

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

Составитель
А. В. Григорьев

ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

Методические указания к лабораторным работам

Рекомендованы учебно-методической комиссией специальности
10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем
в качестве электронного издания для использования
в образовательном процессе

Кемерово 2018

Рецензенты

Маслов И. П., заведующий кафедрой общей электротехники

Прокопенко Е. В., председатель учебно-методической комиссии специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем

Григорьев Александр Васильевич

Электроника и схемотехника: методические указания к лабораторным работам [Электронный ресурс]: для обучающихся специальности 10.05.03 Информационная безопасность автоматизированных систем очной формы обучения / сост. А. В. Григорьев; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2018.

В работе предлагается студентам самостоятельно рассмотреть и решить вопросы подготовки к выполнению, оформлению и защите лабораторных работ. Даны краткие теоретические положения, облегчающие подготовку к занятиям, методические указания по выполнению и оформлению отчетов к лабораторным работам, ссылки на литературу.

© КузГТУ, 2018

© Григорьев А. В.,
составление, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Исследование цепей постоянного тока	4
Лабораторная работа № 2. Исследование цепей переменного тока	9
Лабораторная работа № 3 Исследование резисторов и конденсаторов	15
Лабораторная работа № 4 Исследование ВАХ выпрямительного диода и стабилитрона	22
Лабораторная работа № 5 Исследование биполярного транзистора	28
Лабораторная работа № 6. Исследование операционных усилителей	31
Лабораторная работа № 7. Расчет смещения в усилителях класса А, АБ в среде моделирования LTSPICE IV	32
Лабораторная работа № 8. Расчет характеристик активных фильтров на ОУ в среде моделирования PSPICE 9.1	35
Лабораторная работа № 9. Исследование характеристик релаксационных генераторов в среде моделирования LTSPICE IV	38
Список рекомендуемой литературы	41
Приложение 1	43
Приложение 2	44
Приложение 3	59

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: экспериментальная проверка основных теоретических соотношений и зависимостей между токами, напряжениями, мощностями и сопротивлениями в простейших электрических цепях постоянного тока.

Основные теоретические положения

Закон Ома для резистивного участка цепи, не содержащего источников энергии:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.1)$$

Активная мощность этого участка цепи:

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}. \quad (2.2)$$

В последовательной цепи, приведенной на рис. 2.1, через все элементы протекает один и тот же ток. Напряжение источника равно арифметической сумме напряжений на всех резистивных участках цепи:

$$U = \sum_{k=1}^n U_k. \quad (2.3)$$

Эквивалентное (общее) сопротивление последовательной цепи равно сумме сопротивлений всех участков этой цепи:

$$R_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n R_k. \quad (2.4)$$

Оно может быть найдено по экспериментальным значениям напряжения источника U и тока цепи I с помощью закона Ома:

$$R_{\Sigma} = \frac{U}{I}. \quad (2.5)$$

При изменении одного из сопротивлений последовательной цепи максимальная мощность выделяется на данном участке при равенстве данного сопротивления сумме всех остальных сопротивлений цепи.

В параллельной цепи, приведенной на рис. 2.2, все ветви находятся под одним и тем же напряжением U , а токи в ветвях обратно пропорциональны их сопротивлениям.

Общий ток равен арифметической сумме токов ветвей:

$$I = \sum_{k=1}^n I_k. \quad (2.6)$$

Эквивалентная резистивная проводимость параллельной цепи равна сумме проводимостей всех ветвей цепи:

$$g_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n g_k = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}. \quad (2.7)$$

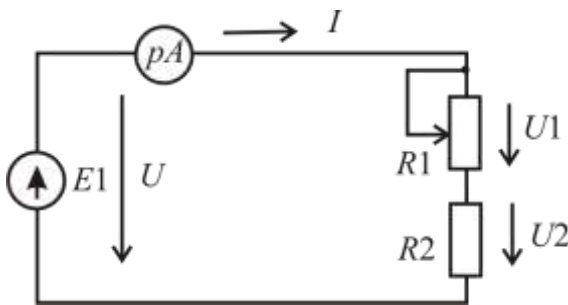


Рис. 2.1

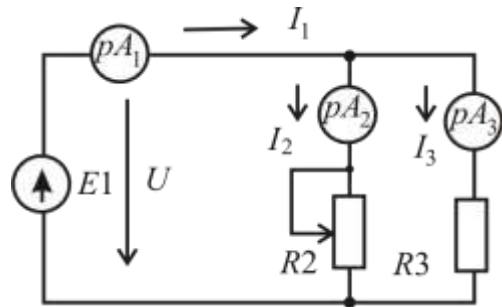


Рис. 2.2

Эквивалентное резистивное сопротивление параллельной цепи

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{g_{\Sigma}} = \frac{U}{I}, \quad (2.8)$$

где U и I – напряжение и ток источника.

Последовательно-параллельная цепь, приведенная на рис. 2.3, является комбинацией участков, соединенных последовательно и параллельно. К отдельным участкам такой цепи применимы соотношения между напряжениями, токами и сопротивлениями, имеющими место в последовательной и параллельной цепях.

Ток в каждой из параллельных ветвей может быть найден по формуле разброса токов в параллельных ветвях, например, для схемы рис. 2.3:

$$I_2 = I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3}, \quad (2.9)$$

$$I_3 = I_1 \frac{R_2}{R_2 + R_3}. \quad (2.10)$$

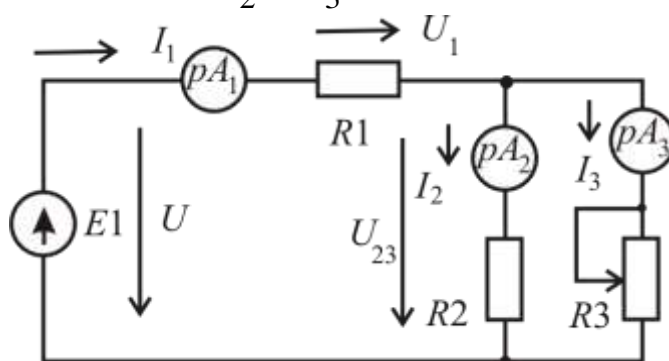


Рис. 2.3

Задание для самостоятельной подготовки

1. Для схемы на рис. 2.1 запишите формулы зависимостей $I = f(R1)$, $P_1 = f(R1)$, по полученным формулам постройте графики.
2. Для схемы на рис. 2.2 получите зависимости $I_2 = f(R2)$, $P_2 = f(R2)$ и постройте их графики.
3. Для схемы на рис. 2.3 запишите формулы зависимостей $I_1 = f(R3)$, $I_2 = f(R3)$, $I_3 = f(R3)$, $P_3 = f(R3)$. Постройте по этим формулам графики.
4. Составьте бланк отчета.

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рис. 2.1. При неизменном напряжении источника исследуйте влияние на изменение тока и напряжений на элементах цепи величины сопротивления $R1$. Результаты измерений занесите в табл. 2.1.
2. Постройте совмещенные графики зависимостей I , U_1 , U_2 , P_1 , $P = f(R1)$.

Таблица 2.1

№	Измерено				Вычислено					
	I , А	U_1 , В	U_2 , В	U , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_{Σ} , Ом	P_1 , Вт	P_2 , Вт	P , Вт
1										
2										
3										

3. Соберите электрическую цепь по схеме на рис. 2.2.

При неизменном напряжении источника исследуйте зависимость тока источника (общего тока) и токов в параллельных ветвях от величины сопротивления R_2 . Результаты измерений занесите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

№	Измерено				Вычислено					
	U , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_{Σ} , Ом	P_2 , Вт	P_3 , Вт	P , Вт
1										
2										
3										

Постройте совмещенные графики зависимостей I_1 , I_2 , I_3 , P_3 , $P = f(R_2)$.

4. Соберите электрическую цепь по схеме на рис. 2.3.

При неизменном напряжении источника исследуйте влияние величины сопротивления R_3 на ток источника, токи в параллельных ветвях и напряжения на участках цепи. Результаты измерений занесите в табл. 2.3.

Таблица 2.3

№	Измерено						Вычислено							
	U , В	U_1 , В	U_{23} , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_{Σ} , Ом	P_1 , Вт	P_2 , Вт	P_3 , Вт	P , Вт
1														
2														
3														

Постройте совмещенные графики зависимостей I_1 , I_2 , I_3 , U_1 , U_{23} , P_1 , $P_2 = f(R_3)$.

Литература: [1, §2.5–2.11; 2, §1.9, 1.13; 8, §2.7–2.11]

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: экспериментальная проверка основных теоретических соотношений между током, напряжениями и мощностями на участках цепи, сдвига фаз между приложенным напряжением и током при изменении одного из сопротивлений элементов цепи.

Основные теоретические положения

Элементами цепи переменного тока являются: активные сопротивления, катушки индуктивности и конденсаторы.

В катушке индуктивности, в свою очередь, выделяются индуктивное сопротивление $X_L = \omega L$ и собственное активное сопротивление R_k , обусловленное сопротивлением проводов обмотки.

Полное сопротивление катушки Z_k определяется по треугольнику сопротивлений индуктивного элемента, приведенному на рис. 3.1:

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_L^2}. \quad (3.1)$$

Полное сопротивление последовательной цепи, состоящей из резистора R и катушки, можно определить по закону Ома:

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{(R + R_k)^2 + X_L^2}. \quad (3.2)$$

Напряжение на резисторе U_R совпадает по фазе с током I , а напряжение на катушке U_k опережает ток на угол φ_k . Действующие значения этих напряжений равны:

$$U_R = R \cdot I, \quad (3.3)$$

$$U_K = Z_K \cdot I. \quad (3.4)$$

Приложенное к цепи напряжение источника опережает ток на угол φ :

$$\varphi = \arctg \frac{X_L}{R + R_K}. \quad (3.5)$$

Активная мощность катушки P_K и активная мощность цепи P равны:

$$P_K = R_K \cdot I^2 = U_{aK} \cdot I, \quad (3.6)$$

$$P = (R + R_K) \cdot I^2 = U \cdot I \cdot \cos \varphi. \quad (3.7)$$

При изменении сопротивления резистора от 0 до ∞ активная мощность достигает максимума при $(R + R_K) = X_L$:

$$P_M = \frac{U^2}{2 \cdot (R + R_K)}. \quad (3.8)$$

Реактивная мощность индуктивной катушки равна

$$Q_L = U I \sin \varphi = X_L I^2 = U_{pK} I. \quad (3.9)$$

При изменении X_L от 0 до ∞ реактивная мощность максимальна при $X_L = (R + R_K)$:

$$Q_{L_M} = \frac{U^2}{2X_L}. \quad (3.10)$$

Полная мощность цепи определяется по формуле:

$$S = U I = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2. \quad (3.11)$$

Полное сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединенных резистора R и конденсатора с емкостным сопротивлением $X_C = \frac{1}{\omega C}$, можно найти по треугольнику сопротивлений,

изображенному на рис. 3.2:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}. \quad (3.12)$$

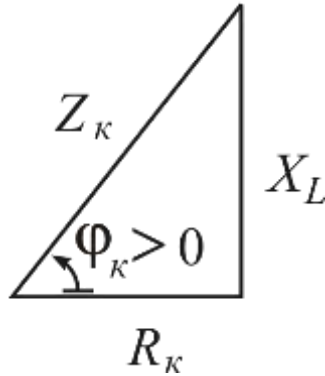


Рис. 3.1

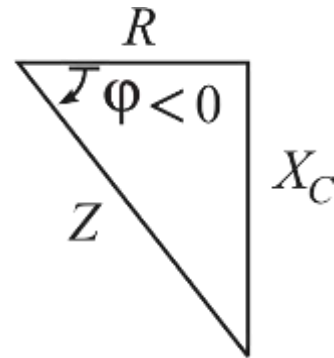


Рис. 3.2

Напряжение на конденсаторе U_C отстает по фазе от тока в цепи на угол 90° , т. е. $\varphi_C = -90^\circ$.

Действующее значение напряжения U_C равно

$$U_C = X_C \cdot I. \quad (3.13)$$

Активная и полная мощности цепи определяются по формулам:

$$P = U I \cos \varphi = R I^2; \quad (3.14)$$

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2. \quad (3.15)$$

Реактивная мощность конденсатора

$$Q_C = U I \cdot \sin \varphi = -X_C \cdot I^2 = -U_C I. \quad (3.16)$$

Задание для самостоятельной подготовки

1. Для исследуемой электрической цепи, схема которой показана на рис. 3.3, на основе анализа приведенных в работе фор-

мул постройте качественно:

а) графики $I = f_1(R)$, $P = f_2(R)$, $Q = f_3(R)$;

б) топографические диаграммы для случаев:

$$X_L > R > R_K \quad \text{и} \quad R > X_L > R_K;$$

в) треугольник мощностей.

2. Для исследуемой электрической цепи, схема которой показана на рис. 3.4, постройте качественно:

а) графики $I = f_4(R)$, $P = f_5(R)$, $Q = f_6(R)$;

б) топографические диаграммы для случаев:

$$R < X_C, \quad R = X_C, \quad R > X_C;$$

в) треугольник мощностей.

3. Составьте бланк отчета.

