

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)

Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)



УТВЕРЖДАЮ  
директор УрТИСИ СибГУТИ  
Минина Е.А.  
« 28 » 11 2025 г.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Б1.В.06 Электронные компоненты и схемотехника

### телекоммуникационных устройств


Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) / специализация: **Инженерия телекоммуникаций**

Форма обучения: **очная**

Год набора: 2026

Разработчик (-и):  
профессор

  
\_\_\_\_\_ /О.Д.Лобунец/  
подпись

старший преподаватель

  
\_\_\_\_\_ /И.А.Малкова/  
подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи (ИТиМС)

Протокол от 27.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ /Н.В. Будылдина/  
подпись

Екатеринбург, 2025

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»  
(СибГУТИ)  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге  
(УрТИСИ СибГУТИ)

УТВЕРЖДАЮ  
директор УрТИСИ СибГУТИ  
\_\_\_\_\_ Минина Е.А.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### Б1.В.06 Электронные компоненты и схемотехника

#### телекоммуникационных устройств

Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) / специализация: **Инженерия телекоммуникаций**

Форма обучения: **очная**

Год набора: 2026

Разработчик (-и):

профессор

\_\_\_\_\_ /О.Д.Лобунец/  
подпись

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ /И.А.Малкова/  
подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи (ИТиМС)

Протокол от 27.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ /Н.В. Будылдина/  
подпись

Екатеринбург, 2025

## 1. Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин/практик)
ПК-3 Способен к устранению технических проблем на стационарном оборудовании связи	ПК-3.2 Знает теоретические основы работы, конструкцию, параметры компонентов и устройств телекоммуникационных систем	1	-

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – зачет, экзамен

## 2. Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1 Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Индикатор освоения компетенции	Показатель оценивания	Критерий оценивания
ПК-3.2 Знает теоретические основы работы, конструкцию, параметры компонентов и устройств телекоммуникационных систем	<p>Знает принцип работы коммутационного оборудования коммутационных систем и сетей передачи данных, основы технической эксплуатации, принципы построения и перспективы технического развития сетевых платформ.</p> <p>Умеет использовать активные и пассивные приборы для построения систем и сетей передачи данных, рассчитывать параметры электрических цепей узлов сетей связи, выполнять работы по наладке коммутационного оборудования и коммутационных подсистем</p> <p>Владеет навыками разработки электрических принципиальных схем устройств связи</p>	<p>Демонстрирует уверенные знания о конструкции и характеристиках компонентов и устройств телекоммуникационных систем, не испытывает затруднений при ответе на поставленные вопросы при защите практических и лабораторных работ, на зачете и экзамене.</p> <p>Умеет применять основные расчетные формулы параметров компонентов и устройств телекоммуникационных систем, умеет пояснять их на зачете и экзамене; в отчетах по практическим и лабораторным работам приведены основные расчетные формулы параметров, при этом в расчетах отсутствуют ошибки. На зачете и экзамене не испытывает затруднений при ответе на вопросы преподавателя и билета.</p> <p>Выполняет практические и лабораторные работы самостоятельно, используя техническую и учебную документацию, демонстрирует уверенные навыки проведения измерений параметров компонентов и устройств телекоммуникационных</p>

		систем, оформления отчетной документации
--	--	--

### Шкала оценивания.

#### Зачет

Бинарная шкала	Критерии оценки
Зачтено	На вопросы даны полные аргументированные ответы. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на итоговом уровне, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала. Студент усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при выполнении заданий.
Не зачтено	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на уровне ниже порогового, проявляется недостаточность знаний. Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний по темам дисциплины, отсутствуют навыки решения задач.

#### Экзамен

5-балльная шкала	Критерии оценки
«отлично»	На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на итоговом уровне, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала по дисциплине. Студент усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при выполнении заданий.
«хорошо»	На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы, но с замечаниями преподавателя. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на среднем уровне: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при ответе на поставленные вопросы. Допущены ошибки при решении задач
«удовлетворительно»	На экзаменационные вопросы даны ответы со слабой аргументацией, преподаватель задал множество наводящих вопросов. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на базовом уровне: в ходе выполнения практических заданий, решения задач допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, по некоторым дисциплинарным разделам, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями по дисциплине
«неудовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на уровне ниже порогового, проявляется недостаточность знаний. Дисциплинарные компетенции не

	сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний по темам дисциплины, отсутствуют навыки решения задач.
--	--

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания по дисциплине

#### 3.1. В ходе реализации дисциплины используются следующие формы и методы текущего контроля

Тема и/или раздел	Формы/методы текущего контроля успеваемости
ПК-3.2 Знает теоретические основы работы, конструкцию, параметры компонентов и устройств телекоммуникационных систем	
1. Полупроводниковые диоды	Зачет Экзамен Практическое занятие Лабораторные работы
2. Биполярные транзисторы	Зачет Экзамен Практическое занятие
3. МОП транзисторы	Зачет Экзамен Лабораторные работы
4. Тиристоры, фотоэлектрические и излучательные приборы	Зачет Экзамен Лабораторные работы
5. Аналоговые преобразователи информации	Зачет Экзамен Лабораторные работы
6. Основные характеристики и параметры усилителей	Зачет Экзамен Лабораторные работы
7. Обратная связь в усилителях	Зачет Экзамен Практическое занятие Лабораторные работы
8. Усилители на биполярных и полевых транзисторах	Зачет Экзамен Практическое занятие Лабораторные работы
9. Дифференциальные и операционные усилители	Зачет Экзамен Лабораторные работы
10. Линейные устройства на операционных усилителях	Зачет Экзамен Лабораторные работы
11. RC-генераторы гармонических колебаний	Зачет Экзамен
12. Аналоговые функциональные устройства	Зачет Экзамен

### 3.2. Типовые материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

#### ПК-3 Способен к устранению технических проблем на стационарном оборудовании связи

Пример задания на практическое занятие

##### 1 Цель работы

- 1.1 Изучение основных параметров и характеристик диодов.
- 1.2 Исследование параметров и характеристик стабилизатора на основе стабилитрона.

