

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 21.05.2025 12:08:02

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a128e936

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРО-
НИКА»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2025 г.

Содержание

№	Стр.
п/п	
	Введение
1.	Цель и задачи изучения дисциплины
2.	Оборудование и материалы
3.	Наименование практических работ
4.	Содержание практических работ
4.1	Практическая работа №1. Электропроводность полупроводников. Полупроводниковые элементы.
4.2	Практическая работа №2. Полупроводниковые приборы. Полупроводниковые диоды и стабилитроны.
4.3.	Практическая работа №3. Биполярные транзисторы. Транзисторные ключи.
4.4	Практическая работа №4. Усилители. Усилители низкой частоты на транзисторах.
4.5	Практическая работа №5. Неуправляемые выпрямители с активной нагрузкой. Источники стабилизированного питания.
4.6	Практическая работа №6. Генераторы. Генераторы гармонических колебаний.
4.7	Практическая работа №7. Логические функции и логические элементы. Мультивибраторы и одновибраторы.
4.8	Практическая работа №8. Триггеры и цифровые автоматы. Триггеры.
4.9	Практическая работа №9. Измерительная техника. Обработка результатов измерений.
4.10	Практическая работа №10. Измерительные преобразователи. Расчёт масштабных преобразователей.
4.11	Практическая работа №11. Измерения физических величин. Измерение активной мощности в трехфазных цепях.
4.12	Практическая работа №12. Измерения физических величин. Измерение реактивной мощности в трехфазных цепях.
4.13	Практическая работа №13. Общая теория мостовых схем. Расчет мостовых схем.
4.14	Практическая работа №14. Измерения физических величин. Методы электрических измерений неэлектрических величин.

- 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
 - 5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины
- Приложение

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины является освоение принципов действия полупроводниковых приборов, усилительных, импульсных, логических, цифровых и преобразовательных устройств и основным особенностям их использования в электротехнических и электромеханических установках, освоение современных средств и методов электрических измерений, обработки и представления их результатов.

Задачи дисциплины является в результате изучения дисциплины специалист должен приобрести умение четко представлять принцип действия электронных элементов и устройств, экспериментальным путем определить их параметры и характеристики, а также оценивать технико-экономическую эффективность применения этих устройств, оптимально выбрать средство измерения для поставленной задачи измерения, выполнить измерение, обработать и надлежащим образом представить его результаты.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

Для очно-заочной формы обучения предусмотрены следующие практические работы: Практическая работа №2. Полупроводниковые приборы – 2 часа; Практическая работа №6. Генераторы. Генераторы гармонических колебаний – 2 часа; Практическая работа №9. Измерительная техника – 2 часа; Практическая работа №13. Общая теория мостовых схем. Расчет мостовых схем – 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
5 семестр			
1	Практическая работа №1. Электропроводность полупроводников. Полупроводниковые элементы. Приобретение умений и навыков при оценке параметров идеализированных полупроводников.	2	
2	Практическая работа №2. Полупроводниковые приборы. Полупроводниковые диоды и стабилитроны.	2	

	Оценка статических параметров и анализ режима работы полупроводниковых диодов и стабилитронов в цепи постоянного тока.		
3	Практическая работа №3. Биполярные транзисторы. Транзисторные ключи. Расчет статического и динамического режима работы ключа.	4	
4	Практическая работа №4. Усилители. Усилители низкой частоты на транзисторах. Изучение режимов работы и расчет параметров усилителей на транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером.	2	
5	Практическая работа №5. Неуправляемые выпрямители с активной нагрузкой. Источники стабилизированного питания. Приобретение умений и навыков оценки параметров схем источников стабилизированного питания, и методами расчета их параметров.	2	
6	Практическая работа №6. Генераторы. Генераторы гармонических колебаний. Приобрести навыки расчета генераторов гармонических колебаний.	2	
7	Практическая работа №7. Логические функции и логические элементы. Мультивибраторы и одновибраторы. Приобрести навыки расчета генераторов импульсных сигналов.	2	
8	Практическая работа №8. Триггеры и цифровые автоматы. Триггеры. Получить практические навыки расчета триггеров.	2	
	Итого за 5 семестр:	18	
6 семестр			
9	Практическая работа №9. Измерительная техника. Обработка результатов измерений. Приобрести практические навыки обработки результатов измерений и определения погрешности измерений.	2	2
10	Практическая работа №10. Измерительные преобразователи. Расчёт масштабных преобразователей. Приобрести практические навыки расчета масштабных преобразователей для аналоговых измерительных приборов.	4	
11	Практическая работа №11. Измерения физических величин. Измерение активной мощности в трехфазных цепях. Приобрести практические навыки расчета и измерения активной мощности в трехфазных цепях	2	

12	Практическая работа №12. Измерения физических величин. Измерение реактивной мощности в трехфазных цепях. Приобрести практические навыки расчета и измерения реактивной мощности в трехфазных цепях.	4	
13	Практическая работа №13. Общая теория мостовых схем. Расчет мостовых схем. Приобрести практический навык расчета мостовых схем на переменном и постоянном токе.	2	2
14	Практическая работа №14. Измерения физических величин. Методы электрических измерений неэлектрических величин. Приобрести навыки владения методов электрических измерений неэлектрических величин.	4	
	Итого за 6 семестр:	18	4
	Итого:	36	4

4. Содержание практических работ

Практическая работа №1. Электропроводность полупроводников. Полупроводниковые элементы.

Цель: приобретение умений и навыков при оценке параметров идеализированных полупроводников

Основы теории:

Пусть N - число свободных электронов в единице объема, проводящего материала. Если средняя скорость дрейфа электронов - v_d (см²/с), а заряд электрона e , то за время Δt через поперечное сечение S проводника пройдет заряд Δq , т.е.

$$\Delta q = e \cdot N \cdot v_d \cdot S \cdot \Delta t \quad [\text{Кл}]. \quad (1.1)$$

Разделив (1.1) на Δt , получим ток: $I = (\Delta q / \Delta t) = e \cdot N \cdot v_d \cdot S \quad [\text{А}]. \quad (1.2)$

Если к проводнику длиной l приложена разность потенциалов $(\phi_A - \phi_B) = U$, то напряженность E электрического поля в проводнике составит:

$$E = U/l, [\text{В/м}]; \text{ т.к. } U = \int E \cdot dl = (\phi_A - \phi_B) \quad [\text{В}] \quad (1.3)$$

Скорость дрейфа электронов можно определить из выражения:

$$v_d = \mu \cdot E \quad [(\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}) \cdot (\text{В})] = [\text{см}^2/\text{с}]. \quad (\mu - \text{подвижность электронов} - \text{справ.}) \quad (1.4)$$

Подставив (1.3) и (1.4) в выр. (1.2), получим полное выражение для ТОКА:

$$I = (\Delta q / \Delta t) = e \cdot N \cdot \mu \cdot S \cdot (U/l) \quad [\text{Кл/с}] = [\text{А}] \quad (1.5)$$

Электрический ток – есть величина динамическая, и для замкнутой цепи зависит от приращения заряда во времени, с учетом свойств материала (проводимости), т.е. от величины заряда, числа свободных электронов и их подвижности μ .

Выражение $\sigma = \gamma = (e \cdot N \cdot \mu) = (1/\rho) [^1/\text{Ом} \cdot \text{м}]$ - выражает проводящие свойства материала – его удельная проводимость (σ) или удельная электропроводность.

Сила тока в проводнике зависит от длины и площади его поперечного сечения:

$$I = (\sigma \cdot S / l) \cdot U = g \cdot U. \quad \text{где } g = (\sigma \cdot S / l) - \text{проводимость } [^1/\text{Ом}] \quad (1.6)$$

Между эл-кой проводимостью и сопротивлением существует соотношение:

$$g = (1/R) = \sigma \cdot S/l, [\text{см}]; \quad R = [\rho \cdot (l/S)] = [l / (\sigma \cdot S)] = [l / (e \cdot N \cdot \mu \cdot S)]. \quad (1.7)$$

где $\rho = (1/\sigma) = [1/(e \cdot N \cdot \mu)] = R/(S/l). \quad [\text{Ом} \cdot \text{м}] \quad (\text{удельное сопротивление}). \quad (1.8)$

По величине (ρ) все материалы можно разделить на три группы (табл. 1):

- проводники (металлы и их сплавы): $\rho = 0,015 \div 15 \quad [\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}]; \quad \sigma_{\text{мет}} \geq 10^6;$
- полупроводники и электролиты: $\rho = 10^{-5} \div 10^8 \quad [\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}]; \quad \sigma_{\text{ПП}} \geq 10^5 \div 10^{-8};$
- диэлектрики (изоляторы): $\rho = 10^{10} \div 10^{14} \quad [\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}]. \quad \sigma_{\text{диэл}} \leq 10^{-8};$

Таблица №1.1. Удельное сопротивление металлов, используемых в электронике

N	Хим. элемент	Материал	$\rho = (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м})$ при $T = 20^\circ\text{C}$	$\alpha = \text{ТКС (+)}$ при $T = 20^\circ\text{C}$
1	<i>Ag</i>	Серебро	<u>0,016</u>	0,0035
2	<i>Cu</i>	Медь	<u>0,017</u>	0,004
3	<i>Al</i>	Алюминий	<u>0,028</u>	0,004
4	<i>Fe</i>	Сталь	0,1 – 0,3 – 0,5	0,006

Свойства полупроводниковых p-n-переходов

Полупроводниковые (ПП) материалы на основе **p-n** переходов из Si (29 % земной коры), германия (Ge), либо арсенид галлия (GaAs) применяют при производстве диодов, транзисторов, интегральных микросхем. (В литосфере содерж. 47% кислорода).

p-n переход – это контакт 2-х ПП, обладающих разным типом проводимости, где катодная n-область легирована **донорной** примесью (**Li⁻**), создающей высокую концентрацию **электронов** (доноров N_D), а анодная p-область легирована **акцепторной** примесью (**In⁺**), создающей высокую концентрацию **акцепторов** (N_A).

p-n переход - основа ПП элемента и обладает односторонней проводимостью тока.