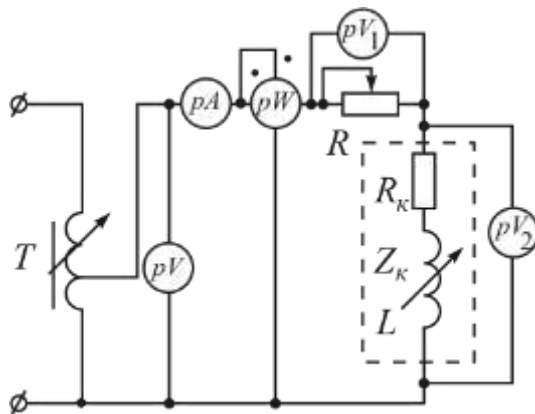


Рис. 3.3

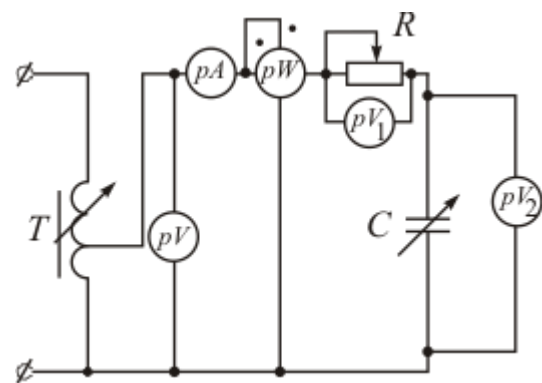


Рис. 3.4

Порядок выполнения работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 3.3. При полностью выведенном сопротивлении резистора R ($R=0$) измерьте показания приборов и рассчитайте параметры катушки индуктивности. Результаты занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ опыта	Измерено					Вычислено									
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	Z_K	$R+R_K$	R_K	X_L	$\cos\varphi$	φ	Q	S
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	—	град	ВАр	ВА
Опыт для определения Z_K, R_K, X_L		0													
1															
2															
...															
6															

2. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на участках цепи и активной мощности от величины R , изменяя ее от 0 до ∞ (режим холостого хода). Результаты опытов занесите в табл. 3.1.

3. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на участках цепи и активной мощности от сопротивления катушки X_L . Результаты опытов занесите в табл. 3.2.

Таблица 3.2

№ опыта	Измерено					Вычислено									
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	Z_K	$R+R_K$	R_K	X_L	$\cos\varphi$	φ	Q	S
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	—	град	Вар	ВА
1															
2															
...															
6															

4. Соберите электрическую цепь по схеме рис. 3.4. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на элементах цепи и активной мощности от величины R . Результаты опытов занесите в табл. 3.3.

5. При неизменном напряжении на входе цепи исследуйте зависимость тока, напряжений на элементах цепи и активной мощности от сопротивления конденсатора X_C . Результаты занеси-

те в табл. 3.4.

Таблица 3.3

№ опыта	Измерено					Вычислено						
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	X_C	$\cos\varphi$	φ	Q	S
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	—	град	ВАр	ВА
1												
2												
...												
6												

Таблица 3.4

№ опыта	Измерено					Вычислено						
	U	U_1	U_2	I	P	Z	R	X_C	$\cos\varphi$	φ	Q	S
	В	В	В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	—	град	ВАр	ВА
1												
2												
...												
6												

6. На основании опытных данных выполните необходимые расчеты и заполните табл. 3.1–3.4.

7. Постройте графики зависимостей I , U_1 , P , Q , $\cos\varphi$ от величины $(R+R_K)$ по данным табл. 1.1; I , U_2 , P , Q , $\cos\varphi$ от величины X_L по данным табл. 1.2; I , U_1 , P , Q , $\cos\varphi$ от величины R по данным табл. 3.3; I , U_2 , P , Q , $\cos\varphi$ от величины X_C по данным табл. 3.4.

8. Постройте векторные (топографические) диаграммы для одного из опытов по данным табл. 3.1 и табл. 3.2 или табл. 3.3 и табл. 3.4.

9. Постройте треугольники мощностей для одного из опытов по данным табл. 3.1 и табл. 3.2 или табл. 3.3 и табл. 3.4. Найдите по ним полную мощность и сравните ее с расчетной.

Литература: [1, § 3.1–3.23; 2, § 2.1–2.10, 3.8; 6, § 3.9, 3.10, 3.14, 3.19, 4.2].

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы: получить общие сведения об устройстве резисторов и конденсаторов, научиться определять параметры резисторов и конденсаторов по маркировке.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Резисторы

Резисторы относятся к наиболее распространенным деталям радиоэлектронной аппаратуры. На их долю приходится от 20 до 50 %, т. е. до половины общего количества радиодеталей в устройстве. Принцип работы резисторов основан на использовании свойства материалов оказывать сопротивление протекающему току. Резисторы характеризуются следующими основными параметрами:

Номинальное значение сопротивления. Измеряется в омах (Ом), килоомах (кОм), мегаомах (МОм). $R = \frac{\rho l}{S}$.

Номинальные значения сопротивлений указывают на корпусе резистора. Номинальное значение сопротивления соответствует значению из стандартных рядов сопротивлений приведенных в приложении 1.

Допустимое отклонение действительного сопротивления резистора от его номинального значения. Это отклонение измеряется в процентах, оно нормировано и определяется классом точности. Наиболее широко используются три класса точности: I – допускающий отклонение сопротивления от номинального значения на $\pm 5\%$, II – на $\pm 10\%$, III – на $\pm 20\%$. В современной РЭА часто применяют резисторы с повышенной точностью сопротивления, они выпускаются с допусками (%): ± 2 ; ± 1 ; $\pm 0,5$; $\pm 0,2$; $\pm 0,1$; $\pm 0,05$; $\pm 0,02$; $\pm 0,01$ и т. д.

Номинальное значение мощности – $P = I^2 R$ (1 Вт = $1 \text{ A}^2 \times 1 \text{ Ом}$). $P = \frac{U^2}{R}$ (1 Вт = $1 \text{ В}^2 / 1 \text{ Ом}$) – рассеивания резистора $P_{\text{ном}}$. Этот параметр измеряется в ваттах (Вт). Это наибольшая мощ-

ность постоянного или переменного тока, при протекании которого через резистор он может работать длительное время без повреждений. Мощность $P_{\text{ном}}$, ток I , протекающий через резистор, падение напряжения U на резисторе и его сопротивление R связаны зависимостью: $P = UI$ $U = IR$ В большинстве устройств РЭА применяют резисторы с номинальной мощностью рассеивания от 0,125 до 2 Вт.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резистора. Характеризует относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1°C и выражается в процентах. В резисторах ТКС незначительный и составляет в среднем десятые доли – единицы процента.

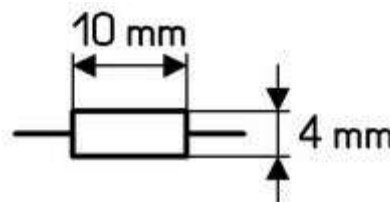
Электродвижущая сила (ЭДС) собственных шумов. Собственные шумы резистора возникают за счет неупорядоченного движения части электронов при приложенном к нему напряжении. ЭДС собственных шумов ($E_{\text{ш}}$) измеряется в микровольтах на вольт приложенного напряжения (мкВ/В). Эта величина для резисторов также незначительная и составляет единицы микровольт на вольт.

Собственные индуктивность и емкость резисторов. Определяются габаритными размерами, конструкцией и влияют на частотный диапазон применения резисторов.

Резисторы используют для ограничения силы тока в цепях, для создания на отдельных участках схем необходимых падений напряжений, для различных регулировок (громкости, тембров и т. д.) и еще во многих случаях.

Условно-графическое обозначение резисторов и схемы соединения

Согласно ГОСТ 2.728-74, УГО постоянного проволочного резистора имеет следующий вид:



УГО проволочного резистора

Существуют два основных вида схем включения резисторов – последовательное включение резисторов и параллельное.

При последовательном включении резисторов их эквивалентное сопротивление будет равно сумме всех отдельных сопротивлений

При параллельном включении резисторов их эквивалентное сопротивление можно рассчитать по формуле

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} . \quad (0.1)$$

Конденсаторы

Электрическим конденсатором называют устройства предназначенные для накопления электрического заряда.

Принцип действия конденсатора основан на накоплении электрического заряда между двумя близко расположенными проводниками. Такие проводники так же называются обкладками. В зависимости от типа диэлектрика который разделяет обкладки различают виды конденсаторов.

К основным параметрам конденсатора относят:

Электрическая номинальная емкость – способность конденсатора накапливать на обкладках электрические заряды под воздействием электрического поля. Номинальная емкость указывается на конденсаторе или в сопроводительной документации, выбирается в соответствии с установленным рядом. Измеряется в фарадах [Ф], однако 1Ф достаточно крупная величина, поэтому значение обычных конденсаторов употребляется с приставками нано- (10^{-9}), микро- (10^{-6}), мили- (10^{-3}).

Допустимое отклонение действительного емкости конденсатора от его номинального значения. Это отклонение измеряется в процентах, оно нормировано и определяется классом точности.

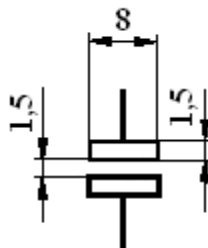
Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) – относительное изменение емкости конденсатора под действием температуры. Под действием температуры обкладки конденсатора меняют свои геометрические размеры, изменяется расстояние между ними и значение диэлектрической проницаемости диэлектрика, поэтому изменяется и значение емкости конденсатора. Для всех конденсаторов данная зависимость нелинейная, однако, в зави-

симости от типа диэлектрика, для некоторых она приближается к линейной.

Номинальное напряжение U – максимально допустимое значение постоянного напряжения (или суммы постоянной составляющей и амплитуды переменной составляющей) при котором конденсатор может работать в течении всего гарантированного срока службы при нормальной температуре.

Условно-графическое обозначение конденсаторов и схемы соединения

Согласно ГОСТ 2.728-74 на принципиально-электрических схемах конденсаторы обозначаются:



УГО конденсатора

Существуют два основных вида схем включения конденсаторов – последовательное и параллельное.

При параллельном включении конденсаторов их емкость складывается по формуле

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (0.2)$$

При последовательном включении конденсаторов их эквивалентную емкость можно рассчитать по формуле

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (0.3)$$

Маркировка резисторов и конденсаторов

Маркировка резисторов

Согласно ГОСТ 28883-90 – в промышленно выпускаемых резисторах применяется следующие системы маркировок:

Буквенная полная

Параметры и характеристики, входящие в полное условное обозначение резистора, указываются в следующей последовательности: номинальная мощность рассеяния, номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения, до-

пускаемое отклонение сопротивления в процентах (%), функциональная характеристика, обозначение конца вала и длины выступающей части вала.

Пример полного условного обозначения постоянного непроволочного резистора с регистрационным номером 4, номинальной мощностью рассеяния 0,5 Вт, номинальным сопротивлением 10 кОм, с допуском $\pm 1\%$, группой по уровню шумов А, группы ТКС – Б, все климатического исполнения В.

R1-4-0,5-10кОм $\pm 1\%$ А-Б-В ОЖО.467.157 ТУ

Буквенные сокращения

Ввиду того что полное условное обозначение занимает значительное место на корпусе резистора, то его применение не всегда возможно и удобно, поэтому было введено сокращенное буквенное обозначение в состав которого входит обозначение номинального сопротивления и допускаемого отклонения. Номинальное сопротивление обозначается в виде кода. Кодированное обозначение номинального сопротивления состоит из трех или четырех знаков, включающих в себя две или три цифры и букву латинского алфавита. Буква кода из русского или латинского алфавита обозначает множитель, составляющий сопротивление, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы R, K, M, G, T обозначают соответственно множители 1, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} . Примеры кодированных обозначений номинального сопротивления выглядят следующим образом: 215 Ом – 215R; 150 кОм – 150K; 2,2 МОм – 2M2; 6,8 ГОм – 6G8; 1 ТОм – 1T0 Кодированное обозначение допускаемого отклонения состоит из буквы соответствующей отклонению в процентах (%). Значение букв кодировки приведено в приложении 2.

Помимо описанной выше кодировки в промышленно выпускаемых резисторах применяется цветовая кодировка.

Маркировка конденсаторов

Краткая буквенная маркировка конденсатора выполняется по аналогичным правилам, что и маркировка резисторов. Номинальная емкость конденсатора выражается с помощью 3-4 чисел и кодового обозначения множителя. Принято использовать следующие буквы р, п, м, т, соответствующие множителям пико-, нано-, микро-, миллифарад.

Пример маркировки конденсатора: p10 – 0,1пФ; 1μ5 – 1,5мкФ.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для закрепления изученного материала студентам необходимо выполнить следующие задания:

Для закрепления навыков чтения кодировок резисторов необходимо расшифровать кодировку резисторов и конденсаторов. Для этого каждому студенту индивидуально преподавателем выдается необходимое количество резисторов и конденсаторов, значение маркировки которых студент должен прочесть. Проверка качества выполнения задания проводится путем измерения действующего значения сопротивления или емкости резистора или конденсатора. Задание считается успешно выполненным, если действующее значение сопротивления резистора и конденсаторов будет лежать в пределах указанного в маркировке с учетом допуска.

Для закрепления навыков расчета сопротивлений и емкости цепи студенту необходимо рассчитать эквивалентное сопротивление специальной сборки резисторов и эквивалентную емкость сборки конденсаторов, получаемых у преподавателя индивидуально. Между точками указанными при получении. Задание считается успешно выполненным, в случае если действующее значение между указанными точками в сборках будет лежать в пределах расчетного с учетом допуска.

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данной лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

Отчет по работе №1 должен содержать:

- Рассмотренные примеры маркировок с подробной расшифровкой их значения.
- Электрическую схему индивидуальной сборки резисторов и конденсаторов.
- Маркировку и расшифровку резисторов и конденсаторов входящих в состав сборки.

- Расчет эквивалентных значений для сборок и сравнение с действующим значением.
- Краткий конспект теоретического материала по вопросам для самостоятельно изучения.
- Защита работы по результатам её выполнения заключается в составлении отчета и ответе на контрольные вопросы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

- Цветовая маркировка резисторов.
- Особенности конденсаторов в зависимости от материала обкладок.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое резистор?
2. Что такое конденсатор?
3. Основные параметры резисторов.
4. Основные параметры конденсаторов.
5. УГО резисторов и конденсаторов.
6. Примеры соединения элементов и расчета эквивалентного значения сопротивления/емкости.
7. Что входит в полную маркировку?
8. Цветовая кодировка резисторов.
9. Примеры краткого обозначения номинальной емкости и сопротивления.

Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЯМИТЕЛЬНОГО ДИОДА И СТАБИЛИТРОНА

Цель работы: исследование статической вольтамперной характеристики (ВАХ) диодов и стабилитронов на основе различных полупроводниковых материалов и сравнение практических и теоретических характеристик.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

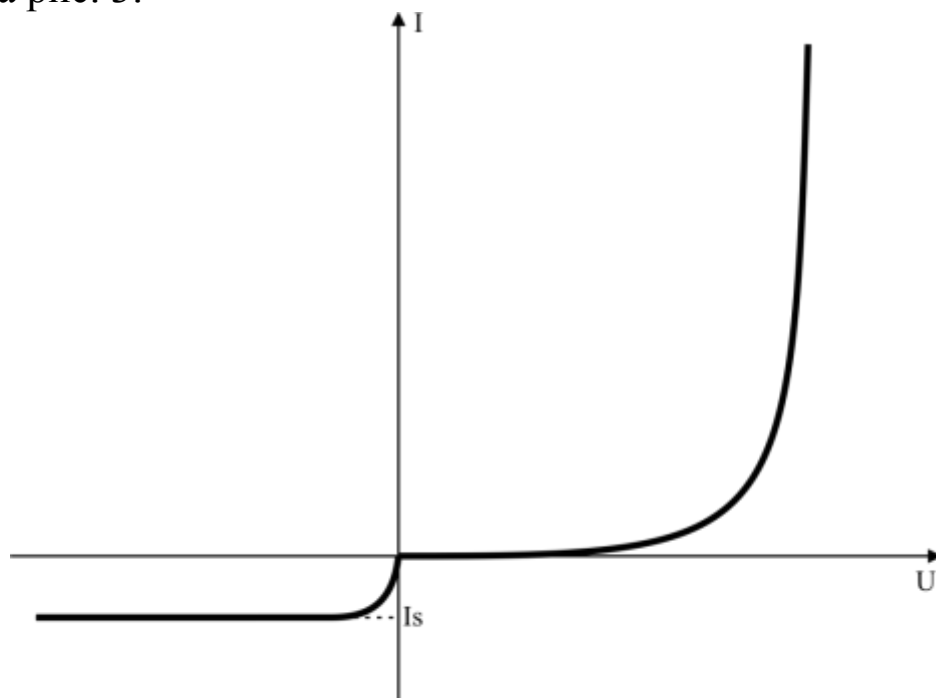
Сравнение характеристики реального диода с характеристикой идеального р-п перехода.

Известно, что статическая ВАХ идеализированного полупроводникового диода описывается выражением:

$$I = I_s (e^{\frac{qU}{kT}} - 1), \quad (1.1)$$

где I – ток диода; U – приложенное к нему напряжение; I_s – ток насыщения, определяемый параметрами р-п перехода; kT/q – тепловой потенциал ($kT/q = 0,0259$ В при $T = 300$ К).

Вид характеристики описанной данным выражением представлен на рис. 3.



ВАХ идеального р-п перехода

При изображении ВАХ масштаб по осям прямых и обратных напряжений выбирается разным так как эти значения различаются на порядки. Разные масштабы создают впечатление излома характеристики в нулевой точке, в действительности же ВАХ является дифференциально гладкой. На прямой ветви характеристики зависимость тока от напряжения носит экспоненциальный характер, а после прохождения напряжения через пороговое значение $U_{пр}$ дальнейшее изменение напряжения на десятки доли вольта вызывает значительное изменение тока через диод.

Единственный параметр ВАХ, связанный с физико-конструктивными параметрами и геометрическими размерами активной области диода, является ток насыщения I_s .

$$I_s = \frac{qD_{pb}n_i^2}{N_{Db}L_{pb}th(\frac{W_b}{L_{pb}})} \quad (1.2)$$

где q – заряд электрона; n_i – собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике; N_{Db} и L_{pb} – коэффициент диффузии и диффузионная длина неосновных носителей в ней; W_b – толщина базы; F – площадь р-п перехода.

ВАХ реального диода отличается от характеристики идеального р-п перехода в силу ряда причин:

- Рекомбинации и генерации дырок и электронов в ОПЗ перехода
- Падения напряжения на объемном сопротивлении базы
- Появления эффектов высокого уровня инжекции при больших токах
- Наличия токов утечки через р-п переход
- Начала пробоя на обратной ветви ВАХ
- Неоднородного легирования базы
- Разогрева р-п перехода выделяемой мощностью

Перечисленные эффекты приводят к тому, что ВАХ диода описывается только качественно.

Обратная ветвь ВАХ образуется суммой трех составляющих: тока насыщения I_s , тока термогенерации в ОПЗ р-п перехода I_G и тока утечки $I_{ут}$. Соотношение между этими составляющими для диодов из разных полупроводниковых материалов различно

$$I_{OBR} = I_S + I_G + I_{YT} \quad (1.3)$$

Ток термогенерации в р-п-переходе описывается формулой

$$I_G = q \frac{n_i}{\tau_{pn}} \delta F \quad (1.4)$$

где δ – ширина р-п-перехода; τ_{pn} – эффективное время жизни, характеризующее темп генерации электронно-дырочных пар в ОПЗ перехода. Ток зависит от приложенного обратного напряжения через зависимость $\delta(U)$. Ток утечки обусловлен проводящими каналами внутри р-п-перехода и на поверхности кристалла. Он зависит от площади и периметра перехода и ряда других факторов и имеет примерно линейную зависимость от обратного напряжения.

Прямая ветвь ВАХ реального диода сохраняет экспоненциальную зависимость тока от напряжения, поэтому ее можно описывать выражениями типа:

$$I = I_0 (e^{\frac{qU}{mkT}} - 1) \approx I_0 e^{\frac{qU}{mkT}} \quad (1.5)$$

где I_0 и m – параметры характеристики, которые могут изменяться на различных участках ВАХ.

Сравнение характеристик диодов из различных материалов

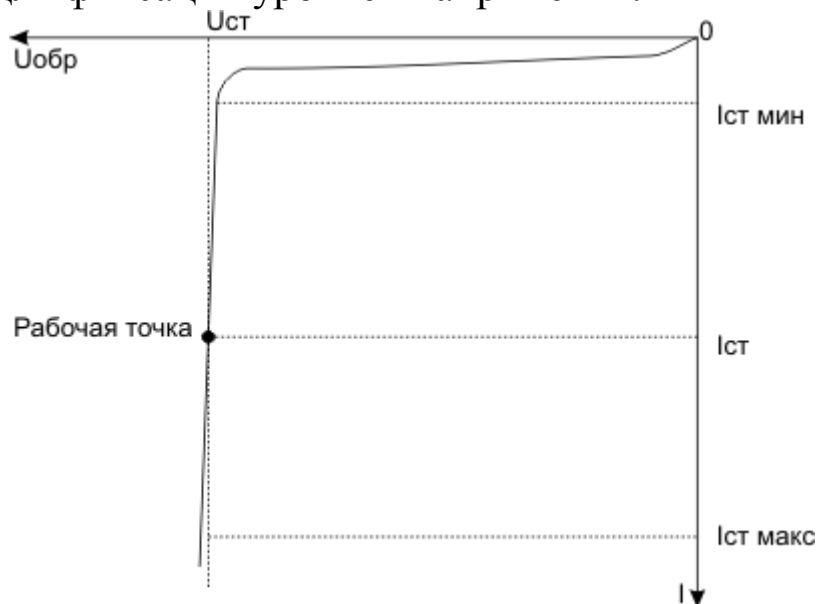
Исследуемые в работе диоды выполнены из различных полупроводниковых материалов, но имеют примерно одинаковые физико-конструктивные параметры. Отличие их характеристик связано с отличием параметров:

- ширины запрещенной зоны
- подвижности носителей заряда
- времени жизни носителей заряда
- и др.

Наибольшее влияние на различие параметров оказывает разница в значениях ширины запрещенной зоны E_g . Она определяет собственную концентрацию носителей заряда n_i которая входит в выражение параметров ВАХ. Значение ширины запрещенной зоны E_g и n_i приведены в приложении 3.

Токи насыщения всех диодов, кроме германиевого, очень малы и составляют единицы наноампер, поэтому основным компонентом обратного тока этих диодов является ток утечки. Основное отличие прямых ветвей ВАХ различных диодов заключается в различном значении тока насыщения. В приложении 3 приведены значения $U_{\text{пр}}$ полученные теоретическим путем у реальных диодов оно может отличаться по ряду причин, в основном из-за падения на объемном сопротивлении базы.

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя. Рабочим участком стабилитрона является обратная ветвь ВАХ. На данном участке ВАХ в области, где происходит электрический пробой p-n перехода, наблюдается слабая зависимость напряжения на p-n переходе от величины протекающего тока. Данную особенность используют для фиксации уровней напряжения.



Рабочий участок вольт-амперной характеристики стабилитрона

К основным параметрам стабилитрона относят:

Напряжение стабилизации $U_{\text{ст}}$, при заданном токе стабилизации $I_{\text{ст}}$;

Дифференциальное сопротивление в рабочей точке

$$r_{\text{диф}} = \frac{dU_{\text{cm}}}{dI_{\text{cm}}} \approx \frac{\Delta U_{\text{cm}}}{\Delta I_{\text{cm}}}.$$

Чем меньше дифференциальное сопротивление, тем лучше стабилизирующие свойства прибора.

Температурный коэффициент напряжения стабилизации
ТКН

$$TKH = \left(\frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} \right) \cdot 100\%$$

Применение стабилитронов хорошо показано в простейшей схеме стабилизации напряжения представленной на рис. 6.

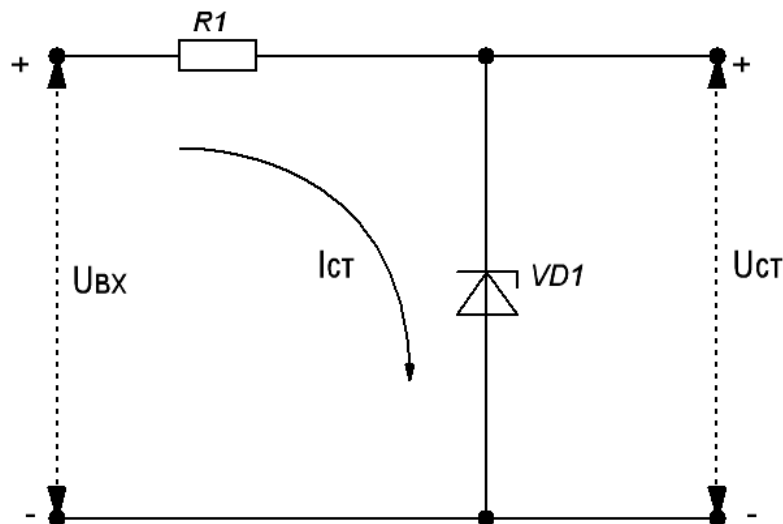


Схема простейшего стабилизатора напряжения

Резистор R1 задает ток в общей цепи $I_{cm} = \frac{U_{вх} - U_{cm}}{R}$, который изменяется пропорционально нестабилизированному входному напряжению $U_{вх}$. Поскольку при изменении тока стабилитрон обеспечивает постоянное напряжение, то на выходе получается стабилизированное напряжение $U_{ст}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для исследования вольт-амперной характеристики реального диода студентам необходимо произвести сборку схемы эксперимента

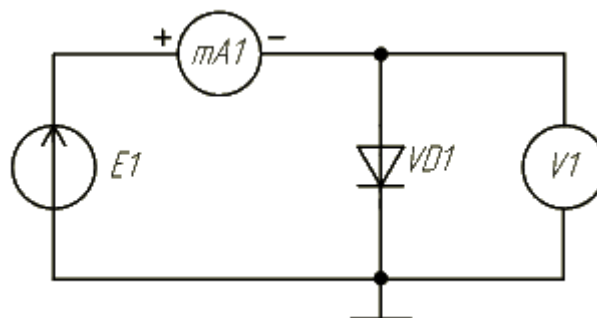


Схема эксперимента

В качестве миллиамперметра и вольтметра могут быть использованы цифровой осциллограф либо цифровые мультиметры. В качестве источника используется управляемый источник напряжения на учебном стенде NI ELVIS. В целях обеспечения бесперебойной работы генератора стенда в цепь необходимо включить ограничивающее сопротивление R , значение которого студентам необходимо рассчитать, используя параметры стенда.

После сборки схемы и её проверки преподавателем, студентам необходимо произвести серию экспериментов. Путем регулировки значения напряжения на выходе с генератора и записью показаний приборов в таблицу. Для исследования вольт-амперной характеристики стабилитрона студентам необходимо собрать схему простейшего стабилизатора напряжения используя монтажную панель стенда NI ELVIS с включением измерительных приборов в цепь.

В качестве миллиамперметра и вольтметра могут быть использованы цифровой осциллограф либо цифровые мультиметры. В качестве источника используется управляемый источник напряжения на учебном стенде NI ELVIS. После сборки схемы и её проверки преподавателем, студентам необходимо произвести серию экспериментов. Путем изменения значения напряжения на выходе с генератора и записью показаний приборов в таблицу.

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данной лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

Отчет по лабораторной работе №2 должен содержать:

- Схему эксперимента
- Расчет ограничивающего сопротивления
- Таблицу результатов и график ВАХ
- Выводы в виде сравнения ВАХ реального и идеального диодов.
- Выводы в виде сравнения ВАХ реального и стабилитрона.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните выпрямляющее действие диода.
2. Приведите основные параметры выпрямительного диода.
3. Как влияет температура на диод?
4. Чем определяется рабочая область диода?
5. В чем заключается основное свойство диода?
6. По каким параметрам выбираются диоды в схемах?
7. Объясните принцип работы стабилитрона.
8. Приведите основные параметры стабилитрона.
9. Как влияет температура на стабилитрон?
10. Чем определяется рабочая область стабилитрона?
11. Что такое рабочая точка?
12. По каким параметрам выбираются стабилитроны в схемах?