##### 2 Литература

2.1. Элементная база радиоэлектронной техники. Полупроводниковые компоненты : учебник / П. А. Пашинцев, В. П. Пашинцев, Г. И. Линец, В. И. Никулин ; под редакцией П. А. Пашинцева. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2022. — 456 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/135770.html>

##### 3 Основное оборудование

- 3.1 Персональный компьютер с программой анализа электронных схем NI Multisim.

##### 4 Подготовка к работе

- 4.1 Подготовить бланк отчета.
- 4.2 Оформить титульный лист.
- 4.3 Написать цель работы и основное оборудование.
- 4.4 Ответить на контрольные вопросы.

##### 5 Основные термины и определения

- 5.1. УГО стабилитрона

Стабилитрон относится к диодам специального назначения.

Стабилитрон на принципиальных схемах обозначается следующим образом. Один из электродов обозначается А – анод, второй – К – катод (рисунок 2.1).

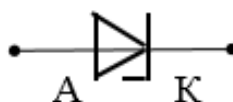


Рисунок 2.1 – УГО стабилитрона

Если к аноду приложено положительное напряжение по отношению к катоду, то диод включен в прямом направлении и его ВАХ соответствует прямому включению диода. При обратном включении при некотором напряжении происходит электрический пробой, при котором сопротивление стабилитрона резко уменьшается. В основном стабилитрон работает именно в этом режиме.

##### 5.2 Обозначение стабилитронов

КС191М.

К – основной материал диода – кремний. Иногда вместо буквы ставится цифра 2.

С – обозначение стабилитронов.

100 – серия, стабилитроны малой мощности  $P_{доп} < 0,5$  Вт.

91 – напряжение стабилизации имеет разброс от 8,5 В до 9,1 В.

М – разновидность стабилитронов внутри серии.

##### 5.3 Основное назначение

Основное назначение стабилитрона состоит в стабилизации напряжения на нагрузке  $R_H$  при возможном изменении напряжения источника питания  $E$  (рисунок 2.2).

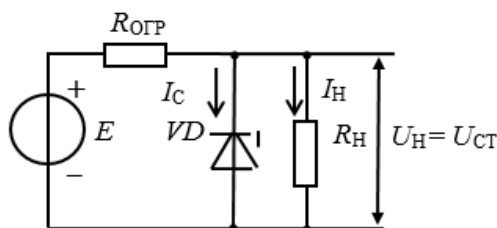


Рисунок 2.2 – Расчетная схема стабилизатора

Параметры и ВАХ стабилитрона подробно рассмотрены в лабораторной работе 2.

#### 5.4 Расчет параметров

В качестве примера определим допустимые пределы изменения питающего напряжения  $E$ , для устойчивой работы стабилизатора, если максимальный ток стабилитрона  $I_{CT\max} = 30$  мА, минимальный ток стабилитрона  $I_{CT\min} = 1$  мА, напряжение стабилизации  $U_{CT} = 10$  В, сопротивление нагрузки  $R_H = 1$  кОм и сопротивление ограничительного резистора  $R_{огр} = 0,5$  кОм.

Внимание. При расчетах учитывать три значащие знака результатов.

Напряжение источника питания

$$E = U_{CT} + R_{огр} \cdot (I_H + I_{CT}) \quad (2.1)$$

Ток нагрузки

$$I_H = \frac{U_{CT}}{R_H} \quad (2.2)$$

Таким образом,

$$E = U_{CT} \left( 1 + \frac{R_{огр}}{R_H} \right) + R_{огр} \cdot I_{CT} \quad (2.3)$$

Подставляя в эту формулу максимальное и минимальное значение тока  $I_{CT}$ , получим

$$E_{\min} = 10 \cdot (1 + 0,5) + 1 \cdot 0,5 = 15,5 \text{ В,}$$

$$E_{\max} = 10 (1 + 0,5) + 30 \cdot 0,5 = 30 \text{ В.}$$

В полученных пределах изменения напряжения источника  $E$  работа стабилизатора будет устойчивой.

На основе рассмотренного примера бригада или студент проводят расчет своего варианта таблица 2.1.