Электропроводность – эл-ская **проводимость** ($s \sim g$) p-n перехода зависит от направления движения тока: **высокая** – для прямого и **низкая** – для обратного тока.

В равновесном состоянии высота потенциального барьера (контактная разность потенциалов φ_K [1]) между p и n – областями определяется формулой:

$$\varphi_K = \varphi_T \cdot \ln(N_A \cdot N_D / n_i^2), \text{ либо } \varphi_K = (k \cdot T / e) \cdot \ln(n_n \cdot p_p / n_i^2) \text{ [B];} \quad (1.9)$$

где n_n и p_p – концентрации основных носителей (электронов и дырок) n и p - области.

$$\varphi_T = (k \cdot T / e) = T / 11600 – \text{тепловой потенциал [B];} \quad (1.10)$$

k – постоянная Больцмана; **T** – температура; **e** – заряд; **h** – постоянная Планка.

Мах. **контактная разность потенциалов**: $\varphi_{K(\text{Ge})} \leq 0,6 \text{ (B)}$, $\varphi_{K(\text{Si})} \leq 1,1 \text{ (B)}$.

Номинальная величина: $\varphi_{K(\text{Ge})(300\text{K})} = 0,3 \div 0,4 \text{ (B)}$; $\varphi_{K(\text{Si})(300)} = 0,7 \div 0,8 \text{ (B)}$.

При комнатной температуре ($T = 300 \text{ K}$) в ПП материале вся примесь ионизирована, а концентрация собственных носителей очень мала; поэтому концентрация основных носителей равна концентрации примесей: $n_n = N_D$; $p_p = N_A$;

n_i – собственная концентрация ионизированных атомов в данном объеме;

$$n_i = N \cdot e_{xp}^{(-\Delta E_g / 2kT)}, \text{ либо, } n_i = \sqrt{N_C \cdot N_V \cdot e_{xp}^{(-\Delta W / 2kT)}}, \text{ [см}^{-3}\text{]} \quad (1.11)$$

$\varepsilon_g = \Delta E_g = \Delta W = (E_C - E_V) \text{ [эВ]}$ – **ширина запрещенной зоны** в ПП;

Концентрация электронов (**n**) в зоне проводимости и дырок (**p**) в валентной зоне, с учетом энергии уровня Ферми (E_F), энергии верхней валентной зоны (E_V) и энергии нижней границы зоны проводимости (E_C), составят:

$$n = N_C \cdot e_{xp}^{-(E_C - E_F)/kT}; \quad p = N_V \cdot e_{xp}^{-(E_F - E_V)/kT}; \quad [n_i^2 = n \cdot p = N_C \cdot N_V \cdot e_{xp}^{(-\Delta E/kT)}]; \quad (1.13)$$

Уровень Ферми в собственном полупроводнике, соответствующий середине ширины запрещенной зоны ΔE составит, например, для кремния и германия:

$$W_{F1} = W_E = -\Delta E_{\text{Э(Si)}}/2 = -0,56 \text{ эВ.} - \Delta E_{\text{Э(Ge)}}/2 = -0,38 \text{ эВ.} \quad (1.14)$$

$\varphi_V = E_V/q$; $\varphi_C = E_C/q$ - **эл. потенциал** верх. и нижн. гран. валентной зоны и зоны проводимости;

$\varphi_E = 1/2[(E_C + E_V)/q]$ – **электрический потенциал** середины запрещенной зоны.

Уровни Ферми в электронном (n) ПП и в дырочном (p) ПП составят:

$$W_{Fn} = W_E + k \cdot T \cdot \ln(N_D/n_i); \quad W_{Fp} = W_E - k \cdot T \cdot \ln(N_A/n_i) \quad (1.15)$$

Уровни Ферми в электронном (n) ПП и в дырочном (p) ПП составят:

$$W_{Fn} = W_E + k \cdot T \cdot \ln(N_D/n_i); \quad W_{Fp} = W_E - k \cdot T \cdot \ln(N_A/n_i) \quad (1.15)$$

Ширина р-п-перехода в равновесии (при отсутствии внешнего напряжения), составит: (где ε_{Si} – относительная, безразмерная),

$$d = (d_n + d_p) = \sqrt{[(2\varepsilon_{\text{Si}} \cdot \varepsilon_0 \cdot \varphi_k)/e] \cdot [(1/N_A) + (1/N_D)]}, \text{ [нм]}. \quad (1.16)$$

При подаче внешнего напряжения эта ширина составит:

$$d = \sqrt{[(2\varepsilon_{\text{Si}} \cdot \varepsilon_0 \cdot (\varphi_k - U))/e] \cdot [(1/N_A) + (1/N_D)]}, \text{ [нм]}. \quad (1.17)$$

Поскольку внутри р-п-перехода общий отрицательный заряд ионизированных акцепторов равен общему положительному заряду ионизированных доноров, которые распределены на площади S поперечного сечения р-п-перехода, то $d_n \cdot N_D \cdot S = d_p \cdot N_A \cdot S$.

Отсюда следует: $(d_n/d_p) = (N_A/N_D) = (p_p/n_n)$. (1.18)

Напряженность электрического поля в р-п-переходе максимальна на границе

$$E_M = (2\varphi_k/d) \text{ [В/м]}. \quad (1.19)$$

При приложении к р-п-переходу внешнего напряжения U высота потенциального барьера изменяется на величину этого напряжения:

$$\Delta\varphi = (\varphi_k - U) - \text{разность потенциалов.}$$

При прямых ($U_{\text{пр}}$) напряжениях р-п-переход сужается, и при обратных ($U_{\text{обр}}$) напряжениях р-п-переход расширяется.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) р-п-перехода выражает зависимость между током (I) (или плотностью тока j) через р-п-переход и приложенным напряжением U (уравнение Эберса-Молла) [1]:

$$j = j_s(\exp^{(U/\varphi T)} - 1); \quad j = [(e \cdot D_n \cdot n_p/L_n) + (e \cdot D_p \cdot p_n/L_p)] \cdot (\exp^{(U/\varphi T \cdot \gamma)} - 1). \quad (1.20)$$

где j_s – плотность обратного тока насыщения;

D_n и D_p – коэффициенты диффузии для электронов и дырок;

L_n и L_p – диффузионная длина пролета электронов (n) и дырок (p);

n_p и p_n – концентрации неосновных носителей заряда.

Для невырожденных полупроводников концентрации неосновных носителей зарядов (p_n – дырок в электронном слое) и (n_p – электронов в дырочном слое) можно определить из выражения:

$$p_n = (n_i^2/N_D), \quad n_p = (n_i^2/N_A); \quad [\text{см}^{-3}]. \quad (1.21)$$

Выражение (1.20) выводится из предположения, что всё внешнее напряжение U приложено только к области р-п-перехода с удельн. проводимостью $[\sigma = \sigma_n + \sigma_p]$.

Проводимость квазинейтральной р-области: $\sigma_p = e \cdot p_p \cdot \mu_p$, (μ_p – подвижность дырок) и проводимость квазинейтральной n-области $\sigma_n = e \cdot n_n \cdot \mu_n$. (μ_n – подвижность эл-нов) намного больше проводимости обедненной области р-п-перехода.

$$[p_p = \sigma_p/(e \cdot \mu_p) = 1/(N_A \cdot e \cdot \mu_p)]; \quad [n_n = \sigma_n/(e \cdot \mu_n) = 1/(N_D \cdot e \cdot \mu_n)]; \quad (1.22)$$

Задания:

Задание №1

Определить разность потенциалов φ_K в Si р-п-переходе при $T=300$ К, если: УПР = 0,35 В; концентрации акцепторов и доноров в дырочной и электронной областях составляют: $N_A = 10^{15}$ и $N_D = 5 \cdot 10^{17}$ (см^{-3}).