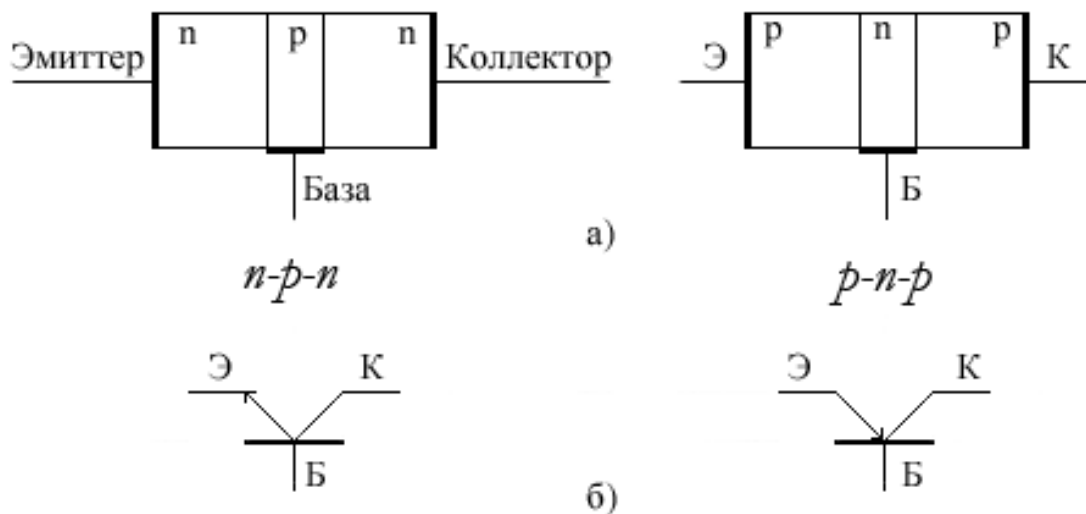
Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Цель работы: изучение принципов работы, основных параметров и характеристик биполярных транзисторов.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Биполярный транзистор (БПТ) – это трехэлектродный полупроводниковый прибор с двумя р-п переходами, применяющийся для усиления и генерации электрических сигналов, имеющий три и более выводов. Биполярные транзисторы строятся на основе структур р-п-р или п-р-п. Процессы в данных структурах проходят одинаково.



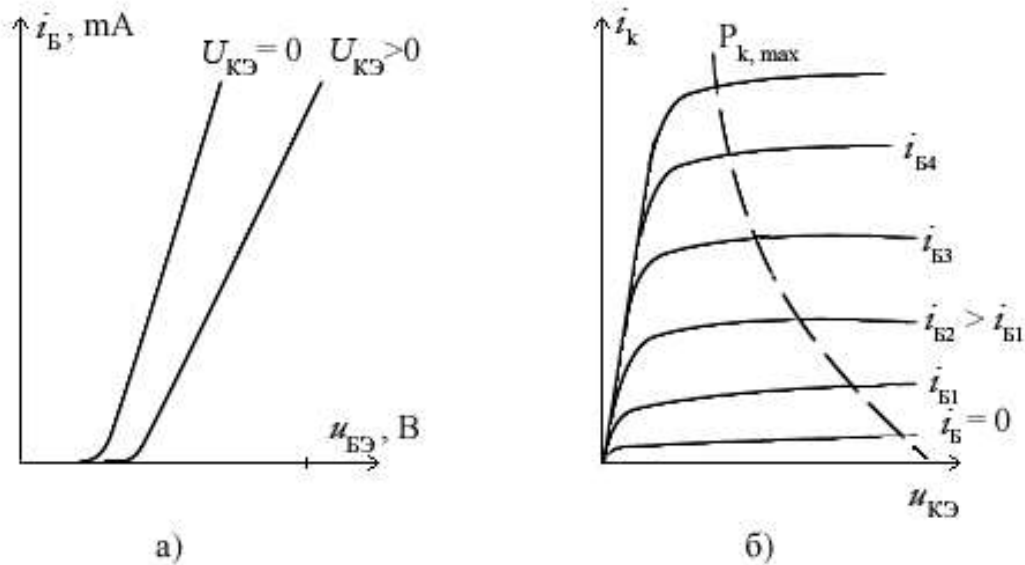
Структура(а) и обозначение БПТ(б)

Центральная область структуры называется базой, две другие области являющиеся источниками зарядов и приемниками называются эмиттер и коллектор соответственно.

В основном рабочем режиме, который носит название Активный, эмиттерный переход смещен в прямом направлении, что означает что к переходу эмиттер база прикладывается прямое напряжение, а переход коллектор-база смещен в обратном.

Основной схемой включения БПТ считают схему, где общим электродом для входной и выходной цепи является электрод эмиттера.

Для анализа усилительных свойств транзистора применяются семейства входных и выходных характеристик. Для схемы с общим эмиттером (ОЭ) входными будут являться зависимости $I_{\text{б}} = f(U_{\text{б}})$ при $U_{\text{к}} = \text{const}$ (рис.8 а), а выходными — $I_{\text{к}} = f(U_{\text{к}})$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$ (рис 8. б).



Входные (а) и выходные характеристики (б) БПТ

Наклон характеристик в активном режиме обусловлен модуляцией ширины базы коллекторным напряжением. С ростом обратного напряжения на коллекторе увеличивается ширина ОПЗ коллекторного перехода и уменьшается ширина базы, вследствие чего рекомбинация дырок в базе становится меньше и коллекторный ток возрастает.

В схеме с общим эмиттером помимо большого усиления по напряжению происходит значительное усиление по току и, как следствие, по мощности.

К параметрам транзистора, отвечающим за усиление электрического сигнала, относят статический коэффициент усиления по току для схемы с общим эмиттером $\beta = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}}$, при $U_{\text{кэ}} = \text{const}$ и α — коэффициент усиления по току для схемы с общей базой,

$\alpha = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E}$ при $U_{КБ} = \text{const}$. Данные коэффициенты связаны

между собой зависимостью $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Снять семейство входных характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером при напряжении коллектора 0; –5; –10 В, ток базы изменять в пределах 0–200 мкА.

2. Снять семейство выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, при фиксированных значениях тока базы 0, 40, 80, 120, 160, 200 мкА напряжение коллектора изменять в диапазоне от 0 до –10 В.

3. Исходя из полученных результатов определить параметры транзистора.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Самостоятельная работа студентов заключается в решение задач по теме «Транзисторы» задания выдаются индивидуально преподавателем. Задания приведены в приложении 2.

Все необходимые для решения задач справочные данные приведены в приложении 3.

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данной лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

Отчет по лабораторной работе №3 должен содержать:

- Схему эксперимента.
- Таблицу экспериментальных данных.
- Входные и выходные характеристики БПТ.
- Рассчитанные параметры транзистора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип действия биполярного транзистора.
2. Приведите основные параметры БПТ.

3. Какие характеристики являются входными и выходными при различных схемах включения?
4. Привести примеры схем включения БПТ различных типов.
5. Чем обусловлен ток коллекторного перехода в случае когда ток через эмиттерный переход равен нулю?
6. Как определить по входным и выходным характеристикам БПТ h -параметры?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Цель работы: изучение принципов работы операционных усилителей.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Операционный усилитель является законченным устройством с высокими характеристиками. Малое выходное и большое входное сопротивление, большой коэффициент усиления по напряжению, широкая полоса пропускания и малая величина искажений сигнала.

Однако реальные характеристики гораздо меньше идеальных. Это обусловлено наличием внутренних ёмкостей, индуктивностей, нелинейных, полупроводниковых, элементов. Все это оказывает влияние на форму сигнала и эффективность его пропускания на разных частотах.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему для испытания операционного усилителя.
2. Выполнить измерения его параметров.
3. Рассчитать коэффициенты.

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данной лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

1. Электрическую схему экспериментальной установки.
2. Таблицы экспериментальных данных.
3. Характеристики усилителей.
4. Результаты определения коэффициентов усиления.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Основные параметры операционных усилителей.
2. Чем обусловлены нелинейные искажения усилителей?
3. Чем обусловлена задержка выходного сигнала.

4. Почему коэффициент усиления зависит от частоты сигнала, подаваемого на вход усилителя?
5. Каковы преимущества высоких входных и малых выходных сопротивлений?

Лабораторная работа № 7

РАСЧЕТ СМЕЩЕНИЯ В УСИЛИТЕЛЯХ КЛАССА А, АБ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ LTSPICE IV

Цель работы: изучение принципов работы, основных параметров и характеристик усилителей.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

По способу работы с входным сигналом и принципу построения усилительных каскадов усилители мощности разделяются на:

- Аналоговые, класс А
- Аналоговые, класс В
- Аналоговые, класс АВ
- Аналоговые, класс Н
- Импульсные и цифровые, класс D

Необходимо отметить, что существует еще множество классов усилителей, таких как С, А+, SuperA, G, DLD и др.

Аналоговые усилители, по сути, отличаются только углом отсечки входного сигнала, т.е. выбором так называемой «рабочей точки».

Усилители класса А работают без отсечки сигнала на наиболее линейном участке вольтамперной характеристики усилительных элементов. Это обеспечивает минимум нелинейных искажений (THD и IMD), причем как на номинальной мощности, так и на малых мощностях, ценой потери КПД. В среднем КПД усилителя класса А составляет 15–30 %, а потребляемая мощность не зависит от величины выходной мощности. Мощность рассеяния максимальна при малых сигналах на выходе.

Как следует из названия усилители класса АВ – это попытка объединить достоинства усилителей А и В класса, т. е. добиться высокого КПД и приемлемого уровня нелинейных искажений. Для того чтобы избавиться от ступенчатого перехода при переключении усилительных элементов используется угол отсечки более 90 градусов, т. е. рабочая точка выбирается в начале ли-

нейного участка вольтамперной характеристики. За счет этого при отсутствии сигнала на входе усилительные элементы не запираются, и через них протекает некоторый ток покоя, иногда значительный. Из-за этого уменьшается коэффициент полезного действия и возникает незначительная проблема стабилизации тока покоя, но зато существенно уменьшаются нелинейные искажения.

Среди аналоговых усилителей данный режим работы встречается чаще всего.

Интерфейс программы моделирования

LTspice IV является очень простым и точным инструментом для моделирования схем. К тому же эта система полностью бесплатна и может работать под Линуксом с использованием Wine. Одна из интересных особенностей программы – возможность вывода в звуковой wav-файл результатов симуляции, которые можно будет затем прослушать.

Программу можно скачать по адресу <http://www.linear.com>

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Используя средства среды моделирования LTSpice, собрать любую из существующих схем усилителя класса А.

2. Снять осциллограммы напряжений для этого в панели управления нажать кнопку "пуск" (или в меню **Simulate** выбрать **Run**), появится пустое окно симуляции. Теперь нужно навести курсор на любой проводник в окне схемы, форма курсора изменится и превратится в щуп, и если кликнуть левой кнопкой мыши, то в окне симуляции появится график осциллограммы напряжения. Что бы добавить на график другую осциллограмму следует кликнуть по другому проводнику, удерживая нажатой клавишу **Ctrl**. Если навести курсор на какой-либо компонент, то форма курсора изменится на токовые клещи, соответственно клик в таком случае покажет осциллограмму тока, протекающего через данный компонент. Что бы удалить какую-либо осциллограмму с графика, следует воспользоваться ножницами (Функциональная клавиша **F5**).

3. Рассчитать смещение рабочей точки транзистора исходя из данных моделирования.

4. Повторить пп. 1–3 для усилителя класса АБ.

5. Сделать выводы по проделанной работе.

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данной лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

1. Электрические схемы усилителей.

2. Параметры схем.

3. Осциллограммы напряжений.

4. Расчет смещения.

5. Выводы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Самостоятельная работа студентов заключается в решение задач по теме «Усилители» задания выдаются индивидуально преподавателем. Задания приведены в приложении 2.

Все необходимые для решения задач справочные данные приведены в приложении 3.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое класс усилителя?

2. Усилители каких классов существуют?

3. Отличия усилителей различных классов.

4. Принцип работы усилителя класса А.

5. Принцип работы усилителя класса Б.

6. Принцип работы усилителя класса АБ.

Лабораторная работа № 8

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ОУ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ PSPICE 9.1

Цель работы: изучение принципов работы, основных параметров и характеристик активных фильтров.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Операционный усилитель (ОУ) – унифицированный многокаскадный усилитель постоянного тока, выполненный на интегральной схеме и удовлетворяющий следующим требованиям к электрическим параметрам:

- коэффициент усиления по напряжению стремится к бесконечности ($K_U \rightarrow \infty$);
- входное сопротивление стремится к бесконечности ($R_{BX} \rightarrow \infty$);
- выходное сопротивление стремится к нулю ($R_{ВЫХ} \rightarrow 0$);
- если входное напряжение стремится к нулю, то выходное напряжение также равно нулю ($U_{BX} = 0 \rightarrow U_{ВЫХ} = 0$);
- бесконечная полоса усиливаемых частот ($f_B \rightarrow \infty$).

Являясь, по существу, идеальным усилительным элементом, ОУ составляет основу всей аналоговой электроники, что стало возможным в результате достижений современной микроэлектроники, позволившей реализовать достаточно сложную структуру ОУ в интегральном исполнении на одном кристалле и наладить массовый выпуск подобных устройств. Все это позволяет рассматривать ОУ в качестве простейшего элемента электронных схем подобно диоду, транзистору и т. п. Следует отметить, что на практике ни одно из перечисленных выше требований ОУ не может быть удовлетворено полностью.

Операционный усилитель – это аналоговая интегральная схема, снабженная, как минимум, пятью выводами.