Таблица 2.1 – Данные для выполнения задачи

Вариант	Тип стабилитрона	$R_H$ кОм	$R_{огр}$ кОм	Вариант	Тип стабилитрона	$R_H$ кОм	$R_{огр}$ кОм
1	КС170А	0,62	0,27	11	КС170А	1,1	0,62
2	КС168	0,75	0,30	12	КС168	0,68	0,27
3	2С170Ж	0,68	0,39	13	2С170Ж	1,2	0,75
4	КС191М	0,91	0,47	14	КС191М	1,0	0,56
5	КС191С	1,1	0,56	15	КС191С	0,51	0,30
6	КС211В	1,2	0,62	16	КС211В	0,75	0,43
7	КС211Г	1,6	0,82	17	КС211Г	0,62	0,33
8	КС211Б	1,8	0,75	18	КС211Б	1,6	0,51
9	КС156Б	0,56	0,27	19	КС156Б	1,8	0,82
10	КС168А	1,0	0,51	20	КС168А	0,91	0,30

5.1.2 Определение параметров стабилизатора напряжения. Данные для вычисления параметров приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Справочные данные стабилизаторов

Тип стабилизатора	$U_{СТ}$ В	$I_{min}$ мА	$I_{max}$ мА	$P_{доп}$ мВт	ТКН $10^{-2} \%/^{\circ}C$	$r_d$ Ом
КС156Б	5,6	3	46	300	5	13
КС168	6,8	3	46	300	5	12
КС168А	6,9	3	45	300	6	12
КС170А	7	2	20	280	7	13
2С170Ж	7,5	2	29	280	8	13
КС191М	8,5	1	26	280	9	14
КС191С	9,5	1	23	280	9,5	14
КС211В	11	2	20	280	9,5	15
КС211Г	12	2	30	340	9,5	15
КС211Б	13	2	30	360	9,5	15
КС211Д	15	3	30	360	9,5	15

– Коэффициент стабилизации для среднего значения напряжения источника  $E$ .

$$K_{СТ} = \left( \frac{U_{СТ}}{E_{СР}} \right) \cdot \left( \frac{R_{ОГР}}{r_d} \right) \quad (2.4)$$

Среднее значение  $E = 22,5$  В, для данного типа стабилизатора  $r_d = 10$  Ом (таблица 2.2)

$$K_{СТ} = \left( \frac{10}{22,5} \right) \cdot \left( \frac{500}{10} \right) = 0,44 \cdot 50 = 22,2.$$

– Оценим влияние температуры на напряжение стабилизации, если температурный коэффициент напряжения стабилизатора (ТКН) составляет  $9,5 \cdot 10^{-2} [\%/^{\circ}C]$ , а температура изменяется на  $50^{\circ}C$ .

Решение.

$$[\%] = 9,5 \cdot 10^{-2} \cdot 50^{\circ}C = 4,74.$$

Напряжение  $U_{СТ} = 10$ В изменяется на 4,74 %, что составляет 0,47 В.

– Вычислить выходное сопротивление параметрического стабилизатора  $R_{ВЫХ}$  (внимание, два сопротивления включены параллельно)

$$R_{ВЫХ} = R_{ОГР} \parallel r_d \quad (2.5)$$

– Проверить, не превышает ли мощность рассеяния на стабилизаторе допустимую при максимальном токе стабилизации

$$P_{доп} = U_{СТ} \cdot I_{СТ\max} \quad (2.6)$$

$$I_{СТ\max} = \frac{E - U_{СТ}}{R_{ОГР}} \quad (2.7)$$

Справочные данные стабилизаторов приведены в таблице 2.2.

## 6 Порядок выполнения работы

### 6.1 Подготовка к работе

С целью проверки правильности расчетов и определения параметров стабилизатора проведем моделирование.

Из таблицы 2.3 выбрать стабилитрон, напряжение стабилизации которого ближайшее к напряжению стабилизации заданного стабилитрона (таблица 2.1).

Таблица 2.3 – Выбор типа стабилитрона (напряжения указаны ориентировочно).

<i>Philips 1 (Philips 2)</i>			
BZV55-C6V2	BZV55-C7V5	BZV55-B10	BZV55-C13
BZV55-C6V8	BZV55-C8V2	BZV49-C16	BZV55-C15
BZV55-B5V6	BZV49-C12	BZV55-C9V1	BZV55-C16

В программе Multisim выбрать стабилитрон и вывести его на наборное поле (рисунок 2.3).

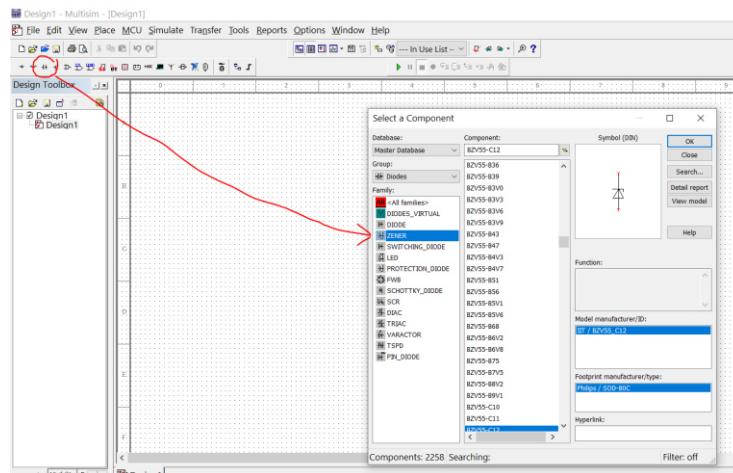


Рисунок 2.3

Записать в отчет напряжение стабилизации (рисунок 2.4):