Задание №2

Концентрация Ge р-п-перехода $N_D = 10^3 N_A$, причем на каждые 10^8 атомов Ge приходится один атом акцепторной примеси. Концентрации атомов $N_{Ge} = 4,4 \cdot 10^{22}$ (см^{-3}), и **ионизированных атомов** $n_i = 2,4 \cdot 10^{13}$ (см^{-3}). Определить φ_K при $T = 300$ К.

Задание №3

Для полупроводника из Si проводимости в n- и р- областях $\sigma_n = 3,2$ [$1/(\text{Ом} \cdot \text{см})$] и $\sigma_p = 4,8$ [$1/(\text{Ом} \cdot \text{см})$]; $\mu_n = 800$ ($\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$); $\mu_p = 250$ ($\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$). $T = 300$ К.

Определить: 1) контактную разность потенциалов (φ_K); 2) ширину р-п-перехода со стороны n- и р- областей d_n и d_p , а также полную ширину перехода $d = (d_n + d_p)$.

3) напряженность контактного поля E_M ; 4) Как изменится высота потенц. барьера ($\Delta\varphi$), если к р-п-переходу приложить внешнее напряжение: $U_1 = +0,2$ В; $U_2 = -2$ В.

Задание №4

Для полупроводника из Si проводимости в n- и p- областях $\sigma_n = 3,2 [1/(\text{Ом}\cdot\text{см})]$ и $\sigma_p = 0,64 [1/(\text{Ом}\cdot\text{см})]$; $\mu_n = 800 (\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с})$; $\mu_p = 400 (\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с})$. $T = 300 \text{ К}$.

Определить: 1) контактную разность потенциалов (ϕ_K); 2) ширину p-n-перехода со стороны n- и p- областей d_n и d_p , а также полную ширину перехода $d = (d_n + d_p)$.

3) напряженность контактного поля E_M ; 4) Как изменится высота потенц. барьера ($\Delta\phi$), если к p-n-переходу приложить внешнее напряжение: $U_1 = +0,1 \text{ В}$; $U_2 = -1 \text{ В}$.

Задание №5

В идеальном Si p-n-переходе $n_i = 1,45 \cdot 10^{10} (1/\text{см}^3)$; $D_n = 40 \text{ см}^2/\text{с}$; $D_p = 15 \text{ см}^2/\text{с}$; $L_n = 100 \text{ мкм}$; $L_p = 60 \text{ мкм}$; $N_D = 10^{15} (\text{см}^{-3})$; $N_A = 10^{17} (\text{см}^{-3})$; $T = 300 \text{ К}$.

Определить: 1) плотность тока насыщения j_H .

Задание №6

В идеальном Ge p-n-переходе $n_i = 2,45 \cdot 10^{13} (1/\text{см}^3)$; $D_n = 100 \text{ см}^2/\text{с}$; $D_p = 50 \text{ см}^2/\text{с}$; $L_n = 300 \text{ мкм}$; $L_p = 200 \text{ мкм}$; $N_D = 10^{15} (\text{см}^{-3})$; $N_A = 10^{16} (\text{см}^{-3})$; $T = 300 \text{ К}$.

Определить: 1) плотность тока насыщения j_s .

Задание №7

Концентрация доноров в n-области диода с идеальным p-n-переходом равна концентрации акцепторов в p-области, т.е. ($N_D = N_A$). Можно принять, что отношения $D_n/D_p = 3$; $L_n/L_p = 1,5$ не изменились при изменении уровня легирования.

Определить: как изменится плотность тока через такой переход, если концентрацию увеличить в 5 раз.

Задание №8

Плотность тока через идеальный p-n переход при некотором внешнем напряжении U равна $j_1 = 0,2 \text{ А/см}^2$. Известно, что концентрация акцепторов в p-области в 10 раз больше, чем концентрация доноров в n-области. Можно принять, что отношения $D_n/D_p = 2$; $L_n/L_p = 1,2$ не изменялись при изменении уровня легирования.

Определить плотность тока j_2 через аналогичный переход, но с меньшей в 2 раза концентрацией акцепторов, если внешнее напряжение осталось равным U .

Задание №9

Ширина запрещенной зоны Si при $T_1 = 300$ К, составила $\Delta W = 1,12$ эВ. При изменении температуры до $T_2 = 250$ К ширина запрещенной зоны Si изменяется по закону $\Delta W_{(T)} = \Delta W_{(300K)} - \alpha(T - 300K)$, где $\alpha = 2,84 \cdot 10^{-4}$ (эВ/К).

Определить, как изменится плотность обратного тока j_s через идеальный Si p-n- переход при уменьшении температуры от T_1 до T_2 .

Задание №10

Определить изменение контактной разности потенциалов ϕ_K , если в Si p-n-переходе, при $T = 300K$, удельные сопротивление p-области составляло $\rho_p = 1$ (Ом/см), а концентрация доноров составляла: $N_{D1} = 10^{14}$ и $N_{D2} = 10^{16}$ (см⁻³).

Задание №11

Определить изменение контактной разности потенциалов ϕ_K , если в Ge p-n-переходе, при $T = 320K$, удельные сопротивление областей: $\rho_p = 2$ (Ом/см), $\rho_n = 1$ (Ом/см); концентрация доноров составляла: $N_{D1} = 10^{15}$ и $N_{D2} = 10^{18}$ (см⁻³).

Задание №12

Построить линию нагрузки для цепи, содержащей источник $E = 10$ В, сопротивление $R_{огр} = 100$ Ом и диод КД102 (используя данные параметров из табл. 2 Приложения 1.).

Определить диапазон возможных прямых токов для прямой ветви (при $T = 300K$).

Задание №13

Построить линию нагрузки для цепи, содержащей источник $E = 15$ В, сопротивление $R_{огр} = 150$ Ом и диод ГД507 (используя данные параметров из табл. 2 Приложения 1.).

Определить диапазон возможных прямых токов для прямой ветви (при $T = 300K$).

Задание №14

В цепи из двух диодов ДЗ10 или ДЗ11 при изменении напряжения $U_{пр} = 0,12 \div 0,36$ В (и при $T = 300K$) прямой ток увеличивается в диапазоне $I_{пр} = 2,5 \div 16$ мА.

Определить дифференциальное сопротивление и крутизну характеристики диода.

Задание №15

В цепи из двух диодов КД521 или 522 при изменении напряжения $U_{пр} = 0,35 \div 0,65$ В (и при $T = 300K$) прямой ток увеличивается в диапазоне $I_{пр} = 1 \div 30$ мА.

Определить дифференциальное сопротивление и крутизну характеристики диода.

Задание №16

Плотность пар электрон-дырка в собственном германии, образовавшихся вследствие тепловой генерации, определяется по формуле: $n_i = N \cdot e_{xp}^{(-\Delta E_g/2 \cdot k \cdot T)} \text{ (см}^{-3}\text{)}$

Определить плотность пар электрон-дырка для $T = 280, 300$ и 320 K .

Предполагается, что ширина зоны (E_g) не изменяется при изменении температуры T .

Задание №17

Кристалл германия находится при $T = 300 \text{ K}$.

Вычислить, на сколько % увеличится его проводимость при увеличении T на 10%?

Задание №18

Плотность пар электрон-дырка в собственном кремнии, образовавшихся вследствие тепловой генерации, определяется по формуле: $n_i = N \cdot e_{xp}^{(-\Delta E_g/2 \cdot k \cdot T)} \text{ (см}^{-3}\text{)}$

Определить плотность пар электрон-дырка для $T = 273, 300$ и 327 K .

Предполагается, что ширина зоны (ΔE_g) не изменяется при изменении температуры T .

Задание №19

Кристалл кремния находится при $T = 330 \text{ K}$.

Вычислить, на сколько % увеличится его проводимость при увеличении T на 5%?

В Ge p - n -переходе удельное сопротивление p -области $\rho_p = 2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, а n -области $\rho_n = 1,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Вычислить φ_K при $T = 300 \text{ K}$, приняв концентрацию $n_i = 2,5 \cdot 10^{12}$.

Задание №20

В Si p - n -переходе удельное сопротивление p -области $\rho_p = 1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, а n -области $\rho_n = 2,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Вычислить φ_K при $T = 330 \text{ K}$, приняв концентрацию ионизированных атомов $n_i = 2 \cdot 10^{11}$.

Задание №21

В кристалле германия при $N_D = 10^3 N_A$, на каждые 10^8 атомов Ge приходится один атом акцепторной примеси.

Определить φ_K при $T = 330 \text{ K}$, приняв концентрацию ионизированных атомов $n_i = 3 \cdot 10^{10}$, а плотность атомов $N = 4,4 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$.

Задание №22

В кристалле кремния при $N_D = 10^3 N_A$, на каждые 10^8 атомов Si приходится один атом акцепторной примеси.

Определить ϕ_K при $T = 300$ К, приняв концентрацию ионизированных атомов $n_i = 3 \cdot 10^{10}$, а плотность атомов $N = 5 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$.