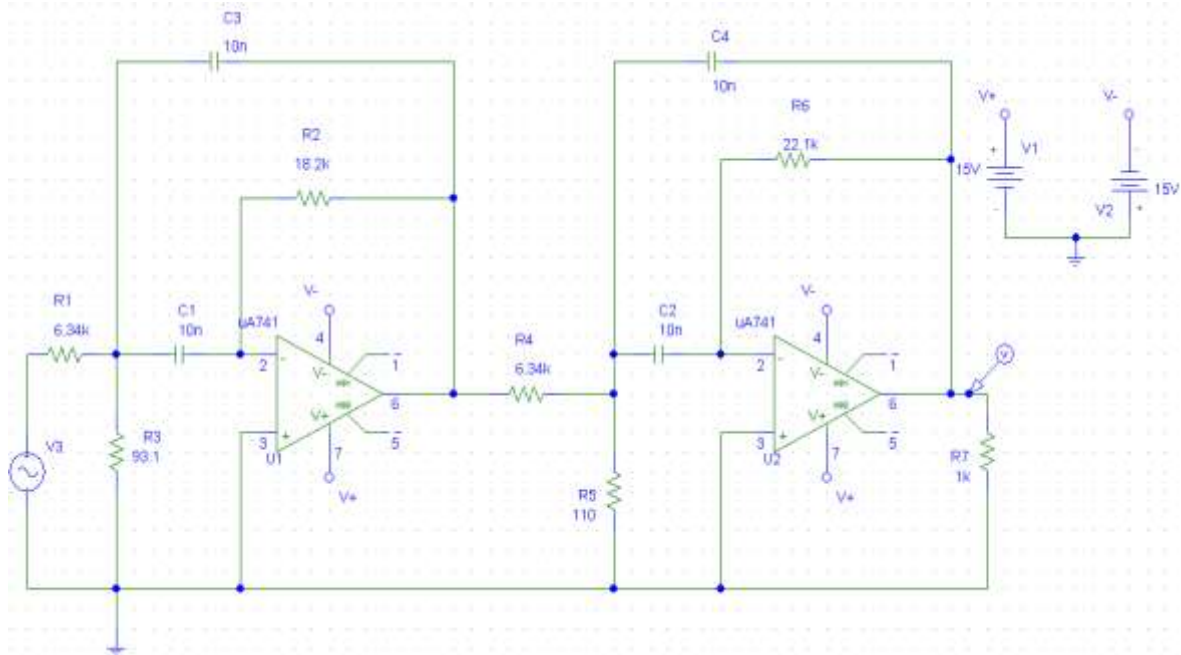
Два вывода ОУ используются в качестве входных, один вывод является выходным, два оставшихся вывода используются для подключения источника питания ОУ. С учетом фазовых соотношений входного и выходного сигналов один из входных вы-

водов называется не инвертирующим, а другой – инвертирующим. Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ связано с входными напряжениями $U_{\text{ВХ1}}$ и $U_{\text{ВХ2}}$ соотношением

$$U_{\text{ВЫХ}} = KU_0 (U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}),$$

где KU_0 – собственный коэффициент усиления ОУ по напряжению.

Питание операционного усилителя осуществляется от двух разно полюсных источников. В реальных ОУ напряжение питания лежит в диапазоне $\pm 3 \text{ В} \dots \pm 18 \text{ В}$.

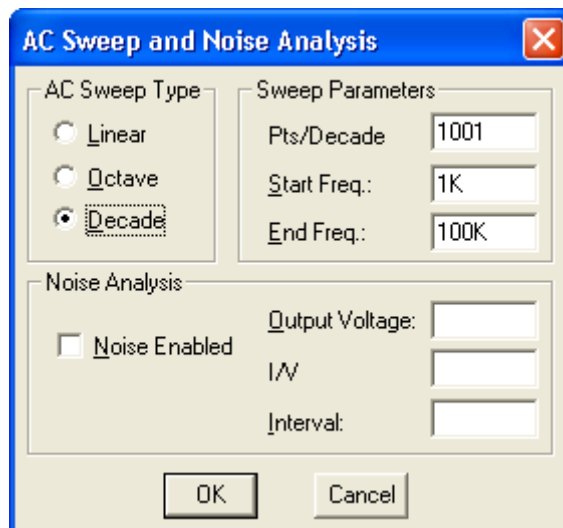


Активный полосовой фильтр

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите схему, указанную на рис. 10. Это активный полосовой фильтр на базе двух ОУ. Одной из наиболее важных характеристик подобных схем является её частотная характеристика.

2. Проведите анализ AC Sweep.



Параметры анализа AC Sweep

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данной лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

1. Электрические схемы фильтра.
2. Параметры схемы.
3. Осциллограммы напряжений.
4. Выводы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Самостоятельная работа студентов заключается в решении задач по теме «Операционные усилители», задания выдаются индивидуально преподавателем. Задания приведены в приложении 2. Все необходимые для решения задач справочные данные приведены в приложении 3.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой операционный усилитель?
2. Приведите порядок величины коэффициента усиления ОУ.
3. Где используются ОУ?
4. Приведите основные характеристики ОУ.
5. Какие типы усилителей, использующих ОУ, вам известны?
6. По каким соотношениям необходимо рассчитывать эти схемы?

Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛАКСАЦИОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ LTSPICE IV

Цель работы: Целью работы является ознакомление с практическими схемами релаксационных генераторов; изучение условий, обеспечивающих режим самовозбуждения; анализ влияния построения схемы и ее параметров на параметры генерируемых импульсов.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Генераторами являются такие схемы, которые производят периодические колебания различных форм, например, прямоугольные, треугольные, пилообразные и синусоидальные. В генераторах обычно применяются различные активные компоненты, лампы или кварцевые резонаторы, а также пассивные – резисторы, конденсаторы, индуктивности.

Существует два основных класса генераторов – релаксационные и гармонические. Релаксационные генераторы производят треугольные, пилообразные и другие несинусоидальные сигналы.

Релаксационные генераторы импульсов используются в качестве задающих частоту работы других устройств, делителей частоты, запускающих и переключающих устройств, генераторов развертки электронного луча осциллографических, радиолокационных и телевизионных трубок.

Усилительный элемент и ОУ в таких генераторах работает в ключевом режиме.

Релаксационные генераторы могут работать в автоколебательном и ждущем режимах, а также в режимах синхронизации и деления частоты.

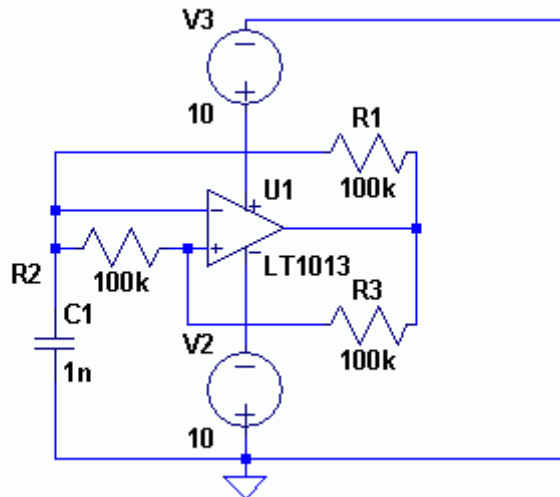


Схема релаксационного генератора

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему, приведенную на рис. 10. В среде моделирования LTSpice
2. Настроить режим моделирования следующим образом:
 - a. Stop Time = 0.01
 - b. Time to Start saving Data = 0
 - c. Maximum Timestep = 1u

Для этого в меню **Simulate** следует выбрать **Edit simulation Cmd.**

3. Разместить полученную команду в любом месте схемы.
4. В панели управления нажать кнопку "пуск" (или в меню **Simulate** выбрать **Run**), появится пустое окно симуляции. Теперь нужно привести курсор на любой проводник в окне схемы, форма курсора изменится и превратится в щуп, и если кликнуть левой кнопкой мыши, то в окне симуляции появится график осциллограммы напряжения. Чтобы добавить на график другую осциллограмму следует кликнуть по другому проводнику, удерживая нажатой клавишу **Ctrl**. Если привести курсор на какой-либо компонент, то форма курсора изменится на токовые клещи, соответственно, клик в таком случае покажет осциллограмму тока, протекающего через данный компонент.

Чтобы удалить какую-либо осциллограмму с графика, следует воспользоваться ножницами (Функциональная клавиша F5).

5. Снять зависимость колебаний от величины сопротивления резисторов в цепи генератора, последовательно изменяя сопротивления резисторов R_1 , R_2 , R_3 .

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по данной лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями, приведенными в приложении 1.

1. Электрическую схему генератора.
2. Полученные осциллограммы.
3. Выводы о влиянии сопротивлений на генератор.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

Самостоятельная работа студентов заключается в решении задач по теме «Операционные усилители», задания выдаются индивидуально преподавателем. Задания приведены в приложении 2. Все необходимые для решения задач справочные данные приведены в приложении 3.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое генератор электрических сигналов?
2. Приведите классификацию генераторов электрических сигналов.
3. На какой элементной базе могут строиться генераторы?
4. В чем преимущества и недостатки генераторов на ОУ?
5. Принцип действия релаксационного генератора на ОУ.
6. В чем заключаются отличия релаксационных генераторов от гармонических?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

а) основная литература:

1. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направления подготовки "Электроника и микроэлектроника" / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – 9-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 480 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=300

2. Информационно-измерительная техника и электроника: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Электроэнергетика» / под ред. Г. Г. Ранеева. – Москва: Академия, 2006. – 512 с.

3. Белов, Н. В. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Белов, Ю. С. Волков. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 432 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=3553

б) дополнительная литература:

4. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям в области техники и технологии / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 736 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=3190

5. Миловзоров, О. В. Электроника : учебник для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – Москва: Высш. шк., 2004. – 288 с.

6. Прянишников, В. А. Электроника: полный курс лекций. – Санкт-Петербург: Корона-принт, 2004. – 416 с.

7. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Лаборатория на компьютере : учеб. пособие для вузов: в 2 т. / под ред. Д. И. Панфилова. Т. 2 : Электроника. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 304 с.

8. Зиновьев, Г. С. Основы силовой электроники: учеб. пособие для студентов специальности 200400 «Пром. электроника». – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 672 с.

9. Современная электроника: журнал для специалистов. – Москва: СТА-Пресс.

10. Электротехника: ежемесячный научно-технический журнал / департамент машиностроения Минпрома РФ и др. – Москва: Знак : Электротехника.

в) интернет-ресурсы:

11. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>. – Загл. с экрана.

12. Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>. Загл. с экрана.

13. Международная общественная организация «Наука и техника» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://n-t.ru/>. Загл. с экрана.

14. Техническая литература [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://engenegr.ru/>. Загл. с экрана.

15. Электронная электротехническая библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electrolibrary.info/>. Загл. с экрана.

16. Техническая библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://techlibrary.ru/>. Загл. с экрана.

17. Поиск электронных компонентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.efind.ru/>. Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Правила оформления отчета

Текст отчета должен быть подготовлен в редакторе Microsoft Word в формате .doc или .rtf

Шрифт – Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал единичный. Размер статьи – не более 3 листов со списком литературы.

Параметры страницы: формат листа А4, ориентация листов – книжная, верхнее/нижнее поле 2,5 см, правое/левое поле 2,5 см. Абзацный отступ – 1,25 см. Выравнивание основного текста статьи – по ширине поля. Установить автоматическую расстановку переносов.

Титульный лист отчета должен содержать:

- Название университета
- название кафедры
- НАЗВАНИЕ ОТЧЕТА (буквы прописные, жирный шрифт, выравнивание по центру)
- номер лабораторной (практической) работы
- И.О. Фамилия автора, группа
- И.О. Фамилия преподавателя, должность
- Строка для отметки о защите отчета
- Город (буквы строчные, выравнивание по центру) и год

Формулы, включенные в основной текст, должны полностью набираться в редакторе формул Microsoft Equation с выравниванием по центру и пропуском строки сверху и снизу (номер формулы выравнивается по правому краю поля). Размеры всех элементов формул должны быть соизмеримы с текстовыми размерами.

Иллюстрации, входящие в состав отчета, выравниваются по центру и должны иметь подпись формата Рис. ** (номер рисунка)

Ссылки в тексте на источник – в квадратных скобках в строгом соответствии с библиографическим списком.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Задачи по курсу

I. Р-п-переход

1. Рассчитать токи через кремниевый р-п переход при температурах 20 и 50 °С и при напряжении 0,55 В. Принять, что тепловой ток при температуре 25 °С равен 10^{-10} А.
2. Рассчитать напряжения на кремниевом р-п переходе при температурах 25 и 75 °С и при токе 10 мА. Принять, что тепловой ток при температуре 25 °С составляет 10^{-12} А.
3. Рассчитать дифференциальные сопротивления кремниевго р-п-перехода при температурах 0 и 50 °С и при нулевом приложенном напряжении. Принять, что тепловой ток при температуре 25 °С составляет 10^{-11} А.
4. Рассчитать дифференциальные сопротивления р-п-перехода при температурах 0 и 50 °С и при токе через переход 5 мА. Принять, что тепловой ток при температуре 25 °С составляет $2 \cdot 10^{-11}$ А.
5. Рассчитать дифференциальное сопротивление кремниевго р-п-перехода при приложенных напряжениях 0,55 и минус 0,55 В и при температуре 25 °С. Принять, что тепловой ток при температуре 20 °С составляет $3 \cdot 10^{-10}$ А.
6. Рассчитать контактную разность потенциалов для кремниевго и германиевого р-п переходов при температуре 20 °С. Принять концентрации легирующих примесей в р- и п-областях равными соответственно $3 \cdot 10^{16}$ и 10^{15} см⁻³.
7. Рассчитать контактную разность потенциалов и сопротивление базы диода на основе кремниевго р-п-перехода при температуре 300 К. Принять, что концентрация легирующих примесей в р- и п-областях составляет соответственно $3 \cdot 10^{16}$ и 10^{15} см⁻³, площадь перехода – 0,1 см², толщина базы – 0,2 см.
8. Рассчитать контактную разность потенциалов и сопротивление базы диода на основе кремниевго р-п-перехода при температуре 250 К. Принять, что концентрация легирующих примесей в р- и п-областях составляет соответственно $2 \cdot 10^{15}$ см⁻³ и $4 \cdot 10^{16}$ см⁻³, площадь перехода – 0,2 см², толщина базы – 0,3 см.

9. Рассчитать напряжение на клеммах диода при токе 10 мА и температуре 300 К в соответствии с условием задачи 1.8. Принять, что тепловой ток при этой температуре равен 10^{-11} А.

10. Рассчитать напряжение на клеммах диода при токе 15 мА и температуре 300 К в соответствии с условиями задачи 1.7. Принять, что тепловой ток при этой температуре составляет 10^{-10} А.