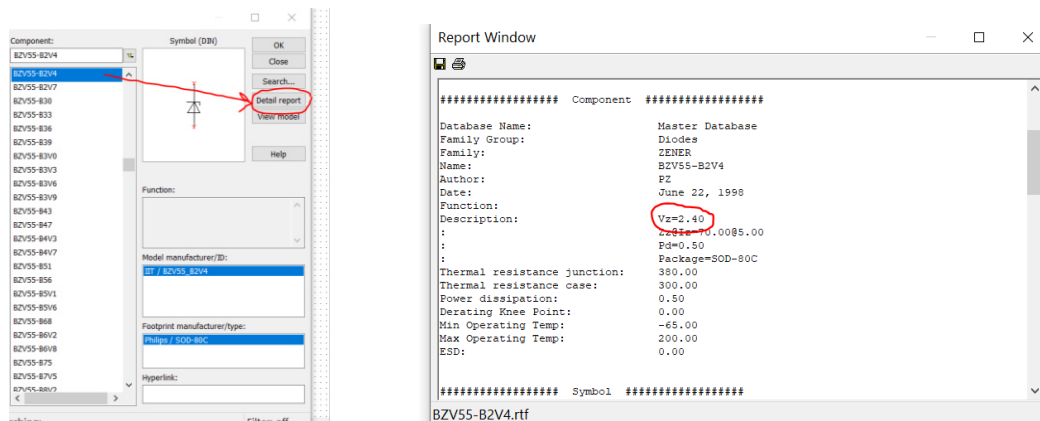


Рисунок 2.4

В обозначении BZV49-C7V5 напряжение  $U_{CT} = 7V5$ , т.е. 7,5 Вольт. Для данных типов стабилитронов разброс параметров составляет  $\pm 5\%$ .

6.2 Собрать схему стабилизатора (рисунок 2.5).

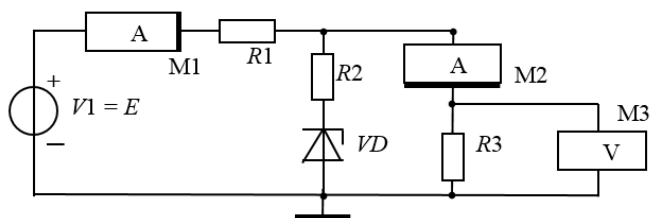


Рисунок 2.5 – Схем моделирования параметрического стабилизатора

Миллиамперметр M1 измеряет ток источника  $E$ , M2 – ток нагрузки  $I_H$ , вольтметр M3 измеряет напряжение на нагрузке.

Измерительные приборы располагаются во вкладке с красной цифрой 8 основного меню. Начальные установки приборов не изменять, они установятся автоматически.

Следует учитывать, что модель присваивает номер элементу по мере его вывода на наборное поле.

Величину сопротивлений в схеме установить согласно варианту и проведенному расчету.  $R1 = R_{огр}$ ,  $R2 = r_d$ ,  $R3 = R_H$ ,  $VD$  выбирается из расчета.

**Внимание.** Стабилитрон модели имеет свое внутреннее дифференциальное сопротивление, равное **1 Ом**. Поэтому сопротивление  $r_d$ , полученное при расчете, следует уменьшить на 1 Ом.

### 6.3 Моделирование стабилизатора

**В показаниях вольтметра M3 записывать все значащие цифры.**

В примере расчета были определены допустимые пределы изменения питающего напряжения  $E$ . Проверим расчеты на модели.

Заполнить таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты измерений.

	$E_{\max} (27\text{ }^{\circ}\text{C})$	$E_{\text{CP}} (27\text{ }^{\circ}\text{C})$	$E_{\text{CP}} (67\text{ }^{\circ}\text{C})$	$E_{\min} (27\text{ }^{\circ}\text{C})$
$E = V1$ [В]				
$U_H$ [В] (M3)				
$I_H$ [мА] (M2)				
$I_{\text{BX}}$ [мА] (M1)				

– Задавая в модели расчетные значения напряжения  $E$ , заполнить таблицу 2.4.

Убедиться, что стабилизатор стабилизирует при таком изменении входного напряжения, т.е. напряжение  $U_H$  (вольтметр M3) изменяется не более чем на 5%. Если  $U_H$  изменяется более чем на 5%, то увеличить  $E_{\min}$  на 10% и вновь провести измерение. Скорректировать значение  $E_{\min}$  в таблице.

Задавая на источнике  $V1$  напряжения  $E_{\max}$ ,  $E_{\text{CP}}$ ,  $E_{\min}$ , записывать напряжение  $U_H$  (M3), ток  $I_H$  (M2), входной ток  $I_{\text{BX}}$  (M1).

### 6.4 Определение параметров стабилизатора

– Вычислить коэффициент стабилизации по данным моделирования

$$K_{\text{CT}} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\text{CP}}} \cdot \frac{U_{H\max}}{\Delta U_H} \quad (2.8)$$

где  $\Delta U_H$  – изменение этого напряжения при изменении  $E$  от  $E_{\max}$  до  $E_{\min}$ .

– Определение ТКН стабилизатора.

Исходная температура модели составляет  $27^{\circ}\text{C}$ .

Установить напряжение  $E_{\text{CP}}$ , записать в черновик напряжение  $U_H$ .

Изменить температуру на  $67^{\circ}\text{C}$  любым способом, рассмотренным в практической работе

1.