Задание №23

Удельная проводимость кремниевой р-области составила $\sigma_p = 10 \text{ сим/см}$, удельная проводимость п-области $\sigma_n = 1 \text{ сим/см}$. $I_0 = 2 \text{ мкА}$, $T = 300 \text{ К}$.

Вычислить напряжения, при которых ток диода составит: $I_{\text{ДП}} = 1 \text{ мА}$ и $I_{\text{ДП}} = 10 \text{ мА}$.

Задание №24

Удельная проводимость германиевой р-области составила $\sigma_p = 5 \text{ сим/см}$, удельная проводимость п-области $\sigma_n = 3 \text{ сим/см}$. $I_0 = 15 \text{ мкА}$, $T = 330 \text{ К}$. Вычислить напряжения, при которых ток диода будет равен $I_{\text{ДП}} = 2 \text{ мА}$ и $I_{\text{ДП}} = 20 \text{ мА}$.

Задание №25

При $T = 300 \text{ К}$, $U_{\text{ДП}} = 0,21 \text{ В}$ и $I_0 = 15 \text{ мкА}$. Какое напряжение $U_{\text{ДП}}$ следует приложить к германиевому р-п-переходу, чтобы ток вырос в 12 раз при $T = 330$

Задание №26

В кремниевом р-п переходе при $T = 300 \text{ К}$, $U_{\text{ДП}} = 0,35 \text{ В}$ и $I_0 = 15 \text{ мкА}$.

Определить, какое напряжение $U_{\text{ДП}}$ следует приложить к переходу, чтобы ток вырос в 8 раз при $T = 350 \text{ К}$.

Задание №27

В германиевом р-п-переходе при $T = 290 \text{ К}$ и при $I_0 = 10 \text{ мкА}$.

Определить: а) какое необходимо приложить $U_{\text{ДП}}$, чтобы получить $I_{\text{ДП}} = I_0$; б) какое необходимо приложить $U_{\text{ДП}}$, чтобы получить $I_{\text{ДП}} = 20 \cdot I_0$;

Практическая работа №2. Полупроводниковые приборы. Полупроводниковые диоды и стабилитроны.

Цель: оценка статических параметров и анализ режима работы полупроводниковых диодов и стабилитронов в цепи постоянного тока

Основы теории:

Полупроводниковым диодом называют *p-n*-переход, обладающей односторонней проводимостью, т.е. проводимость (σ) которого зависит от полярности приложенного напряжения или протекающего тока.

Прямой ток в диоде возникает при подаче положительного напряжения на анод. Обратный ток в диоде намного меньше прямого и возникает при отрицательном напряжении на аноде. Свойства прямой ветви идеального *p-n*-перехода отражается вольтамперной характеристикой (рис. 2.1) и описывается выр. (1.20).

$$I = I_S(\exp^{(U/\varphi T \cdot \gamma)} - 1); \quad j = [(e \cdot D_n \cdot n_p / L_n) + (e \cdot D_p \cdot p_n / L_p)] \cdot (\exp^{(U/\varphi T \cdot \gamma)} - 1). \quad (1.20')$$

Типовая ВАХ диода приведена на рис. 2.1

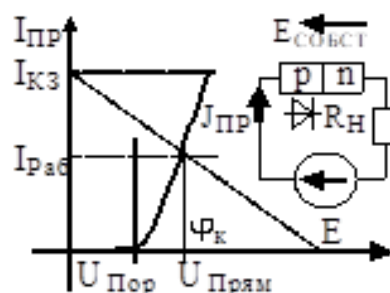


Рис.2.1. Построение ВАХ и линии нагрузки *p-n*-пер.

Особенность ВАХ реальных диодов – отсутствие заметных токов через диод при малых положительных ($U_{ПР} < U_{ПОР}$) и при отрицательных ($U_{ОБР}$) напряжениях. Обратные токи полагают равными нулю, т.к. их доля по отношению к прямому току составляет $I_{ОБР} < I_{ПР} \cdot 10^{-4}$.

$$(\gamma_{Ge} = 1,5; \gamma_{Si} = 2).$$

Заметный прямой ток ($I_{ПР} > 10 \text{ мкА}$) появляется при ($U_{ПР} > U_{ПОР}$), где: $U_{ПОР(Ge)} \geq 0,15$; $U_{ПОР(Si)} \geq 0,4 \text{ (В)}$.

При анализе $U_{ПОР(Si)}$ для логических элементов ВАХ диода изображают в виде ступеньки, представляя диод в виде идеального ключа.

К основным параметрам диода относятся статическое сопротивление диода постоянному току (R_0) и дифференциальное сопротивление (r_d).

$$R_0 = U_{ПР} / I_{ПР}, \text{ (Ом)}.$$

$$r_d = \Delta U_{\text{ПР}} / \Delta I_{\text{ПР}} = \varphi_T / (I_{\text{ПР}} + I_0) .$$

Дифференциальное сопротивление характеризует наклон к оси абсцисс ВАХ при данном напряжении на диоде.

Отличие характеристик реального диода от ВАХ идеального р-п-перехода делает практически невозможным аналитический расчет токов и напряжений в реальных схемах с диодом. Поэтому в расчете часто используют либо реальные характеристики диода (справочник), либо определяют рабочую точку диода на пересечении прямой ветви ВАХ с линией нагрузки построенной по эксперименту.

Задания:

Задание №1

Требуется от источника нестабилизированного питания $E_{\text{И}} = 20 \text{ В}$ получить стабилизированное напряжение $U_{\text{ОП}} = 6,8 \text{ В}$, при токе в нагрузке $I_{\text{Н}} = 15 \pm 10 \text{ мА}$. ($I_{\text{Н.Мин.}} = 5 \text{ мА}$; $I_{\text{Н.Мак.}} = 25 \text{ мА}$).

Задание №2

Определить среднее значение выпрямленного напряжения в однополупериодной схеме выпрямителя; амплитуду пульсаций выпрямленного напряжения и обратное напряжение диода, если

$$R_{\text{Н}} = 100 \text{ Ом}; R_{\text{ОГР}} = 10 \text{ Ом}; C_{\text{Н}} = 1000 \text{ мкФ}; U_{\underline{2}} = 110 \text{ В}; f = 50 \text{ Гц}.$$

Задание №3

2-х полупериодный выпрямитель работает на активную нагрузку. Определить емкость $C_{\text{Ф}}$ фильтра, среднее действующее и max периодическое значение токов через диод, наибольшее значение тока в переходном процессе при подключении схемы к сети и напряжение ХХ обмотки w2 трансформатора при условии, что: $I_{\text{В}} = 10 \text{ А}$; $U_{\text{В}} = 50 \text{ В}$; $f = 50 \text{ Гц}$. ($U_{\underline{2},\text{max}} = U_{\text{м}}$); ($U_{\underline{2}} = U_{\text{ДЕЙСТВ}}$) Примем, что среднее значение падение прямого напряжения на диодах равно $\Delta U_{\text{Д}} = 1 \text{ В}$, а пульсации напряжения на нагрузке должно быть не более 10 %.

Задание №4

В р-п-переходе $U_{\text{ПР}} = 0,15 \text{ В}$ вызывает определенный ток носителей заряда при $T = 300 \text{ К}$. Определить $U_{\text{ПР}}$, чтобы $I_{\text{ПР}}$ увеличился в 2 раза? Известно, что $I_0 = 10 \text{ мкА}$

Задание №5

Диод ДЗ10 имеет $I_0 = 30$ мкА при $T = 300$ К и $U_{\text{пр}} = 0,13$ В. Определить температурный коэфф. напряжения (ТКН), если при повышении T на 30°C , $\Delta U = 0,08$ В

Задание №6

На диод Д18, имеющий ток $I_0 = 50$ мкА, подано $U_{\text{пр}} = 0,26$ В при $T = 25^\circ\text{C}$. Определить, на сколько изменится ток $I_{\text{пр}}$ через диод при повышении T на 35°C .

Задание №7

При $U_{\text{пр}} = 0,6$ В предельный ток диода $I_{\text{пр}} = 50$ мА. Если этот диод соединить последовательно с резистором нагрузки $R_{\text{н}} = 100$ Ом, то какова будет наибольшая величина E источника, при которой диод будет работать в безопасном режиме?

Задание №8

Определить сопротивление диода постоянному току при прямом и обратном смещениях, если при $U_{\text{пр}} = 0,1$ В, $I_{\text{пр}} = 5$ мА, а при $U_{\text{обр}} = 100$ В ток $I_{\text{обр}} = 0,25$ мА

Задание №9

Для диода ДЗ10 или ДЗ11 при изменении прямого напряжения от 0,2 до 0,4 В прямой ток увеличивается от 2,5 до 16 мА. Определить крутизну характеристики и дифференциальное сопротивление диода.

Практическая работа №3. Биполярные транзисторы. Транзисторные ключи.

Цель: Расчет статического и динамического режима работы ключа

Основы теории:

Транзисторный ключ – это схема коммутатора, служащая для замыкания и размыкания цепи с нагрузкой под действием логического сигнала управления.