11. Кремниевый р-п переход включен в цепь, содержащую последовательно соединенные резистор номиналом 1 кОм и источник напряжения 5 В. Рассчитать ток, протекающий через переход при температуре 50 °С, если тепловой ток при температуре 25 °С составляет 10^{-11} А. Сопротивлением базы пренебречь. Принять, что р-п-переход смещен в прямом направлении.

12. Кремниевый р-п переход включен в цепь, содержащую последовательно соединенные резистор номиналом 0,5 кОм и источник напряжения 0,3 В. Рассчитать ток, протекающий через переход при температуре минус 20 °С, если тепловой ток при температуре 25 °С составляет 10^{-10} А. Сопротивлением базы пренебречь. Принять, что р-п переход смещен в обратном направлении.

13. К двум последовательно соединенным р-п переходам подсоединен источник напряжения 1,1 В. Тепловой ток переходов при температуре 300 К составляет соответственно 10^{-10} и $3 \cdot 10^{-10}$ А. Определить ток, протекающий в цепи при этой температуре, и напряжение на каждом переходе. Принять, что оба перехода смещены в прямом направлении. Сопротивлением базы пренебречь.

14. К двум последовательно и встречно соединенным р-п переходам подсоединен источник напряжения 2,0 В. Тепловой ток переходов при температуре 300 К составляет 10^{-10} А для перехода, смещенного в прямом направлении, и $3 \cdot 10^{-10}$ А – для перехода, смещенного в обратном направлении. Определить ток, протекающий в цепи при этой температуре, и напряжение на каждом переходе. Сопротивлением базы пренебречь.

15. Рассчитать емкость кремниевого р-п-перехода при нулевом приложенном напряжении и температуре 20 °С. Принять,

что концентрация примесей в р- и n-областях составляет 10^{16} и 10^{15} см^{-3} соответственно. Площадь перехода равна $0,1 \text{ см}^2$.

16. Рассчитать емкость кремниевого р-n-перехода при напряжении $0,56 \text{ В}$ и температуре 300 К . Принять, что концентрация примесей в р- и n-областях составляет соответственно $3 \cdot 10^{16}$ и 10^{15} см^{-3} . Время жизни носителей в базе принять равным $0,001 \text{ с}$, площадь перехода – $0,1 \text{ см}^2$.

17. Рассчитать, насколько изменится емкость кремниевого р-n-перехода при уменьшении приложенного напряжения от минус $0,5$ до минус $0,9 \text{ В}$. Концентрация примесей в р- и n-областях равна 10^{15} и $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ соответственно. Температуру принять равной 300 К .

18. Определить, насколько изменится емкость кремниевого р-n-перехода, если температура увеличится от $30 \text{ }^\circ\text{С}$ до $50 \text{ }^\circ\text{С}$ при постоянном приложенном напряжении минус $0,5 \text{ В}$. Концентрация примесей в р- и n-областях составляет соответственно $4 \cdot 10^{16}$ и $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

19. Рассчитать, насколько изменится емкость кремниевого р-n перехода, если температура увеличится от $27 \text{ }^\circ\text{С}$ до $50 \text{ }^\circ\text{С}$ при постоянном приложенном напряжении $0,57 \text{ В}$. Концентрация примесей в р- и n-областях составляет соответственно $2 \cdot 10^{16}$ и 10^{15} см^{-3} , площадь перехода – $0,1 \text{ см}^2$. Время жизни неравновесных носителей считать не зависящим от температуры и равным $0,001 \text{ с}$.

20. В параллельном колебательном контуре в качестве конденсатора используется обратно смещенный кремниевый р-n переход. Рассчитать, как изменится резонансная частота колебательного контура, если обратное смещение снизить от минус $0,2 \text{ В}$ до минус $0,7 \text{ В}$, а индуктивность составляет 2 мкГн . Концентрация примесей в р- и n-областях перехода равна соответственно 10^{15} и 10^{16} см^{-3} , площадь перехода – $0,1 \text{ см}^2$, температура – 300 К .

21. Рассчитать, насколько необходимо изменить температуру кремниевого р-n-перехода по отношению к 300 К для того, чтобы тепловой ток увеличился в 2 раза.

22. К кремниевому р-n переходу приложено обратное напряжение $0,2 \text{ В}$. Рассчитать, насколько необходимо изменить

напряжение для того, чтобы уменьшить ширину перехода в 2 раза. Концентрация примесей в р- и n-областях равна соответственно 10^{15} и $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

23. Кремниевый р-n переход последовательно включен в цепь, содержащую резистор номиналом 100 кОм и источник напряжения 3 В. Переход смещен в обратном направлении. Определить, насколько изменится напряжение на клеммах резистора при увеличении температуры относительно 20°C на один градус. Тепловой ток при температуре 300 К считать равным 10^{-10} А .

24. Кремниевый р-n переход последовательно включен в цепь, содержащую резистор номиналом 1 кОм и источник напряжения 5 В. Переход смещен в прямом направлении. Определить, насколько изменится напряжение на переходе при изменении температуры (20°C) на один градус. Тепловой ток при температуре 300 К считать равным 10^{-10} А .

25. Кремниевый р-n переход последовательно включен в цепь, содержащую резистор номиналом 2 кОм и источник напряжения 8 В. Переход смещен в прямом направлении. Определить, насколько изменится напряжение на переходе при увеличении напряжения источника на 1 В. Температуру принять равной 300 К, тепловой ток при этой температуре равен 10^{-11} А .

26. Рассчитать амплитуду тока в цепи кремниевого диода, если к диоду подключен источник синусоидального напряжения с действующим значением 10 мВ и частотой 100 кГц. Концентрация примесей в р- и n-областях равна соответственно $2 \cdot 10^{15}$ и $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, площадь перехода – $0,1 \text{ см}^2$, ширина базы – 0,2 см, температура – 300 К.

27. Определить сопротивление базы кремниевого диода на основе р-n перехода, если при приложении обратного напряжения 2 В ток равен 10^{-12} А , а при приложении прямого напряжения 0,8 В ток равен 20 мА. Температуру принять равной 20°C .

28. Обратный ток р-n-перехода при напряжении 2 В и температуре 20°C составляет 10^{-12} А , а при увеличении температуры до 40°C возрастает до 10^{-11} А . Определить обратный ток перехода при температуре 60°C .

29. Емкость кремниевого р-п-перехода при напряжении минус 0,2 В равна 10^{-8} Ф, а при напряжении минус 0,8 В равна $7 \cdot 10^{-9}$ Ф. Рассчитать емкость перехода при нулевом напряжении на переходе, если концентрация примесей в р- и п-областях составляет соответственно $2 \cdot 10^{15}$ и $3 \cdot 10^{16}$ см⁻³.

30. р-п переход включен последовательно в цепь, содержащую резистор номиналом 100 кОм и источник напряжения. Переход смещен в обратном направлении. Определить величину напряжения источника, при котором обратный ток отличается от теплового на 1 %, если тепловой ток составляет 10^{-7} А. Температуру принять равной 20 °С.

31. р-п-переход, зашунтированный резистором номиналом 50 Ом, включен в цепь, содержащую последовательно включенный резистор 100 Ом и источник напряжения 5 В. Определить ток, потребляемый от источника, если переход смещен в прямом направлении, а тепловой ток равен 10^{-8} А. Температура равна 300 К.

32. Диод на основе р-п-перехода имеет сопротивление базы 30 Ом, тепловой ток 10^{-10} А, сопротивление утечки 108 Ом. Рассчитать токи через диод при приложении напряжения 1 В и минус 1 В. Температуру принять равной 20 °С, сопротивление утечки считать не зависящим от приложенного напряжения.

33. Прямой ток через р-п переход при температуре 20 °С составляет 1 мА, а при температуре 40 °С увеличивается до 1,2 мА. Приложенное к переходу напряжение при этом остается постоянным и составляет 0,55 В. Определить ширину запрещенной зоны полупроводникового материала, из которого изготовлен переход. Сопротивление базы принять равным нулю.

II. Транзисторы

1. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Ток базы равен 100 мкА, ток коллектора при напряжении на коллекторе 5 и 10 В составляет соответственно 3 и 3,1 мА. Оценить входное и выходное дифференциальные сопротивления. Температуру принять равной 300 К, сопротивление базы транзистора считать равным нулю.

2. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Ток коллектора при напряжении коллектора 2,5 В и токе базы 100 мкА составляет 5 мА, а при увеличении напряжения коллектора до 8 В линейно возрастает и достигает 5,3 мА. Рассчитать напряжение и ток коллектора, если в цепь коллектора включены источник напряжения 8,5 В и резистор номиналом 1 кОм. Рассчитать величину номинала резистора, включенного между источником коллекторного напряжения и базой, обеспечивающего заданный ток базы. Температуру принять равной 300 К.

3. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. В цепь коллектора включены источник напряжения 6 В и резистор номиналом 1,5 кОм. Ток коллектора при напряжении коллектора 3 В и токе базы 50 мкА равен 2 мА, а при увеличении напряжения коллектора до 7 В линейно возрастает до 2,3 мА. Рассчитать мощность, рассеиваемую коллектором.

4. Кремниевый биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Ток коллектора при напряжении источника питания 10 В и токе базы 75 мкА составляет 8 мА. Рассчитать величину резистора, включенного между источником напряжения и базой транзистора и обеспечивающего указанный режим при температуре 27 °С. Определить, как изменится ток эмиттера при рассчитанном сопротивлении, если температура повысится до 50 °С. Тепловой ток эмиттерного перехода принять равным 10^{-10} А при температуре 20 °С. Принять, что коэффициенты передачи тока базы и эмиттера от температуры не зависят.

5. Биполярный транзистор включен в схему усилительного каскада с разделенной нагрузкой и базовым делителем. Ток базы равен 50 мкА, ток коллектора равен 3,5 мА. Сопротивление резистора в эмиттерной цепи составляет 0,5 кОм. Рассчитать сопротивление базового делителя, обеспечивающее заданный режим транзистора при температуре 20 °С. Напряжение питания коллекторной цепи равно 15 В, тепловой ток эмиттерного перехода равен 10^{-9} А, входное сопротивление каскада должно быть максимально возможным.

6. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. Ток коллектора при напряжении коллектора 3 В со-

ставляет 4,4 мА и при увеличении напряжения до 8 В линейно возрастает до 5,3 мА. Найти значение сопротивления, включенного в цепь коллектора вместе с источником напряжения 12 В, при котором ток коллектора равен 5 мА. Рассчитать мощность, рассеиваемую коллектором для этого режима.

7. Биполярный транзистор включен по схеме с общей базой. Коэффициент передачи тока эмиттера равен 0,95, тепловой ток коллектора при 20 °С равен 10^{-7} А, ток эмиттера равен 1 мА. Найти напряжение коллектора, при котором ток коллектора равен нулю. Влиянием коллекторного напряжения на ширину базы и на коэффициент передачи тока эмиттера пренебречь.

8. Биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером. При напряжении коллектора 10 В и токе базы 100 мкА ток коллектора составляет 5 мА. Тепловые токи коллекторного и эмиттерного переходов при температуре 20 °С равны соответственно $3 \cdot 10^{-8}$ и 10^{-8} А. Определить коллекторное напряжение, при котором ток коллектора снизится по сравнению с указанным на 30%. Считать, что коллекторное напряжение не влияет на ширину базы и коэффициент передачи тока базы.

9. При условиях, аналогичных задаче 2.9, определить ток коллектора при напряжении коллектора минус 0,2 В.

10. При условиях, аналогичных задаче 2.8, определить напряжение на коллекторе при токе коллектора, равном 0,4 мА. Ток эмиттера принять равным 0,5 мА.

11. При условиях, аналогичных задаче 2.9, определить ток коллектора, если в цепь коллектора включен резистор номиналом 3 кОм, а напряжение источника питания составляет 10 В.

12. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и n-каналом имеет напряжение отсечки, равное минус 1,5 В. В режиме насыщения при напряжении затвора минус 1,0 В ток стока равен 1 мА. Определить ток стока и крутизну транзистора в режиме насыщения при нулевом напряжении затвора. Выходную дифференциальную проводимость принять равной нулю.

13. В полевом транзисторе с управляющим р-п переходом и n-каналом, работающем в режиме насыщения, ток стока при нулевом напряжении затвора равен 3 мА, напряжение отсечки равно минус 0,8 В. Определить ток и крутизну транзистора в режиме

насыщения при напряжении затвора минус 0,3 В. Выходную дифференциальную проводимость принять равной нулю.

14. В полевом транзисторе с индуцированным n-каналом в режиме насыщения крутизна равна 1,8 мА/В при напряжении затвора 1,5 В, пороговое напряжение равно 0,65 В. Рассчитать ток стока и крутизну в режиме насыщения при напряжении затвора 1,8 В. Выходную дифференциальную проводимость принять равной нулю.

15. Полевой транзистор с управляющим p-n переходом, работающий в режиме насыщения, имеет напряжение отсечки минус 1,5 В, ток стока при напряжении затвора минус 0,5 В составляет 4 мА. Определить напряжение насыщения стока при напряжении затвора минус 0,2 и минус 0,4 В.

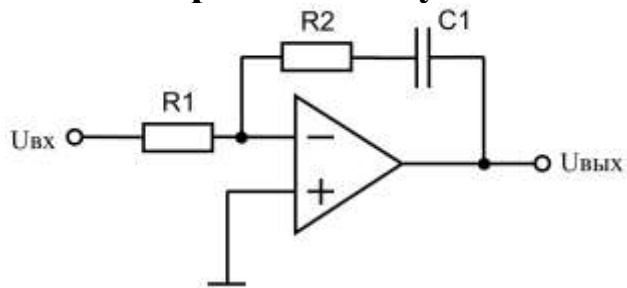
16. Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом и n-каналом имеет напряжение отсечки минус 0,8 В, ток стока при нулевом напряжении затвора равен 2 мА. В цепь стока включен резистор номиналом 1 кОм. Определить минимальное напряжение источника питания в цепи стока, при котором транзистор продолжает работать в режиме насыщения, если напряжение затвора при этом составляет минус 0,3 В.