Записать напряжение  $U_H$ . ( $\Delta T$  – изменение температуры)

$$\text{ТКН} = \frac{\Delta U_H}{U_H} \cdot \frac{1}{\Delta T \text{ } ^{\circ}\text{C}} \cdot 100\% \left[ \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right] \quad (2.9)$$

– Оценить КПД стабилизатора

$$\text{КПД} = \frac{P_H}{P_E} \cdot 100\%. \quad (2.10)$$

$$P_H = U_H \cdot I_H,$$

$$P_E = E_{\text{СР}} \cdot I_{\text{ВХ}}$$

– Оценить выходное сопротивление стабилизатора.

Установить напряжения  $E_{\text{СР}}$ , температуру  $27^{\circ}\text{C}$ .

Записать в черновик напряжение  $U_{H1}$  и ток нагрузки  $I_{H1}$ .

**Увеличить сопротивление нагрузки в 1,4 раза.**

Записать в черновик напряжение  $U_{H2}$  и ток нагрузки  $I_{H2}$ .

Вычислить выходное сопротивление стабилизатора  $R_{\text{ВЫХ}}$

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{H2} - U_{H1}}{I_{H1} - I_{H2}} \quad (2.11)$$

– Вычислить максимальную мощность рассеяния на катоде стабилитрона.

Установить напряжения  $E_{\text{max}}$ , температуру  $27^{\circ}\text{C}$ . Записать в черновик величину входного тока  $I_{\text{ВХ}}$  (М1) и ток нагрузки  $I_H$ .

$$P_K = I_{\text{СТmax}} \cdot U_{\text{СТ}} \quad (2.12)$$

$$I_{\text{СТmax}} = (I_{\text{ВХ}} - I_H)$$

Сравнить с мощностью  $P_{\text{доп}}$ , указанной в табл. 2.

– Вычислить максимальную мощность источника  $E$

$$P_{E_{\text{max}}} = E_{\text{max}} \cdot I_{\text{ВХ}} \quad (2.13)$$

Результаты измерений и расчета занести в таблицу 2.5.

Таблица. 2.5 – Результаты измерений и расчета.

	$K_{\text{СТ}}$	КПД [%]	$R_{\text{ВЫХ}}$ [Ом]	ТКН [%/ $^{\circ}\text{C}$ ]	$P_K$ мВт	$P_{E_{\text{max}}}$ мВт
Расчет						
Моделирование						

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы

7.2 Цель работы.

7.3 Схема и расчет стабилизатора своего варианта;

7.4 Моделирование стабилизатора (схема) и результаты;

7.5 Вывод по полученным результатам;

7.6 Ответы на контрольные вопросы

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Дайте определение понятию «выходное сопротивление»;

8.2 Пояснить, на какие элементы стабилизатора из данной работы более всего влияет изменение температуры;

8.3 Дайте определение понятию «коэффициент стабилизации»;

8.4 Пояснить, почему КПД стабилизатора меньше 100%.

## Пример задания на лабораторную работу

### 1 Цель работы

- 1.1 Изучить конструкцию полевого транзистора.
- 1.2 Привить навыки по снятию характеристик и расчётов параметров транзистора.

### 2. Литература:

2.1 Элементная база радиоэлектронной техники. Полупроводниковые компоненты : учебник / П. А. Пашинцев, В. П. Пашинцев, Г. И. Линец, В. И. Никулин ; под редакцией П. А. Пашинцева. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2022. — 456 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/135770.html>

### 3. Основное оборудование

- 3.1 Персональный компьютер с программой анализа электронных схем NI Multisim.

### 4. Подготовка к работе:

- 4.1 Подготовить бланк отчета.
- 4.2 Оформить титульный лист, как показано в разделе «Требования к оформлению отчетов» настоящих методических указаний.
- 4.3 Написать цель работы и основное оборудование.
- 4.4 Ответить на контрольные вопросы.
- 4.5 Изучить по учебной литературе основные обозначения, параметры, характеристики полевых транзисторов.

### 5. Основные термины

Полевые транзисторы, имеющие структуру металл-диэлектрик-полупроводник, называют МДП-транзисторами. В частном случае, когда в качестве диэлектрика используется оксид, МДП-транзисторы называют также МОП-транзисторы. Существует две разновидности МДП-транзисторов: транзисторы с индуцированным каналом, в которых канал образуется под действием внешнего напряжения, и транзисторы со встроенным каналом, в которых канал формируется при изготовлении транзистора.

Структура МДП-транзистора с изолированным n-каналом имеет пластину слаболегированного кремния p-типа, в приповерхностном слое которой методами диффузии формируют сильнолегированные области n<sup>+</sup>-типа. Каждая из них может использоваться как сток или как исток транзистора. Затем на поверхности пластины формируют тонкий слой диэлектрика, в качестве которого обычно используется двуокись кремния SiO<sub>2</sub>. Далее над областями n<sup>+</sup>-типа в диэлектрике вскрываются окна методом травления. В них выполняют омические контакты, которые будут выводами стока и истока. Одновременно формируется затвор транзистора, ширина которого должна несколько больше расстояния между областями n<sup>+</sup>-типа.

Принцип действия МДП-транзистора с индуцированным каналом состоит в следующем. При подаче на затвор положительного напряжения электроны из p-полупроводника будут втягиваться в подзатворную область. При некотором напряжении концентрация электронов увеличится настолько, что потечет ток стока. Это напряжение называют пороговым  $U_{зи\text{ пор}}$ .