Современная импульсная и цифровая техника основана на работе транзисторов (VT) в ключевом режиме. Большинство ключей строят по схеме включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ). В цифровых схемах наиболее часто применяют ключи на транзисторах (VT_{Si}) *n-p-n*-типа. При этом, все рассуждения и расчеты справедливы также для ключей на (VT_{Ge}) *p-n-p*-типа; необходимо только учитывать изменение полярности напряжения ЭДС и направление токов.

Статический режим. Схема ключа на транзисторе *n-p-n*-типа (рис. 3.1,а).

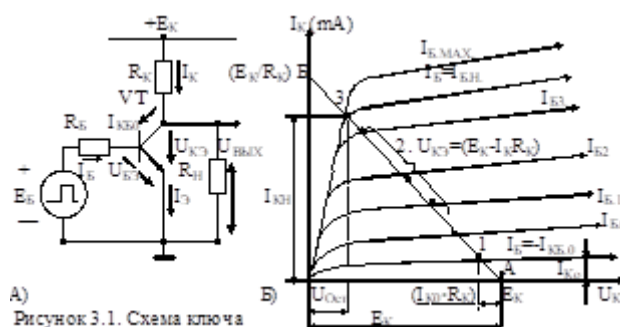


Рисунок 3.1. Схема ключа

б) Вольтамперная характеристика (ВАХ) режима работы транзистора.

Нагрузочная прямая А-Б по постоянному току описывается уравнением (рис. 3.1,б):

$$U_{КЭ} = E_K - (I_K \cdot R_K) \quad (3.1)$$

и строится так же, как для усилительного каскада.

Точки пересечения нагрузочной прямой с ВАХ транзистора определяют напряжения на элементах и ток в последовательной цепи.

В схеме ключа транзистор может находиться (работать) только в одном из 2-х режимов (состояний): либо в **режиме отсечки**, либо в **режиме насыщения**.

Режим отсечки (запирание) осуществляют подачей на вход схемы напряжения

$$U_{ВХ} = U_{БЭ} \leq 0.$$

Под действием $U_{ВХ} = U_{БЭ} \leq 0$ эмиттерный переход транзистора закрыт и его ток $I_Э = 0$, т.к. сопротивление перехода $r_{КЭ} \rightarrow \infty$. Вместе с тем, через резистор R_B протекает обратный (тепловой) ток коллекторного перехода $I_{КБ.0}$. Режиму отсечки транзистора соответствует участок от точки А до точки 1 на рис. 3.1,б.

Типовые значения $U_{БЭ}$ для закрытого транзистора Si и Ge ($n-p-n$ и $p-n-p$ типов):
для VT_{Si}: $U_{БЭ} \approx 0$.

для VT_{Ge}: $U_{БЭ} = +0,5...1$ В; (3.2)

Из выр. (3.2) условие запираания транзистора можно записать в виде:

$$U_{ВХ.ЗАП(Si)} > I_{КБ.о} \cdot R_B + (U_{БЭ} = 0); \quad U_{ВХ.ЗАП(Ge)} \geq I_{КБ.о} \cdot R_B + (U_{БЭ} = +0,5...1 \text{ В}) \quad (3.3)$$

Режим открытого состояния обеспечивается подачей $U_{ВХ} = U_{БЭ.Si} \geq 1$ В. Открытое (активное и насыщенное) состояние транзистора соответствует точкам (2 и 3) на нагрузочной прямой (рис. 3.1,б). В этом состоянии через VT и резистор R_K , согласно (3.1), протекает ток $I_{КН}$ насыщения коллектора

$$I_K = I_{КН} = (E_K - \Delta U_{КЭ})/R_K = (E_K - U_{Остат.})/R_K \quad (3.4)$$

где $\Delta U_{КЭ} = U_{Ост} = (0,1...1)$ В – остаточное напряжение на открытом переходе VT.

Ввиду относительно малого значения $\Delta U_{КЭ}$ по сравнению с напряжением E_K расчет тока $I_{КН}$ открытого транзистора проводят по формуле

$$I_{КН} \approx E_K/R_K. \quad (3.5)$$

$$I_B = I_K/\beta = (E_K/R_K) \cdot \beta \quad (3.6)$$

Очевидно, наихудшим для условия (3.6) будет сочетание, когда $E_K \rightarrow E_{K.Мак.}$, а R_K и β – минимальны. Тогда условие (3.6) будет иметь вид:

$$I_B \geq (E_{K.Мак}/R_{K.Мин.})/\beta_{Мин.} \quad (3.7)$$

Если условие (3.7) не выполняется, т.е. $I_B < I_{БН}$, то транзистор находится в активном режиме (например, точка 2 на участке между точками 3 и 1 - рис. 2.1,б).

Условие насыщения транзистора примет вид:

$$I_B \geq I_{БН} = I_{КН}/\beta. \quad (3.8)$$

Степень насыщения характеризует коэффициент насыщения S , показывающий, во сколько раз ток базы I_B должен превышать ток базы насыщения

$$I_B = S \cdot I_{БН} = S \cdot (E_K/R_K) \cdot \beta \quad (3.9)$$

Коэффициент насыщения S характеризует запас надежного отпираания транзистора при воздействии помех, и может составлять:

$$S = Y_{21Э} = h_{21Э}/h_{11Э} = (1,2 \div 2). \quad (3.10)$$

Динамический режим работы транзисторного ключа

В процессе переключения транзистора (рис. 3.3) из закрытого состояния в открытое состояние, он должен пройти во времени три этапа:

1. Транзистор закрыт. Переход Б-Э смещен в обратном направлении и в цепи коллектора протекает остаточный (тепловой) ток $I_K = I_{K.0}$.
2. Транзистор работает в активной области: $I_K = h_{21Э} \cdot I_B = \beta \cdot I_B$.
3. Транзистор работает в режиме насыщения: $I_K = I_{КН} = (\beta \cdot I_{Б.НАС} \cdot S)$.

$$t_{\text{ВКЛ}} = t_{\text{ЗД.ФР}} + t_{\text{ФР}}. \quad (3.11)$$

Режим перенасыщения уменьшает время $t_{\text{вкл}}$ транзистора, но увеличивает время его выключения $t_{\text{выкл.}}$ из-за избыточного накопления неосновных носителей в базе. Время выключения $t_{\text{выкл.}}$ содержит время задержки среза (время рассасывания) $t_{\text{зд.ср}}$ и время среза $t_{\text{ср}}$ (задний фронт), т.е.

Длительности $t_{вкл}$ и $t_{выкл}$ характеризуют общее быстродействие транзисторного ключа.

Для того, чтобы ускорить процесс включения и выключения транзисторного ключа, (т.е. ускорить введение зарядов и вывод их из базы) на вход схемы ставят ускоряющий конденсатор C_f , включаемый параллельно резистору R_b . Емкость C_f не должна быть большой, т.к. это приведет к увеличению тока заряда и увеличит время переключения из-за большой длительности собственного перезаряда.

$E_{\text{Б.зап.}}^- \geq +0,6 \text{ В}$ – напряжение запирающего транзисторного ключа $p\text{-}n\text{-}p$ -типа;

$\tau_C = R_B \cdot C_{BX}$ – постоянная времени входной цепи; ($C_{BX} = C_K + C_{\Sigma}$)

C_K, C_{Σ} – емкости переходов транзистора (справочное значение).

Длительность фронта составит:

$$t_{\phi P} \approx \tau_{NE} \cdot \ln[\beta \cdot I_B^+ / (\beta \cdot I_B^+ - I_{K.H})] = \tau_{NE} \cdot \ln[S / (S-1)] \quad (3.14)$$

где $\tau_{NE} = \tau_B + (\beta + 1) R_K \cdot C_K$ – эквивалентная постоянная времени;

$I_B = I_B^+$ – входной отпирающий ток базы, для транзистора *n-p-n*-типа;

$\tau_B \approx \beta \cdot \tau_a$ постоянная времени транзистора в схеме с ОЭ;

$$\tau_a = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f_T) \approx 1,2 / (2 \cdot \pi \cdot f_a), \quad (3.15)$$

где f_T и f_a – граничные частоты транзистора (справочная величина).

Длительность задержки среза $t_{зд.ср} = t_P$ определяется соотношением

$$t_P \approx \tau_N \ln \{ (|I_B^-| + I_B^+) / (|I_B^-| + I_{B.Нас}^+) \} \quad (3.16)$$

где $\tau_N \approx \tau_B / 2$ – время жизни неосновных носителей в базе в режиме насыщения;

$I_B^- \approx E_B^- / R_B$ – ток базы запирающего (“–” для транзистора *n-p-n*-типа).

Длительность среза составит: $t_C \approx \tau_{NE} \ln [(|I_{B.Нас}^-| + I_{B.Нас}^+) / |I_{B.Нас}^-|]$. (3.17)

Задания:

Задание №1

Разработать схему управления термостатом, включённом в сеть 220 В. Для обеспечения гальванической развязки транзисторный ключ включает оптотиристор, который коммутирует ток в цепи с термостатом. На вход ключа подается сигнал управления лог. (0 и 1); где: $UBX^0 = 0$ В и $UBX^1 = *$. Исходные данные для расчета и тип транзистора приведены в таблице.