17. Полевой транзистор с управляющим p-n переходом и p-каналом имеет напряжение отсечки 0,9 В, ток стока при нулевом напряжении затвора равен 2,1 мА. В цепь стока включен резистор номиналом 2 кОм, в цепь истока включен резистор номиналом 400 Ом, затвор заземлен. Определить, обеспечивается ли режим насыщения транзистора при напряжении источника питания минус 4,5 В. Найти соответствующие этому режиму напряжение затвор-исток и ток стока.

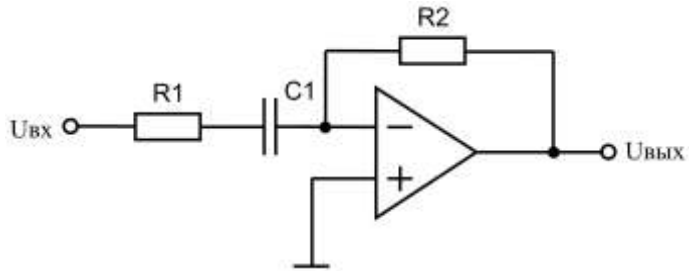
18. Для полевого транзистора с управляющим p-n-переходом и n-каналом переход к режиму насыщения при нулевом напряжении затвора наступает при напряжении стока 1,3 В. Найти, при каком напряжении стока наступает режим насыщения, если напряжение затвора равно минус 0,5 В. Рассчитать в этом режиме ток стока и крутизну.

III. Операционные усилители

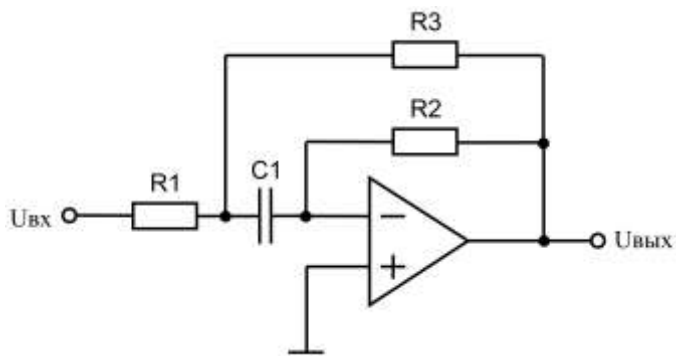
1.



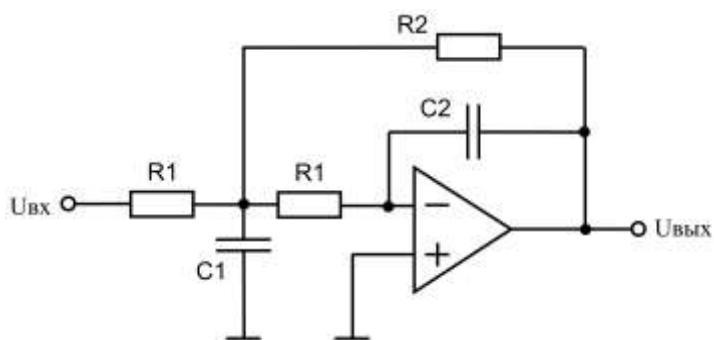
2.



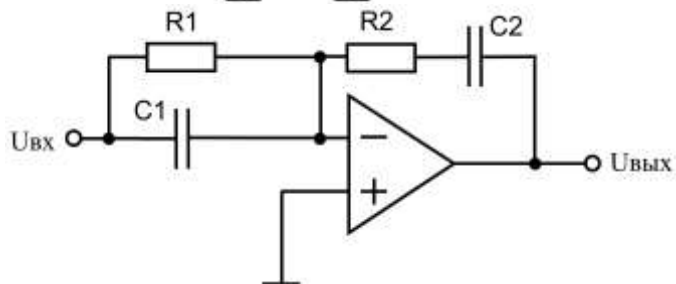
3.



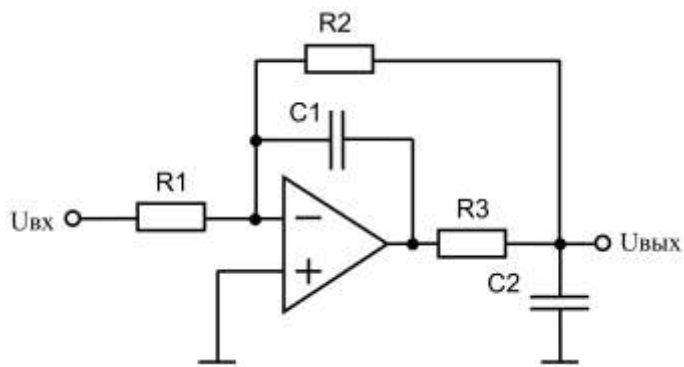
4.



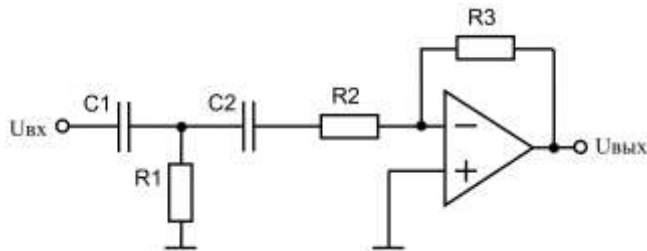
5.



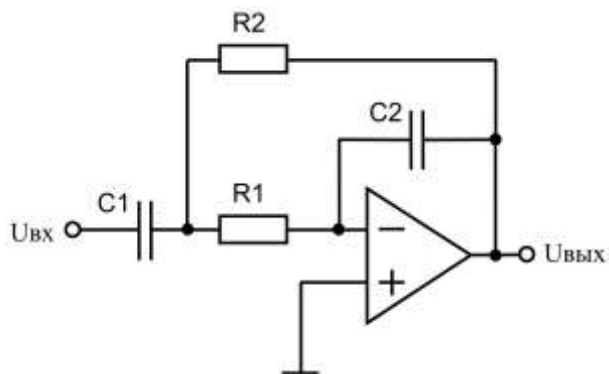
6.



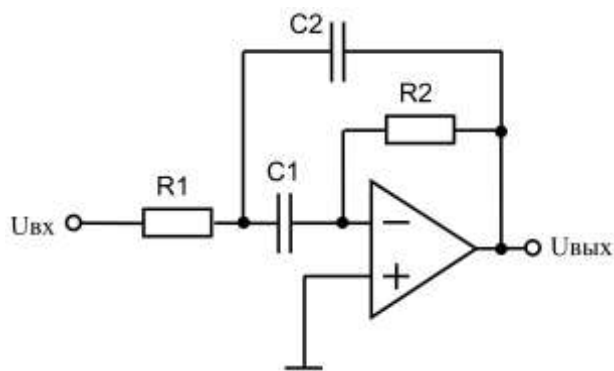
7.



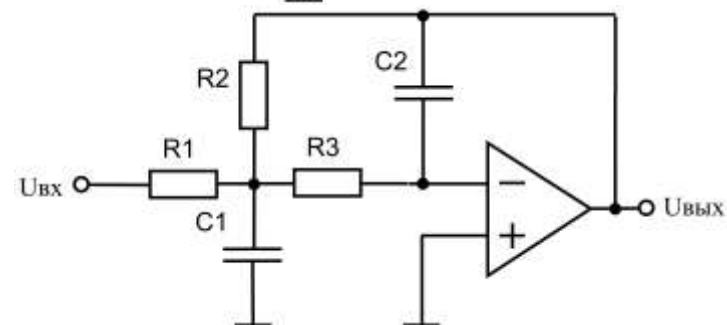
8.



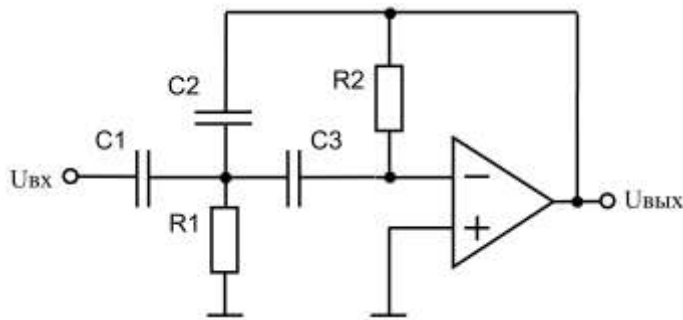
9.



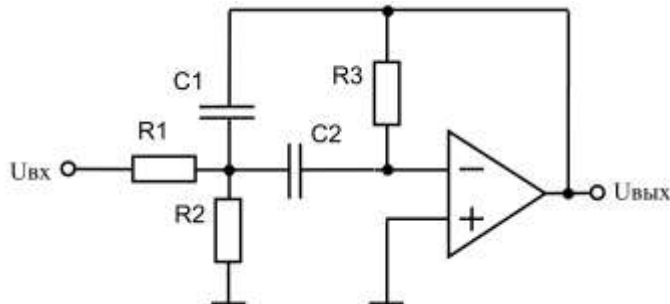
10.



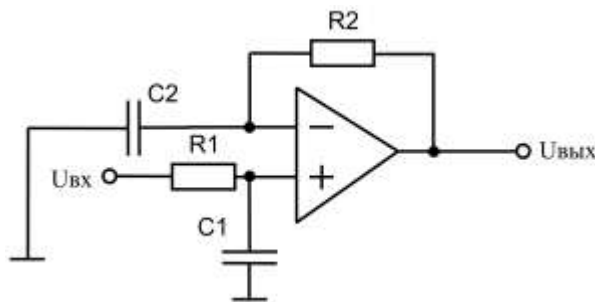
11.



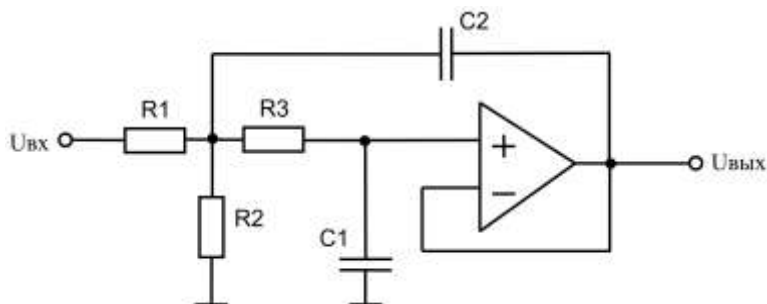
12.



13.



14.



IV. Усилители

1. Входной ток усилителя $I_{ВХ} = 1$ мА, входное напряжение $U_{ВХ} = 2$ мВ, выходной ток $I_{ВЫХ} = 0,8$ мА, выходное напряжение $U_{ВЫХ} = 500$ мВ. Определить коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности.

2. Определить требуемый коэффициент усиления по току в усилителе с коэффициентами усиления по напряжению $K_U = 50$ и мощности $K_P = 2000$.

3. Определить коэффициент шума усилителя с входным сигналом $U_{\text{вх } c} = 1 \text{ мВ}$, входным шумом $U_{\text{вх ш}} = 20 \text{ мкВ}$, выходным сигналом $U_{\text{вых } c} = 800 \text{ мВ}$, выходным шумом $U_{\text{вых ш}} = 4 \text{ мВ}$.

4. Определить отношение сигнал/шум на входе усилителя с коэффициентом шума $N_{\text{ш}} = 4$, уровнем сигнала на выходе $U_{\text{вых } c} = 200 \text{ мВ}$ и уровнем шума на выходе $U_{\text{вых ш}} = 10 \text{ мВ}$.

5. В усилителе с шумовым сопротивлением $R_{\text{ш}} = 75 \text{ Ом}$, эффективной полосой пропускания $\Pi_{\text{эф}} = 200 \text{ кГц}$, температурой $T = 300^\circ\text{К}$, отношение сигнал/шум на выходе $\gamma = 20$. Определить минимальный уровень входного сигнала, если коэффициент шума усилителя $N_{\text{ш}} = 10$.

6. На вход усилителя подается монохроматический сигнал $U_{\text{вх}} = 1 \cdot \sin(2\pi \cdot 300t)$. Выходной сигнал $U_{\text{вых}} = 20 \cdot \sin(2\pi \cdot 300t) + 1 \cdot \sin(2\pi \cdot 600t) + 0,6 \cdot \sin(2\pi \cdot 900t) + 0,8 \cdot \sin(2\pi \cdot 1200t)$. Определить коэффициент гармоник усилителя.

7. Определить максимальный уровень второй гармоники в усилителе с полосой пропускания от 100 Гц до 10 кГц при подаче на вход монохроматического сигнала $U_{\text{вх}} = 1 \cdot \sin(2\pi \cdot 4000t)$, если коэффициент гармоник в усилителе не должен превышать 10 %.

8. В инвертирующем масштабном усилителе $R_1 = 75 \text{ кОм}$, $R_2 = 3 \text{ МОм}$. Определить входное сопротивление и коэффициент усиления по напряжению.

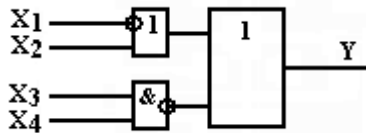
9. В неинвертирующем масштабном усилителе $R_1 = 100 \text{ кОм}$, $R_2 = 300 \text{ кОм}$. Определить сопротивление резистора R_3 и коэффициент усиления по напряжению.

10. В неинвертирующем усилителе $R_1 = 20 \text{ кОм}$, $R_3 = 18 \text{ кОм}$, $K_U = 15$. Определить величину сопротивления резистора R_2 .

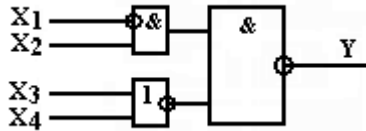
V. Логика

1. Напряжение питания логического ключа $E_{\text{п}} = 5 \text{ В}$, $U_{\text{вх}}^1 = 1,4 \text{ В}$, $U_{\text{вх}}^0 = 2 \text{ В}$. Определить логическое состояние на выходе ключа для следующих уровней входного сигнала: $U_{\text{вх}1} = 0,5 \text{ В}$; $U_{\text{вх}2} = 1,7 \text{ В}$; $U_{\text{вх}3} = 4,2 \text{ В}$.