### 6. Порядок проведения измерений

- 6.1 Подготовка к работе  
Собрать схему для исследования транзистора рисунок 3.1.

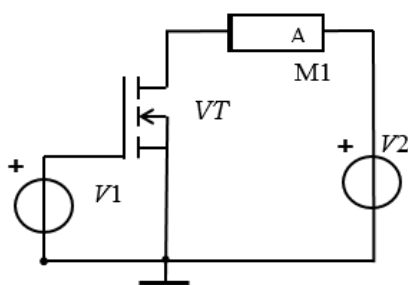


Рисунок 3.1 – Включение транзистора в схему

Типы транзисторов указаны в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Выбор типа транзистора по варианту

Вариант	Тип транзистора	Напряжение затвор–исток			
		$U_{зи1}$ В	$U_{зи2}$ В	$U_{зи3}$ В	$U_{зи4}$ В
1	2N7000	3.1	3.4	3.7	4
2	2N7002	3.1	3.4	3.7	4
3	BS170	2.8	3.2	3.6	4
4	2N6765	2.6	3.0	3.4	3.8
5	2N6788	2.8	3.2	3.6	4
6	2N6757	3.1	3.4	3.7	4
7	2N6802	2.8	3.2	3.6	4
8	2N6767	2.6	3.0	3.4	3.8
9	2N6792	2.2	2.4	2.6	2.8
10	2N7012	2.6	3.0	3.4	3.8
11	2N6759	2.8	3.2	3.6	4
12	2N7071	2.2	2.4	2.6	2.8
13	2N6768	3.1	3.4	3.7	4
14	2N6796	2.6	3.0	3.4	3.8
15	2N7074	2.8	3.2	3.6	4
16	2N6762	3.1	3.4	3.7	4
17	2N6782	2.2	2.4	2.6	2.8
18	2N6786	2.6	3.0	3.4	3.8
19	2N6798	2.8	3.2	3.6	4
20	2N6764	2.2	2.4	2.6	2.8

Установить напряжение  $V1 = 0$  В, напряжение  $V2 = 20$  В.

Включить моделирование.

Миллиамперметр M1 должен показать ток несколько микроампер.

#### 6.1.1 Проведение измерений

Определите пороговое напряжение транзистора  $U_{зи.пор}$  при напряжении сток–исток  $U_{си} = V2 = 20$ В.

Для чего, увеличивая напряжение затвор–исток ( $V1$ ), найдите такое его значение, при котором начинается рост тока стока. Начальное значение тока составляет единицы микроампер. Пороговое напряжение определите с точностью до 0.01В.

6.1.2 Снимите передаточную характеристику транзистора  $I_C = f(U_{зи})$  при напряжении сток–исток  $U_{си} = 20$ В. Напряжение затвор–исток  $U_{зи}$  изменяйте от порогового напряжения  $U_{зи.пор}$  через 0.2В до напряжения, при котором ток стока достигнет 200 мА (M1).

Увеличить напряжение на стоке  $V_2 = U_{СИ} = 60$  В. Повторить опыт.

Таблица 3.2 – Данные для сток–затворных характеристик транзистора

$U_{ЗИ}$ В		$U_{ЗИ.ПОР}$	$U_{ЗИ.ПОР}+0.2$ В	+0.4	+0.6	...	
$V_2=U_{СИ} = 20$ В	$I_C$ мА						200
$V_2=U_{СИ} = 60$ В	$I_C$ мА						200

6.1.3 Снимите семейство выходных статических характеристик транзистора  $I_C = f(U_{СИ})$  при четырех значениях напряжения затвор–исток, выбранных из таблицы 1. Напряжение сток–исток изменять согласно таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Данные для выходной характеристики транзистора

$U_{СИ}$ В		0	0.1	0.5	1	2	5	10	20	40	60
$I_C$ мА	$U_{ЗИ1}$ В	0									
	$U_{ЗИ2}$ В										
	$U_{ЗИ3}$ В										
	$U_{ЗИ4}$ В										

#### 6.1.4 Измерение параметров

Установить напряжение  $U_{СИ} = 40$  В. Установить напряжение на затворе такой величины, чтобы ток стока стал равным  $I_C = 100$  мА. Записать значение напряжения на затворе  $U_{ЗИ}$ . Уменьшить это напряжение таким образом, чтобы ток стока стал равным  $I_C = 90$  мА.

#### 6.2 Построение характеристик

По данным таблиц 3.2 и 3.3 построить вольтамперные характеристики полевого транзистора  $I_C = f(U_{ЗИ})$ ,  $I_C = f(U_{СИ})$ .

#### 6.3 Определение параметров

– Определить параметр транзистора крутизну на основе измерений пункта 6.1.4.

Вычислить значение крутизны

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{ЗИ}} \text{ мА/В} \quad (3.1)$$

где  $\Delta I_C = 10$  мА.

– Вычислить сопротивление канала постоянному току  $R_0$  для режима  $I_C = 100$  мА,  $U_{СИ} = 40$  В

$$R_0 = \frac{U_{СИ}}{I_C} \text{ мА/В} \quad (3.2)$$

## 7 Отчет по работе

7.1 Наименование отчёта.

7.2 Цель работы.

7.3 Схема для снятия характеристик.

7.4 Таблицы с результатами измерений.