Задание №2

Разработать схему защиты блока питания от перегрузки путем отключения нагрузки с помощью реле. Сигнал перегрузки вырабатывает датчик, у которого норме соответствует $UBX = 0$ В, а перегрузке $UBX = ?$

Таблица – Электрические параметры биполярных транзисторов

Справочные рабочие параметры транзисторов											Параметры для задания						
	ТИП	$h_{21Э}$ (β)	$U_{КЭ}$ (В)	$I_{К.Мак}$ (А)	$I_{К.об}$ μA	$P_{Мак}$ (Вт)	$f_{гр}$ МГц	C_K Пф	$U_{КЭ}$ Нас	$U_{БЭ}$ Нас	$E_{П}$ В	$I_{Н}$ А	$R_{Н=}$ Ом	$U_{ВХ}$ В	S нас	$T_{МКС}$ $f_{МГц}$	$T^{\circ}C$ $_{Max}$
1	N	КТ201	20...40	20	0,03	1	0,15	10	100	1	8		400	4	1,9	3 МГц	50
2	P	КТ203	15...30	30	0,03	1	0,15	10	100	0,4	10	0,03		3	1,9	0,3 мкс	50
3	N	КТ206	40...80	15	0,05	1	0,15	5	80	1 В	12		300	2	1,7	2 МГц	60
4	P	КТ208	25...50	20	0,05	1	0,20	5	80	0,3	14	0,04		5	2	0,5 мкс	60
5	N	КТ503	45...90	40	0,15	1	0,35	5	65	0,6	16		400	6	1,5	1 МГц	65

6 P	KT502	30...60	40	0,15	1	0,35	5	65	0,6		18	0,06		8	1,5	0,7 мкс	65
7 N	KT504	35...70	300	0,50	10	0,50	20	60	1,0		20		500	5	1,2	10 мГц	70
8 P	KT501	50...100	15	0,30	1	0,35	5	60	0,4		24	0,08		6	1,2	0,5 мкс	70
9 N	KT312	25...50	20	0,06	1	0,20	80	50	0,5		8		200	4	1,8	20 мГц	55
10 P	KT313	40...80	50	0,35	0,5	0,15	200	50	0,5		10	0,02		3	1,3	0,1 мкс	55
11 N	ГТ311	20...40	20	0,08	0,5	0,30	250	40	0,3		12		400	2	1,8	5 мГц	50
12 P	ГТ313	50...100	25	0,08	0,05	0,15	100	40	0,1		14	0,06		8	1,3	0,5 мкс	50
13 N	KT315	30...60	25	0,10	1	0,15	150	45	0,4		16		500	10	1,7	15 мГц	65
14 P	KT361	35...70	25	0,05	1	0,15	100	45	0,4		18	0,04		3	1,3	0,2 мкс	65
15 N	KT339	15...30	25	0,15	1	0,25	100	55	0,6		20		600	4	2	25 мГц	60
16 P	KT337	45...90	12	0,05	1,0	0,15	500	55	0,2		24	0,03		6	1,7	0,3 мкс	60
17 N	KT342	15...30	30	0,05	1	0,25	100	45	0,1		16		440	5	1,9	45 мГц	65
18 P	KT343	20...40	17	0,05	1	0,15	100	45	0,3		14	0,03		10	1,6	0,5 мкс	65
19 N	KT358	25...50	15	0,06	10	0,20	80	40	0,8		12		250	2	1,5	50 мГц	60
20 P	KT357	30...60	12	0,04	5	0,15	100	40	0,3		10	0,04		3	1,5	0,6 мкс	60
21 N	KT3102	35...70	30	0,10	0,05	0,25	100	35	0,5		8		160	4	1,2	60 мГц	65
22 P	KT3107	40...80	30	0,10	0,1	0,30	200	35	0,5		24	0,08		5	1,2	0,6 мкс	65
23 N	KT373	45...90	10	0,05	0,5	0,15	600	30	0,4		20		600	6	1,7	70 мГц	70
24 P	KT3126	50...100	30	0,03	0,5	0,15	500	30	0,4		18	0,02		8	1,2	0,7 мкс	70
25 N	KT3117	40... 80	60	0,06	10	0,30	400	25	0,6		8		180	10	1,3	80 мГц	75
26 P	KT3127	45...90	20	0,06	1,0	0,10	600	25	0,4		10	0,04		5	1,6	0,8 мкс	75
27 N	ГТ341	50...100	15	0,05	5,0	0,10	1000	20	0,3		12		450	3	1,6	90 мГц	50
28 P	ГТ346	35...70	15	0,05	5,0	0,10	700	20	0,3		14	0,03		2	1,6	0,9 мкс	50
29 N	KT316	30...60	10	0,06	0,5	0,15	600	25	0,4		16		320	4	1,7	10 мГц	55
30 P	KT326	25...50	30	0,06	0,5	0,15	500	25	0,4		18	0,04		6	1,3	0,1 мкс	55
31 N	KT368	20...40	15	0,13	0,5	0,22	900	20	0,4		20		600	10	1,4	20 мГц	60
32 P	KT363	15...30	18	0,13	0,5	0,15	1000	20	0,35		24	0,06		2	1,8	0,2 мкс	60
33 N	KT3142	20...40	40	0,15	1,0	0,30	600	30	0,4		15		300	8	1,6	30 мГц	70
34 P	KT3128	25...50	40	0,15	1,0	0,30	600	30	0,4		9	0,08		4	1,6	0,3 мкс	70

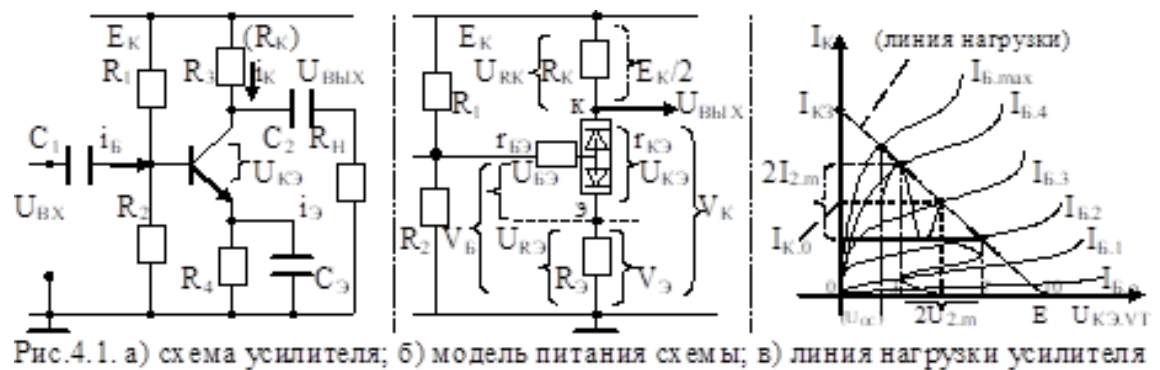
Практическая работа №4. Усилители. Усилители низкой частоты на транзисторах.

Цель: изучение режимов работы и расчет параметров усилителей на транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером.

Основы теории:

4.1. Усилитель класса А - схема усилителя-инвертора (рис. 4.1).

При малом входном сигнале (десятки мВ) рабочую точку транзистора выбирают исходя из требуемых статических характеристик транзистора.



$$I_{K,Max} = I_{K3} = E_K / (R_K + R_E) \quad (4.1)$$

Если транзистор открыт полностью, то сопротивление перехода $r_{KЭ} \approx 0$ и согласно уравнения (4.1) на резисторах R_K и R_E падает все напряжение E_K .

Задавая величину сигнала в цепи базы, меняют положение рабочей точки за счет изменения тока покоя $I_0 = I_{K,Нач}$ и падения напряжения $U_0 = U_{KЭ}$ на транзисторе.

Рабочую точку транзистора выбирают также исходя из динамического режима работы транзистора, т.е. из амплитуды U_{m2} в зависимости от U_{m1} .

Для малоомощных биполярных транзисторов в режиме А, значение тока покоя составляет $I_0 = I_{K,Нач} \approx (0,1 \div 0,3) I_{K,Max} \approx \underline{5 \div 15 \text{ мА}}$ при токе $I_{B,Нач} \approx (80 \div 160) \text{ мкА}$.

Для обеспечения положения рабочей точки А необходимо выполнение условий:

$$V_K = U_{ВЫХ} \approx (1/2) \cdot E_K. \quad (4.2)$$

$$U_0 = U_{KЭ} \approx (1/3 \div 2/5) \cdot E_K; \quad U_0 \leq U_{m2}, \quad (4.3)$$

$$V_E = U_{RЭ} \approx (1/6 \div 1/10) \cdot E_K;$$

где индекс V_E, V_K, V_B - **соответствует потенциалу** между электродом и землей; индексы $U_{BЭ}, U_{KЭ}, U_{BK}$ - **соответствуют падению напряжения** на электродах.

