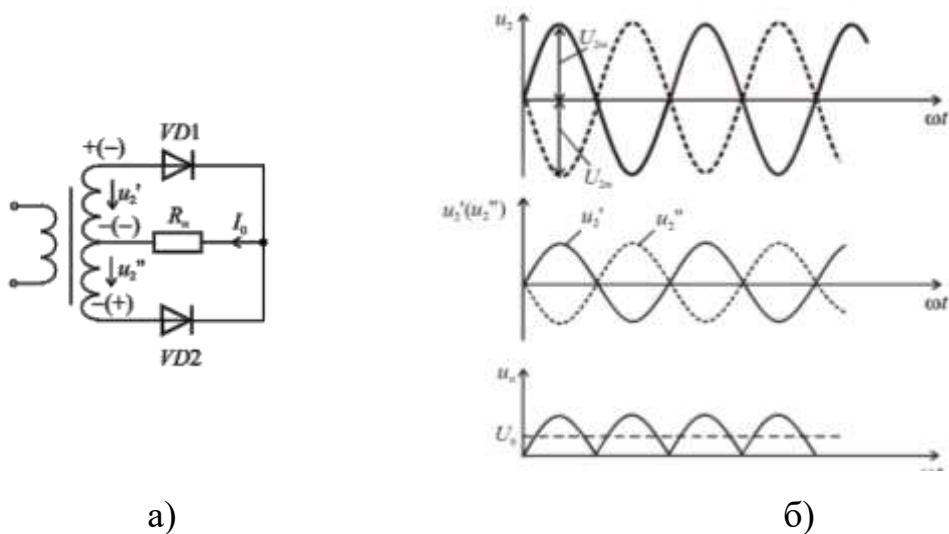


Рисунок 4 – Выпрямитель со средней точкой:

а – схема; б – временные диаграммы.

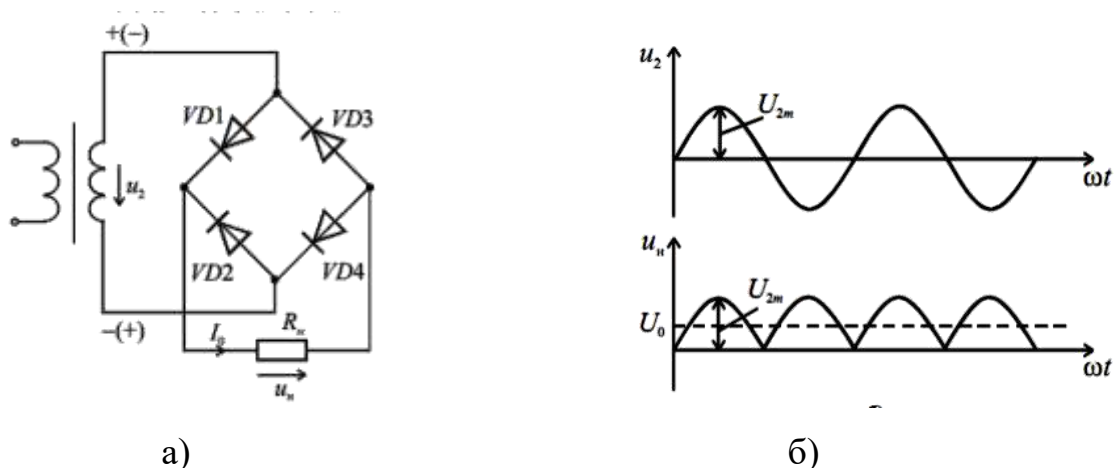


Рисунок 5 – Мостовой выпрямитель: а – схема; б - временные

диаграммы.

2 Порядок расчета.

1) Расчет среднего выпрямленного тока $I_d = \frac{P_d}{U_d}$.

2) Расчет обратного напряжения

- однополупериодная схема и схема со средней точкой $U_b = \pi U_d$;
- мостовая схема $U_b = 0,5\pi U_d$.

3) Выбор диодов проводят

- По максимальному прямому току $I_{пр доп.} \geq I_d$;
- По допустимому обратному напряжению $U_{обр.} \geq U_b$.

Параметры диодов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры диодов.

Тип диода	I _{доп} , А	U _{обр} В	Тип диода	I _{доп.} , А	U _{обр} , В
Д205	0,4	400	Д243	5	200
Д207	0.1	200	Д243А	10	200
Д209	0,1	400	Д243Б	2	200
Д210	0,1	500	Д217	0.1	800
Д2П	0,1	600	Д218	0.1	1000
Д214	5	100	Д221	0.4	400
Д214А	10	100	Д222	0.4	600
Д214Б	2	100	Д224	5	50
Д215	5	200	Д224А	10	50
Д015Л	10	200	Д224Б	2	50
Д215Б	2	200	Д226	0.3	400
Д233	10	500	Д226А	0.3	300
Д233Б	5	500	Д231	10	300
Д234Б	5	600	Д231Б	5	300
Д242	5	100	Д232	10	400
Д242А	10	100	Д232Б	5	400
Д242Б	2	100	Д244	5	50
Д244А	10	50	Д303	3	150
Д244Б	2	50	Д304	3	100
Д302	1	200	Д305	6	50

3 Варианты заданий.