7.5 Ответы на контрольные вопросы.

7.6 Характеристики транзистора.

7.7 Расчет параметров.

7.8 Выводы по работе.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Что такое «МДП-транзистор»?

8.2 Какие разновидности МДП-транзисторов вы знаете?

8.3 В чём заключается принцип действия МДП-транзистора с индуцированным каналом?

8.4 Поясните смысл термина «пороговое напряжение».

8.5 Изобразите выходные статические характеристики МДП транзистора с индуцированным каналом и объясните их.

8.6 Изобразите передаточные статические характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом и объясните их.

8.7 Назовите основные малосигнальные параметры полевого транзистора МДП-структуры и дайте их определения.

### 3.3. Типовые материалы для проведения промежуточной аттестации обучающихся

#### Типовые вопросы к зачету

- 1) Общие сведения о проводимости полупроводников.
- 2) Собственная электропроводность полупроводников.
- 3) Примесная электропроводность полупроводников.
- 4) Классификация и образование электронно-дырочного (р-п) перехода.
- 5) Р-п-переход без внешнего напряжения.
- 6) Р-п-переход при прямом включении.
- 7) Р-п-переход при обратном включении.
- 8) Несимметричный р-п-переход.
- 9) Пробой р-п-перехода.
- 10) Устройство, характеристики, параметры и область применения выпрямительных диодов.
- 11) Устройство, характеристики, параметры и область применения высокочастотных диодов.
- 12) Устройство, характеристики, параметры и область применения импульсных диодов.
- 13) Устройство, характеристики, параметры и область применения сверхвысокочастотных диодов.
- 14) Устройство, характеристики, параметры и область применения стабилитронов.
- 15) Особенности устройства и работы р-і-п-диода.
- 16) Особенности устройства и работы лавинно-пролетного диода.
- 17) Устройство, характеристики, параметры и область применения туннельных диодов.
- 18) Устройство и принцип действия биполярного транзистора (БТ).
- 19) Процессы, протекающие в биполярном транзисторе. Токи транзистора.
- 20) Схемы включения БТ. Схема с общей базой.
- 21) Схемы включения БТ. Схема с общим эмиттером.
- 22) Схемы включения БТ. Схема с общим коллектором.
- 23) Биполярный транзистор как активный четырехполюсник, h-параметры БТ.
- 24) Устройство и принцип действия полевого транзистора (ПТ) с управляющим р-п переходом.
- 25) Выходные (стоковые) и передаточные (стоко-затворные) характеристики и параметры ПТ с управляющим р-п-переходом.
- 26) Параметры ПТ с изолированным затвором.
- 27) Устройство, принцип действия и ВАХ тиристора.
- 28) Классификация и технология изготовления интегральных схем (ИС).
- 29) Принцип работы фотоприемных приборов.
- 30) Структура, принцип работы и применение фотодиодов на основе р-п-перехода.
- 31) Структура, принцип работы и применение фотодиодов с р-і-п-структурой.
- 32) Структура, принцип работы и применение лавинных фотодиодов.
- 33) Структура, принцип работы и применение фототранзисторов.
- 34) Структура, принцип работы и применение фоторезисторов.
- 35) Основные сведения о светодиодах: определение, классификация, требования к источникам света.
- 36) Конструкции и принцип действия светодиодов.

- 37) Устройство и принцип действия лазерных диодов.
- 38) Режим работы усилительных элементов
- 39) Выбор режима работы транзистора по постоянному току.
- 40) Стабилизация режима работы БТ.

Типовые вопросы к экзамену:

- 1) Понятие транзистора. Принцип работы биполярного транзистора. Схема включения с общей базой. Достоинства и недостатки. Область применения.
- 2) Понятие транзистора. Принцип работы биполярного транзистора. Схема включения с общим эмиттером. Достоинства и недостатки. Область применения.
- 3) Понятие транзистора. Принцип работы биполярного транзистора. Схема включения с общим коллектором. Достоинства и недостатки. Область применения.
- 4) Понятие транзистора. Принцип работы полевого транзистора. Схема включения с общим истоком. Достоинства и недостатки. Область применения.
- 5) Понятие транзистора. Принцип работы полевого транзистора. Схема включения с общим стоком. Достоинства и недостатки. Область применения.
- 6) Понятие транзистора. Принцип работы полевого транзистора. Схема включения с общим затвором. Достоинства и недостатки. Область применения.
- 7) Понятие усиления электрического сигнала. Принцип усиления. Структурная схема усилителей и их классификация.
- 8) Понятие усилителя. Его структурная схема. Основные параметры и характеристики усилителей.
- 9) Понятие обратной связи. Классификация обратных связей в усилителях. Ее влияние на коэффициент усиления усилителя.
- 10) Понятие обратной связи. Классификация обратных связей в усилителях. Ее влияние на входное и выходное сопротивление усилителя.
- 11) Понятие обратной связи. Классификация обратных связей в усилителях. Ее влияние на нелинейные искажения усилителя.
- 12) Понятие обратной связи. Классификация обратных связей в усилителях. Ее влияние на АЧХ и ФЧХ усилителя.
- 13) Режимы работы усилительных элементов. Их особенности и область применения. Достоинства и недостатки. Схемы подачи смещения на усилительные элементы построенных на биполярных транзисторах.
- 14) Режимы работы усилительных элементов. Их особенности и область применения. Достоинства и недостатки. Схемы подачи смещения на усилительные элементы построенных на полевых транзисторах.
- 15) Режимы работы усилительных элементов. Их особенности и область применения. Достоинства и недостатки. Методы стабилизации режима работы биполярного транзистора.
- 16) Режимы работы усилительных элементов. Их особенности и область применения. Достоинства и недостатки. Термокомпенсация точки покоя транзистора.
- 17) Структурная схема усилителя. Виды межкаскадных связей. Их достоинства и недостатки.
- 18) Способы включения усилительных элементов по переменному току. Характеристики каскадов включенных по схеме с общим эмиттером.
- 19) Способы включения усилительных элементов по переменному току. Характеристики каскадов включенных по схеме с общим коллектором.
- 20) Способы включения усилительных элементов по переменному току. Характеристики каскадов включенных по схеме с общей базой.
- 21) Способы включения усилительных элементов по переменному току. Характеристики каскадов включенных по схеме с общим стоком.
- 22) Способы включения усилительных элементов по переменному току. Характеристики каскадов включенных по схеме с общим истоком.