В соответствии с 2-м зак. Кирхгофа $E = V_K + U_{KЭ} + V_E, 1 = (1/2) + (1/3 \div 2/5) + (1/6 \div 1/10)$.

Например, при $E = 10 \text{ В} \rightarrow U_{RK} + U_{KЭ} + V_E = \underline{10} = \underline{(5 + 3,3 + 1,7)} = \underline{(5 + 4 + 1)}$.

В том числе, максимальные значения напряжения, тока и мощности на элементах, не должны превышать предельных значений:

$$U_{KЭ} + U_{m2} < U_{2,max}, \quad I_0 + I_{m2} < I_{2,max}, \quad U_0 \cdot I_0 + U_{m2} \cdot I_{m2} < P_{VT,max}. \quad (4.4)$$

Величина $U_{KЭ}$ ограничена амплитудой $U_{H,m}$ отрицательной полуволны (для $n-p-n$ VT) и положительной полуволны ($p-n-p$ VT) и определяется выражением:

$$2U_{H,m} = |-E_{II}| R_H / (R_H + R_{Э}) = E_{II} \cdot R_H / (R_H + R_{Э}). \quad [2U_{H,m} \leq 0,5E] \quad (4.5)$$

Например, (при $E = 10$ В и $R_H = 2$ к) $\rightarrow 2U_{H,m} = 10 \cdot 2\text{к} / (2\text{к} + 2\text{к}) = 5$ В. $U_{H,m} = 2,5$ В.

При этом мощность в нагрузке составляет:

$$P_H = 0,5 \cdot 2U_{H,m}^2 / R_H = E_{II}^2 \cdot R_H / (2 \cdot (R_H + R_{Э})^2). \quad (4.6)$$

Например, $[0,5 \cdot 2 \cdot 2,5^2 / 2000 = 10^2 \cdot 2000 / (2 \cdot (2000 + 2000)^2) = 6,25 \text{ мВт}]$; ($I_H = 3,5 \text{ мА}$).

Мах. значение мощности достигается при условии $R_K > R_{Э}$ и $R_H \approx R_{Э}$, т.е.

$$P_{H,Max} = E_{II}^2 / 8R_{Э}. \quad [10^2 / (8 \cdot 2000) = 6,25 \text{ мВт}]. \quad (4.7)$$

Мощность, потребляемая от источника питания, составляет:

$$P_{II} = 2E_{II}^2 / R_{Э}, \quad [2 \cdot 10^2 / (2000) = 100 \text{ мВт}].$$

КПД составит: $\eta = P_{H,Max} / P_{II} = 1/16 \approx 6,25\%$; $[6,25/100 = 6,25\%]$

Мощность P_{VT} , рассеиваемая на VT, максимальна в режиме покоя.

$$P_{VT} = E_{II}^2 / R_{Э} = 8P_{H,Max}; \quad [10^2 / 2000 = 50 \text{ мВт}]; \quad P_{II} = P_{VT} + P_{RK} + P_{RЭ}.$$

Усилитель класса В - двухтактный эмиттерный повторитель на комплементарных транзисторах разного типа проводимости (рис. 4.2а,б) позволяет получить существенно более высокую мощность в нагрузке и высокий КПД.

При $U_{BX} = 0$ оба транзистора закрыты, т.к. не обеспечено напряжение смещения в области базы. Следовательно, в схеме ток покоя составляет $I_0 \rightarrow I_{K0}$, что характерно для работы транзистора в режиме класса В. Мах. размах напряжения на нагрузке U_H при питании $|+E_{II}| = |-E_{II}|$ достигает значения $U_{H,m} = (E_{II} - U_{Oст})$, если учитывать, что транзисторы могут работать на границе насыщения, при $U_{KЭ} \rightarrow 0$.

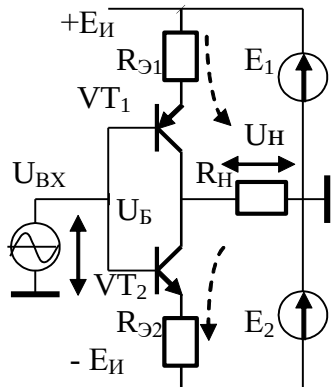


Рис.4.2а. Схема усилителя

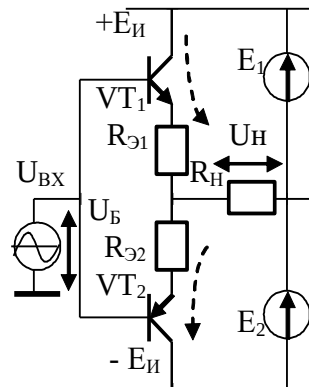


Рис.4.2б. Схема ЭП (ОК)

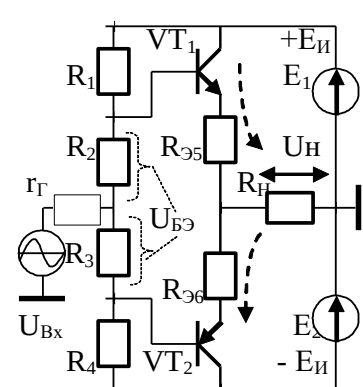


Рис. 4.3. Схема ЭП (ОК)

При полном размахе напряжения U_H в нагрузке мощность составит:

$$P_{H.\text{Max}} = E^2_{\text{И}}/2R_H. \text{ [при } E=10 \text{ В и } R_H=2000 \rightarrow 10^2/(2 \cdot 2000) = 25 \text{ мВт}]. \quad (4.8)$$

Мощность, отдаваемая источником питания, составит $P_{\text{И}} = 2E_{\text{И}} \cdot I_{H.m}/\pi$.

[При $E=10 \text{ В}$ и $I_{H.m}=5 \text{ мА} \rightarrow 2 \cdot 10 \cdot 0,005/\pi = 31,84 \text{ мВт}].$

$$\eta = P_{H.\text{Max}}/P_{\text{И}} = \pi/4 = 78,5\% \quad [\eta = 25 \text{ мВт}/31,84 \text{ мВт} = 78,5\%] \quad (4.9)$$

При полной амплитуде напряжения на нагрузке U_{Hm} транзистор рассеивает макс. мощность. В случае $U_{Hm} = (2/\pi)E_{\text{И}}$, на каждом VT рассеивается мощность

$$P_{VT.\text{Max}} = (1/\pi^2)(E^2_{\text{И}}/R_H). \text{ [(1/3,14}^2)(10^2/2000 = 1,6 \text{ мВт}]. \quad (4.10)$$

$$[U_{Hm} = (2/\pi)E_{\text{И}} = (2/3,14) \cdot 10 = 6,37 \text{ В; т.е. } U_{Hm.\text{Max}} \leq 0,64 \cdot E_{\text{И}}]$$

Усилитель класса АВ - двухтактный эмиттерный повторитель (рис. 4.3) позволяет снизить нелинейные искажения, возникающие из-за кривизны начального участка входных характеристик транзистора. Работа схемы основана на том, что через транзисторы VT₁ и VT₂ задают начальный ток покоя I_0 , равный:

$$I_0 = (0,04 \div 0,08) \cdot I_{H.m}. \quad (4.11)$$

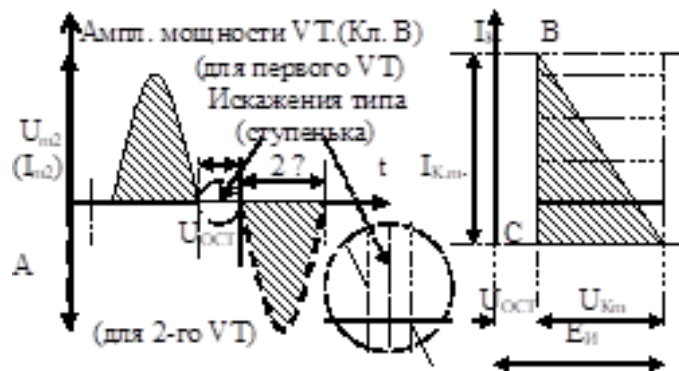
Для задания тока I_0 следует приложить между базами VT₁ и VT₂ напряжение

$U_{БЭ} = U_{\text{СМ}} \approx 0,55 \div 0,65 \text{ В}$, являющееся начальным условием работы транзистора.

Величину $U_{\text{СМ}}$ формируют резисторами R₂ и R₃ или набором диодов.

Если $U_{БЭ1} = U_{БЭ2}$, то оба транзистора имеют равный потенциал покоя.

Резисторы R_{5Э} и R_{6Э}, создающие в схеме отрицательную обратную связь по току, обеспечивают стабилизацию тока покоя I_0 в широком диапазоне температур.



Вместе с тем резисторы R_{5Э} и R_{6Э} включены последовательно с R_H и снижают мощность в нагрузке. R₅ и R₆ являются элементами защиты VT₁ и VT₂ от перегрузки в случае их полного открывания. Мощность, выделяемую транзисторами обоих плеч усилителя, необходимо брать с запасом, например, $P_{VT} \geq 1,1 \cdot P_H$.