Таблица 2- Варианты заданий.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U _d , В	100	50	100	100	50	40	10	30	60	30
P _d , Вт	100	500	250	50	50	120	50	60	150	15
Тип схемы	Однополупериодная			Мостовая				Со средней точкой.		

4 Контрольные вопросы.

- 1) Каков порядок напряжений на диоде в проводящий полупериод?
- 2) Каков порядок напряжений на диоде в непроводящий полупериод?
- 3) В какой схеме обратное напряжение меньше по сравнению с другими схемами?
- 4) В каких случаях диоды в выпрямительных схемах включают
 - последовательно?
 - параллельно?

Практическая работа №2

Определение параметров импульсного сигнала

Цель работы: Формирование умений осуществлять расчет параметров одиночного реального прямоугольного импульса.

Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- производить подбор элементов радиоэлектронной аппаратуры по заданным параметрам.

1 Теоретический материал.

Под электрическим импульсом понимают отклонение напряжения или тока от некоторого постоянного уровня, наблюдаемого в течение времени, меньшего или сравнимого с длительностью переходных процессов. Прямоугольные импульсы находят частое применение, но их форма не всегда бывает идеальной.

Параметры импульса.

Реальный прямоугольный импульс представлен на рисунке 1.

Длительность. За активную длительность импульса принимают промежуток времени, измеренный на уровне, соответствующем половине амплитуды ($0,5U_m$). Иногда длительность импульса определяют по уровню $0,1 U_m$ или основанию.

Амплитуда – это наибольшее значение напряжения или тока

Длительность фронта импульса. Нарастание импульса называется передним фронтом. Это интервал времени (t_Φ) нарастания импульса от уровня $0,1U_m$ до $0,9 U_m$.

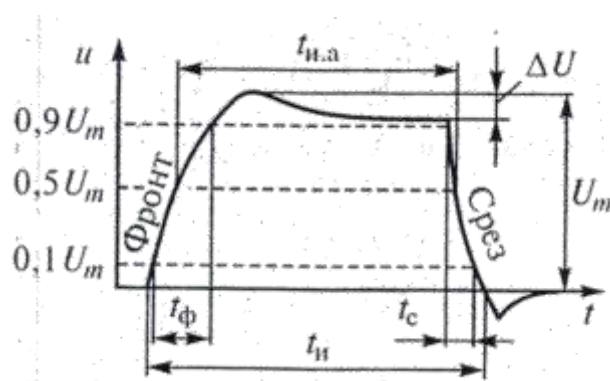


Рисунок 1 – Реальный прямоугольный импульс.

Длительность среза импульса. Спад импульса называется срезом. Срез – это интервал времени (t_c), за который импульс уменьшается от уровня $0,9U_m$ до уровня $0,1 U_m$.

Крутизна импульса – это скорость нарастания импульса. Для прямоугольного импульса приближенно $s_\Phi = U_m / t_\Phi$ [В/ с].

2 Варианты заданий

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Масштаб M_U [В/см]	0,5	2,0	5,0	1,0	0,05	10	0,2	0,4
Масштаб M_t [мс/см]	5,0	1,0	0,1	0,2				
Масштаб M_t [мкс/см]					5,0	0,2	10	0,1

2 Порядок расчета

1) Расчет длительности импульса:

- Активная длительность импульса $t_{u.a} = M_t \cdot l_t$ [с],

где M_t – масштаб по оси времени, l_t – длина отрезка времени в сантиметрах;

- По аналогии, длительность импульса по основанию $t_{осн.} = M_t \cdot l_t$ [с]

Длительность импульса по уровню $0,1U_m$ $t_{0,1U_m} = M_t \cdot l_t$ [с]..

2) Длительность фронта $t_\phi = M_t \cdot l_{t\phi}$ [с],

где M_t – масштаб по оси времени, $l_{t\phi}$ – длина отрезка времени фронта импульса в сантиметрах.

3) Длительность среза $t_c = M_t \cdot l_{tc}$ [с], , где M_t – масштаб по оси времени, l_{tc} – длина отрезка времени среза (спада) в сантиметрах.

4) Амплитуда $U_m = M_U \cdot l_U$ [В], где M_U – масштаб по оси напряжений, l_{Um} – длина отрезка амплитуды в сантиметрах.

5) Крутизна фронта $s_\phi = U_m / t_\phi$ [В/с].

4 Контрольные вопросы.

1) Каковы величины t_ϕ и t_c идеального прямоугольного импульса?.

2) Величина крутизны s для идеального прямоугольного импульса.

Практическая работа №3

Расчет схемы автоколебательного мультивибратора

Цель работы: Формирование умений осуществлять расчет

автоколебательного мультивибратора на транзисторах.

Знания (актуализация):

- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;
- принцип включения электронных приборов и построения электронных схем;
- типовые узлы и устройства электронной техники.

Умения:

- производить подбор элементов радиоэлектронной аппаратуры по заданным параметрам.