- 23) Способы включения усилительных элементов по переменному току. Характеристики каскадов включенных по схеме с общим затвором.
- 24) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Принципиальная схема резисторного каскада на биполярном транзисторе. Назначение элементов. Принцип работы.
- 25) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Эквивалентная схема резисторного каскада на биполярном транзисторе. Анализ каскада на средних частотах.
- 26) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Эквивалентная схема резисторного каскада на биполярном транзисторе. Анализ каскада на нижних частотах.
- 27) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Эквивалентная схема резисторного каскада на биполярном транзисторе. Анализ каскада на верхних частотах.
- 28) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Принципиальная схема резисторного каскада на полевом транзисторе. Назначение элементов. Принцип работы.
- 29) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Эквивалентная схема резисторного каскада на полевом транзисторе. Анализ каскада на средних частотах.
- 30) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Эквивалентная схема резисторного каскада на полевом транзисторе. Анализ каскада на нижних частотах.
- 31) Назначение каскадов предварительного усиления. Предъявляемые требования. Эквивалентная схема резисторного каскада на полевом транзисторе. Анализ каскада на верхних частотах.
- 32) Понятие широкополосных усилителей. Предъявляемые требования. Анализ искажения сигналов в широкополосных усилителях.
- 33) Понятие корректирующих цепей. Схема коррекции в широкополосных усилителях на нижних частотах.
- 34) Понятие корректирующих цепей. Схема коррекции в широкополосных усилителях на верхних частотах.
- 35) Назначение оконечных каскадов усиления. Предъявляемые требования. Электрическая принципиальная схема однотактного трансформаторного каскада. Принцип работы. Анализ каскада на разных частотах.
- 36) Назначение оконечных каскадов усиления. Предъявляемые требования. Электрическая принципиальная схема двухтактного трансформаторного каскада. Принцип работы. Его свойства.
- 37) Фазоинверсные каскады. Их назначение. Фазоинверсная трансформаторная схема. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 38) Фазоинверсные каскады. Их назначение. Фазоинверсная схема с разделенной нагрузкой. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 39) Фазоинверсные каскады. Их назначение. Фазоинверсный каскад с эмиттерной связью. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 40) Назначение оконечных каскадов усиления. Предъявляемые требования. Электрическая принципиальная схема двухтактного бестрансформаторного каскада. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 41) Назначение оконечных каскадов усиления. Предъявляемые требования. Электрическая принципиальная схема двухтактного бестрансформаторного каскада с повышенным питанием коллекторной цепи предоконечного каскада. Принцип работы. Достоинства и недостатки.

- 42) Назначение окончных каскадов усиления. Предъявляемые требования. Электрическая принципиальная схема двухтактного бестрансформаторного каскада построенного на составных транзисторах. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 43) Понятие усилителя постоянного тока. Их область применения. Схема усилителя с непосредственными связями между каскадами. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 44) Понятие усилителя постоянного тока. Их область применения. Схема усилителя с потенциометрическими связями между каскадами. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 45) Понятие усилителя постоянного тока. Их область применения. Балансные каскады. Принцип работы. Дифференциальный каскад. Достоинства и недостатки.
- 46) Понятие усилителя постоянного тока. Их область применения. Схема дифференциального каскада с генератором стабильного тока. Принцип работы. Достоинства и недостатки.
- 47) Понятие многокаскадных усилителей. Особенности расчета параметров многокаскадных усилителей.
- 48) Схема резисторного каскада с последовательной отрицательной обратной связью по току. Принцип работы. Влияние обратной связи на параметры усилителя.

Банк контрольных вопросов, заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации находится в учебно-методическом комплексе дисциплины и/или представлен в электронной информационно-образовательной среде по URI:<http://www.aup.uisi.ru>.

#### **3.4. Методические материалы проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень методических материалов для подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации:

1. Методические указания по выполнению практических занятий по дисциплине «Электронные компоненты и схемотехника телекоммуникационных устройств». –URL: <http://www.aup.uisi.ru/>.
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электронные компоненты и схемотехника телекоммуникационных устройств». –URL: <http://www.aup.uisi.ru/>.
3. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электронные компоненты и схемотехника телекоммуникационных устройств». –URL: <http://www.aup.uisi.ru/>.