2. Составить формулу для определения выходного логического сигнала для приведенной ниже схемы:



3. Составить формулу для определения выходного логического сигнала для приведенной ниже схемы:



4. Составить схему для реализации формулы $Y = (X_1 + \bar{X}_2) \cdot (\bar{X}_3 + X_4)$.

5. Составить схему для формулы $Y = X_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot (X_3 + X_4 \bar{X}_5)$.

6. Составить схему для формулы $Y = (X_1 + X_2 + \bar{X}_3 \cdot X_4) \cdot X_5$.

7. По таблице истинности разработать цифровую логическую схему для Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 , используя преобразователь кода.

X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	0	1	0

8. По принципиальной схеме (рис. 6.1) построить таблицу истинности и записать логическую функцию в аналитической форме.

9. По принципиальной схеме (рис. 6.2) построить таблицу истинности и определить название логической функции.

10. По принципиальной схеме (рис. 6.3) построить таблицу истинности и определить название логической функции.

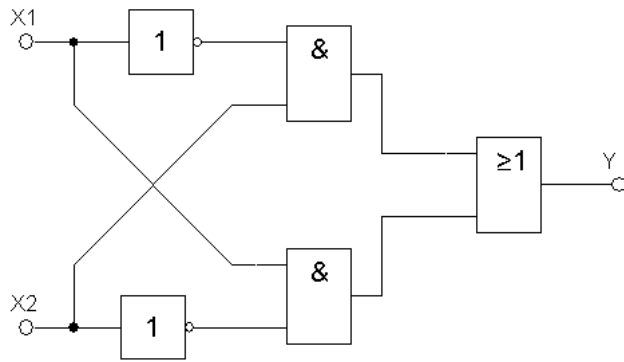


Рис. 6.1

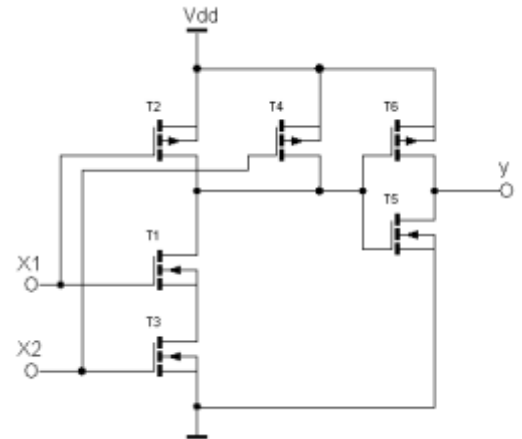


Рис. 6.2

11. По принципиальной схеме (рис. 6.4) построить таблицу истинности и определить название логической функции.

12. По принципиальной схеме (рис. 6.5) построить таблицу истинности и записать логическую функцию в аналитической форме.

13. По принципиальной схеме (рис. 6.6) построить таблицу истинности и записать логическую функцию в аналитической форме.

14. По принципиальной схеме (рис. 6.7) построить таблицу истинности и определить название логической функции.

15. По принципиальной схеме (рис. 6.8) построить таблицу истинности и определить название логической функции.

16. По принципиальной схеме (рис. 6.9) построить таблицу истинности и записать логическую функцию в аналитической форме.

17. По принципиальной схеме (рис. 6.10) построить таблицу истинности и записать логическую функцию в аналитической форме.

18. По принципиальной схеме (рис. 6.11) построить таблицу истинности и определить название логической функции.

19. По принципиальной схеме (рис. 6.12) построить таблицу истинности и определить название логической функции.

20. На входе дешифратора с тремя входами X_0 , X_1 , X_2 и восьмью выходами Y_0 , Y_1 , ..., Y_7 установлена логическая комбинация $X_0 = 1$, $X_1 = 0$, $X_2 = 1$. Определить состояние выходов дешифратора.

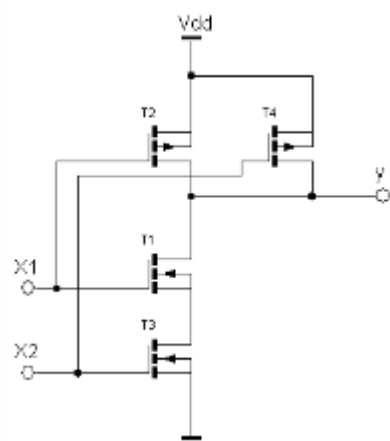


Рис. 6.3

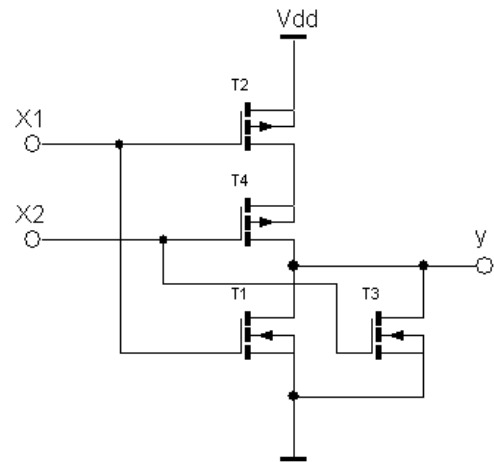


Рис. 6.4

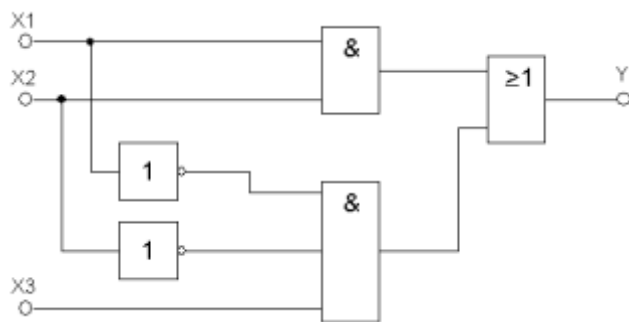


Рис. 6.5

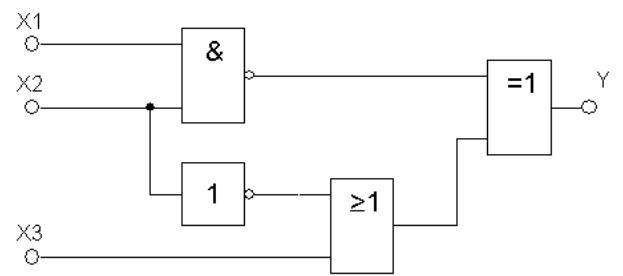


Рис. 6.6

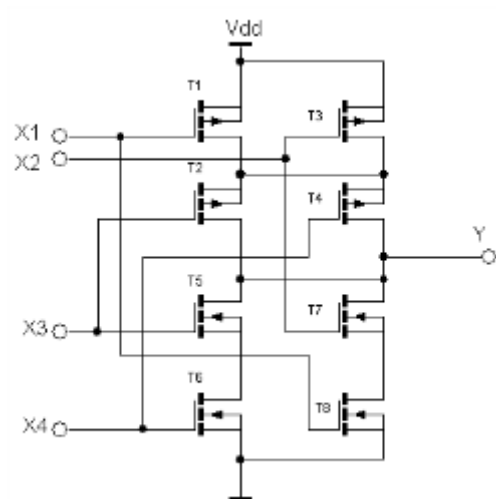


Рис. 6.7

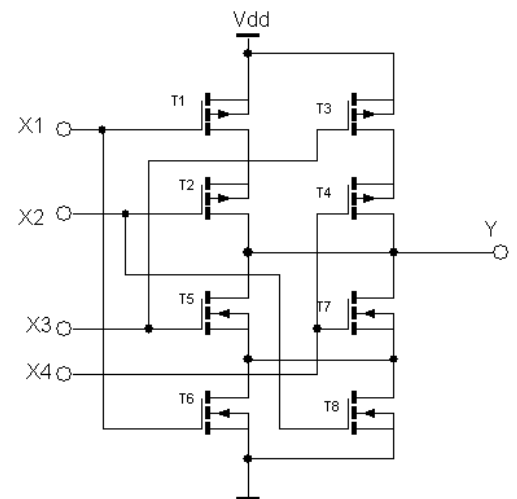


Рис. 6.8

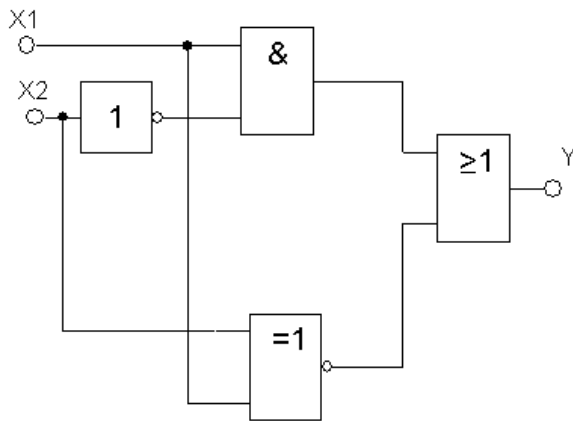


Рис. 6.9

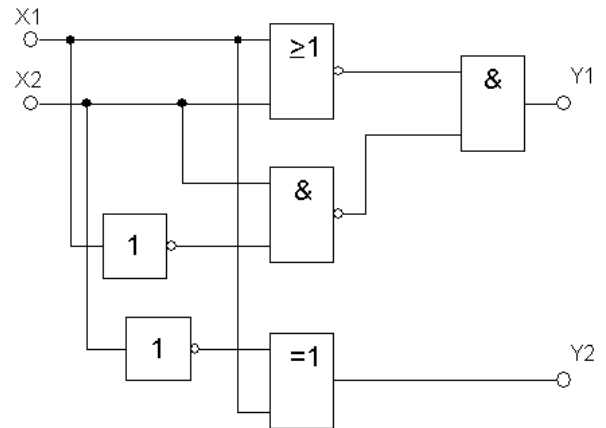


Рис. 6.10

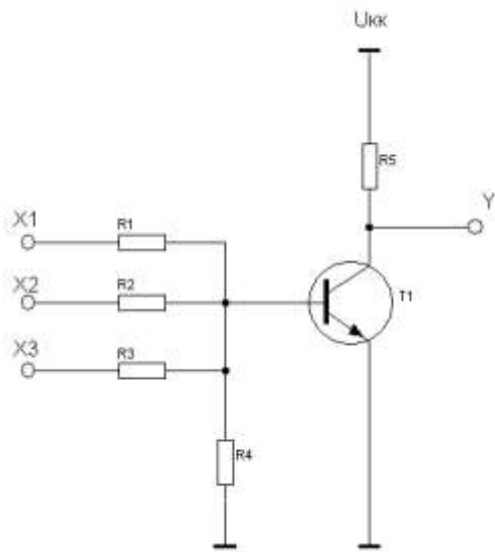


Рис. 6.11

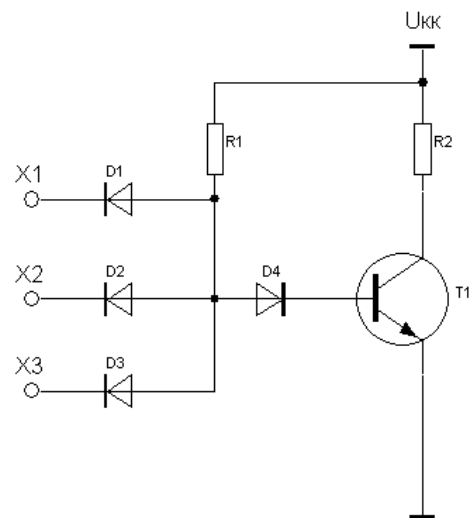


Рис. 6.12

21. На выходе дешифратора с тремя входами X_0 , X_1 , X_2 и восьмью выходами Y_0 , Y_1 , ..., Y_7 установилась логическая комбинация $Y_0 = 0$, $Y_1 = 0$, $Y_2 = 0$, $Y_3 = 0$, $Y_4 = 0$, $Y_5 = 0$, $Y_6 = 1$, $Y_7 = 0$. Определить состояние входов дешифратора.

22. Определить количество триггеров в двоично-восьмеричном счетчике, считающем до 512.

23. Определить количество триггеров в двоично-десятичном счетчике, считающем до 99.

24. Определить количество триггеров в двоично-десятичном счетчике, считающем до 512.

25. На выходах суммирующего счетчика установилось состояние $Q_0 = 1$, $Q_1 = 0$, $Q_2 = 1$. Сколько импульсов поступило на вход счетчика?

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Свойства диэлектриков

	E_g , эВ	$\epsilon_{ст}$	ϵ_{∞}	ρ , $\text{г}^{-1}\text{см}^{-1}$	$E_{пр}$, В/см
SiO_2	9,0	3,82	2,13	2,33	$1,2 \cdot 10^7$
Si_3N_4	5,1	6,5	4,2	3,11	$6,0 \cdot 10^6$
Ta_2O_5	4,5	27	5,0	8,53	$6,0 \cdot 10^6$

Работа выхода из металлов, эВ

Mg	Al	Ni	Cu	Ag	Au	Pt
3,4	4,1	4,5	4,4	4,3	4,7	5,3

Свойства полупроводников при $T = 300 \text{ K}$

	Si	Ge	GaAs	InSb
ϵ_s	11,9	16	10,9	17
N_c , см^{-3}	$2,8 \cdot 10^{19}$	$1,04 \cdot 10^{19}$	$4,7 \cdot 10^{17}$	$3,7 \cdot 10^{16}$
N_v , см^{-3}	$1,02 \cdot 10^{19}$	$6,11 \cdot 10^{18}$	$7,0 \cdot 10^{18}$	$1,16 \cdot 10^{19}$
E_g , эВ	1,12	0,66	1,43	0,18
E_{go} , эВ	1,21	0,80	1,56	0,235
α , эВ/К	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
χ , эВ	4,05	4,0	4,07	4,6
n_i , см^{-3}	$1,6 \cdot 10^{10}$	$2,5 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^{16}$
μ_e , $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$	1500	3900	8500	78000
μ_p , $\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$	6000	1900	400	5000
n	3,44	4,0	3,4	3,75
τ , с	$2,5 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	10^{-8}	10^{-8}
m_{de}^*	1,08	0,56	0,068	0,013
m_{dp}^*	0,56	0,35	0,45	0,6