1 Теоретический материал

Мультивибратор относится к генераторам релаксационных колебаний. Релаксационными называют колебания, в которых медленные изменения чередуются со скачкообразными. На коллекторах транзисторов мультивибратора формируются прямоугольные импульсы: плоская вершина – когда транзистор заперт и его коллектор имеет относительно высокий потенциал; пауза между импульсами – когда транзистор насыщен и потенциал коллектора мал, а фронты – когда транзистор переходит из запертого состояния в насыщенное и наоборот.

Мультивибратор, собранный по основной схеме (рисунок 1) представляет собой двухкаскадный резистивный усилитель на транзисторных ключах – инверторах. Схема является симметричной, если оба ее плеча идентичны, т.е. идентичны транзисторы VT1 и VT2 и $R_{K1} = R_{K2}$, $R_{B1} = R_{B2}$, $C_1 = C_2$.

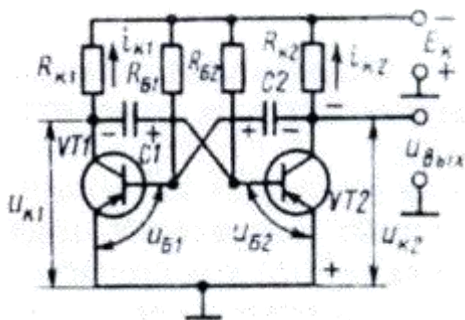


Рисунок 1 – Транзисторный мультивибратор.

2 Порядок расчета.

Дан тип транзистора. Следующие исходные данные нужно взять из справочника по транзисторам:

- Максимально допустимое напряжение коллектор - база $U_{КБдоп}$;
- Частота транзистора f_{β} ;
- Максимально допустимый ток коллектора $I_{Кдоп}$

1. Найдем максимально допустимое напряжение питания E_k

$$E_K = U_{KB\partial on} / 2$$

2. Найдем Максимальную частоту колебаний мультивибратора f_{max}

$$f_{max} = f_{\beta} / 0,7$$

3. Найдем амплитуду импульсов U_m для максимально допустимого напряжения питания

$$U_m = E / 1,2$$

4. Найдем сопротивление коллекторного резистора R_K ;

$$R_{K\ min} = E_K / I_{K\partial on}$$

$$R_K \leq (0,05 \dots 0,1) \cdot E_K / I_{K\max},$$

где $I_{K\max}$ – обратный ток пр максимальной рабочей температуре.

Выберем значение сопротивления R_K из промежутка $[R_{K\ min} ; R_{K\max}]$.

Желательно круглое число (кратное 10, 100).

5. Найдем сопротивление базового резистора R_B ($\beta = 100$);

$$R_B = 100 \cdot R_K / 2$$

6. Найдем период колебаний мультивибратора T ;

$$T = 1/f$$

7. Найдем минимальную длительность импульсов t_H

$$t_H = T/2$$

8. Найдем емкость хранирующих конденсаторов для этой минимальной длительности. Из формулы для периода $T = 1,4 \cdot R_B \cdot C$ найдем емкости конденсаторов $C1$ и $C2$:

$$C1 = C2 = t_H / (0,7 \cdot R_B)$$

3 Варианты заданий

Вариант	Тип транзисторов VT1 и VT2	Вариант	Тип транзисторов VT1 и VT2	Вариант	Тип транзисторов VT1 и VT2
1	КТ313А	5	КТ805А	9	КТ373В
2	КТ604А	6	КТ815Г	10	КТ360А
3	КТ629А	7	КТ361А	11	КТ360Б
4	КТ331А	8	КТ803А	12	КТ361Д

4 Контрольные вопросы

1) Как изменятся параметры импульсов симметричного автоколебательного мультивибратора если:

- а) увеличить емкость конденсатора C_1 ;
- б) увеличить сопротивление резистора R_{B1} ;
- в) уменьшить емкость конденсатора C_2 ;
- г) уменьшить сопротивление резистора R_{B2} .

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основные источники:

1. Гальперин М. В. Электронная техника [Электронный ресурс]. Учебник - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2018. — 352 с.
2. Гальперин М.В. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]. Учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2017. — 480 с.
3. Методические рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине "Электронная техника" для студентов специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям) (базовая подготовка) [Текст] / В.В. Лыкова; ЮУрГТК. - Челябинск: РИО, 2019. - 115 с.
4. Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ по учебной дисциплине "Электронная техника" для студентов специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям) (базовая подготовка) [Текст] / сост. В.В. Лыкова; ЮУрГТК. - Челябинск : РИО, 2019. - 114 с. : схемы.

Дополнительные источники:

5. Комиссаров Ю. А. Бабокин Г. И. Саркисова П. Д. Общая электротехника и электроника [Электронный ресурс]. Учебник под ред. П.Д. Саркисова.— М.: ИНФРА-М, 2018. — 479 с.
6. Славинский А.К., Туревский И.С.. Электротехника с основами электроники [Электронный ресурс]: учебное пособие - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 448 с

Интернет- ресурсы:

<https://www.window.edu.ru>

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

ОТЧЕТ

по выполнению лабораторных и практических работ
по учебной дисциплине

«Электронная техника»

Выполнил:

Группа:

Проверил:

Челябинск, 2019