Переменные составляющие $I_{\text{К.м}}$ и $U_{\text{К.м}}$, соответственно, составят:

$$I_{\text{К.м}} = \sqrt{2P_{VT}/R_H}, \quad (4.12). \quad U_{\text{К.м}} = 2P_{VT}/I_{\text{К.м}}. \quad (4.13)$$

Напряжение $U_{OCT(Si)} = U_{KЭ.мин} \approx 1 \text{ В}$ в цепи К-Э находят из выходных характеристик этих транзисторов VT_1 и VT_2 . Напряжение U_{OCT} должно отсекаать нелинейную часть выходных характеристик в области малых значений $U_{KЭ.мин}$ (рис. 4.4). Выделяемую окончательным каскадом мощность

$$P_{VT} = U_{K.m} \cdot I_{K.m} / 2 \quad (4.14)$$

определяют графически как площадь треугольника ABC (рис. 4.4).

В соответствии с рис. 4.4, E_K должно удовлетворять условию:

$$E_K \geq U_{K.m} + U_{OCT} \leq (0,4 \div 0,5) U_{K.Доп.} \quad (4.15)$$

При значениях $I_0 < 1\%$ $I_{H.m}$ увеличиваются нелинейные искажения сигнала типа «ступенька». Рост начального тока $I_0 > 10\%$ приводит к росту среднего тока $I_{K.CP}$, потребляемого от ист. питания. $I_{K.CP} = I_{K.m} / \pi$.

КПД и потребляемая каскадом мощность от источника составят:

$$\eta = (P_{VT} / P_{и}) \cdot 100\%. \quad P_{и} = 2 E_{и} \cdot I_{K.CP}. \quad (4.16)$$

Для расчета параметров входной цепи (начального и макс. значения напряжения $U_{Б0}$ и $U_{Б.m}$ при средней величине U_K) пользуются входными характеристиками транзисторов (для режима В). Начальный и макс. токи базы составят:

$$I_{Б0} = I_{K0} / \beta_{min}, \quad I_{Б.m} = I_{K.m} / \beta_{min}. \quad (4.17)$$

$$\text{Затем определяют величину} \quad U_{ВХ.m} = U_{Б.m} + U_{ВЫХ.m} \quad (K_u \leq 1) \quad (4.18)$$

$$\text{подсчитывают входную мощность} \quad P_{ВХ} = (1/2) U_{ВХ.m} \cdot I_{Б.m} \quad (K_i > 1) \quad (4.19)$$

$$\text{и коэффициент усиления по мощности} \quad K_P = P_{ВЫХ} / P_{ВХ}. \quad (K_P = K_u \cdot K_i) \quad (4.20)$$

Задания:

Задание №1

Выполнить расчет усилителя класса А и АВ - соединив их последовательно. Данные для расчета и параметры транзисторов приведены в таблице. Для усилителя кл. А - задано R_H ; для усилителя кл. АВ – задан ток в нагрузке I_H .

Таблица – Биполярные транзисторы сгруппированы в 2 строки (комплементарная пара)

Рабочие параметры транзисторов										Исходные параметры для расчета						
	ТИП	$h_{21Э}$ (β)	$U_{KЭ}$ (В)	$I_{K.Мак}$ (А)	$I_{K.об}$ μА	$P_{Мак}$ (Вт)	$f_{гр}$ МГц	C_K Пф	$U_{KЭ}$ Нас	$E_{П}$ В	I_H А	R_H Ом	$U_{ВХ}$ мВ	$f_{мин}$ Гц	$\Gamma_{ГЕН}$ кОм	$f_{МАХ}$ кГц
1 pnp	КТ201	20...60	20	0,03	1	0,15	30	100	1	16		4400	140	300	1	30
1 pnp	КТ203	15...40	30	0,03	1	0,15	30	100	0,4	16	0,03		60	400	1	40
2 pnp	КТ206	40...80	15	0,05	1	0,15	35	80	1 В	12		2200	30	500	0,8	50
2 pnp	КТ208	20...60	20	0,05	1	0,20	45	80	0,3	12	0,05		125	50	0,8	5
3 pnp	КТ503	40...120	40	0,15	1	0,35	25	65	0,6	18		1800	60	70	1,2	7
3 pnp	КТ502	40...120	40	0,15	1	0,35	35	65	0,6	18	0,10		80	270	1,2	27
4 pnp	КТ504	15...50	300	0,50	10	0,50	40	60	1,0	24		1200	50	200	1,4	20
4 pnp	КТ501	20...60	15	0,30	1	0,35	25	60	0,4	24	0,25		125	420	1,4	40
5 pnp	КТ312	25...60	20	0,06	1	0,20	80	50	0,5	15		3000	30	100	0,9	10

5 нрп	KT313	30...100	50	0,35	0,5	0,15	200	50	0,5	15	0,05		63	150	0,9	15
6 нрп	KT311	20...60	20	0,08	0,5	0,30	250	40	0,3	22		2500	220	125	1	12
6 нрп	KT313	40...100	25	0,08	0,05	0,15	100	40	0,1	22	0,08		120	250	1	25
7 нрп	KT315	20...90	25	0,10	1	0,15	150	45	0,4	20		3000	55	75	1,1	8
7 нрп	KT361	20...80	25	0,05	1	0,15	100	45	0,4	20	0,05		350	55	1,1	5
8 нрп	KT339	25...50	25	0,15	1	0,25	100	55	0,6	12		3300	40	125	0,5	12
8 нрп	KT337	30...60	12	0,05	1,0	0,15	500	55	0,2	12	0,04		140	25	0,5	5
9 нрп	KT342	25...250	30	0,05	1	0,25	100	45	0,1	16		4400	25	40	0,6	4
9 нрп	KT343	30...60	17	0,05	1	0,15	100	45	0,3	16	0,03		150	140	0,6	14
10 нрп	KT358	25...100	15	0,06	10	0,20	80	40	0,8	14		2700	35	50	0,7	5
10 нрп	KT357	20...100	12	0,04	5	0,15	100	40	0,3	14	0,04		85	350	0,7	35
11 нрп	KT3102	50...200	30	0,10	0,05	0,25	100	35	0,5	16		1600	120	60	0,8	10
11 нрп	KT3107	70...140	30	0,10	0,1	0,30	200	35	0,5	16	0,10		200	80	0,8	8
12 нрп	KT373	20...60	10	0,05	0,5	0,15	600	30	0,4	18		2000	50	70	0,9	7
12 нрп	KT3126	25...100	30	0,03	0,5	0,15	500	30	0,4	18	0,04		150	170	0,9	20
13 нрп	KT3117	40...200	60	0,06	10	0,30	400	25	0,6	20		2500	30	80	1	8
13 нрп	KT3127	25...150	20	0,06	1,0	0,10	600	25	0,4	20	0,06		230	280	1	28
15 нрп	KT316	20...60	10	0,06	0,5	0,15	600	25	0,4	12		2800	100	100	1,2	10
15 нрп	KT326	25...100	30	0,06	0,5	0,15	500	25	0,4	12	0,06		200	60	1,2	16
16 нрп	KT368	50...300	15	0,13	0,5	0,22	900	20	0,4	14		4200	80	70	0,4	14
16 нрп	KT363	40...120	18	0,13	0,5	0,15	800	20	0,35	14	0,13		180	120	0,4	12
17 нрп	KT3142	25...100	40	0,15	1,0	0,30	600	30	0,4	20		2200	120	30	0,5	5
17 нрп	KT3128	25...100	40	0,15	1,0	0,30	600	30	0,4	20	0,12		80	80	0,5	8
18 нрп	KT608	25...80	60	0,4	10	0,50	100	50	1,0	16		1000	70	55	0,6	6
18 нрп	KT626	30...80	45	0,45	10	3	45	50	0,85	16	0,25		170	250	0,6	25
19 нрп	KT630	40...120	60	0,2	1,0	0,5	50	55	0,3	22		800	250	40	0,7	4
19 нрп	KT6329	40...100	45	0,8	0,1	3	80	55	0,50	22	0,20		25	140	0,7	14
20 нрп	KT646	40...200	60	0,8	10	3	200	40	0,85	18		600	130	50	0,8	5
20 нрп	KT644	40...100	45	0,8	0,1	3	80	40	0,50	18	0,40		300	150	0,8	15
21 нрп	KT972	> 600	60	3	1	8	100	35	1,5	15		400	200	60	0,6	12
21 нрп	KT973	> 600	60	3	1	8	100	35	1,5	15	1,0		120	260	0,6	25
22 нрп	KT815	40...80	36	1,5	50	10	30	90	0,6	24		300	50	100	0,5	10
22 нрп	KT814	40...80	36	1,5	50	10	30	90	0,6	24	0,8		150	40	0,5	4
23 нрп	KT817	25...60	36	6	100	25	30	100	0,6	20		200	40	90	0,4	10
23 нрп	KT816	25...60	36	6	100	25	3	100	0,6	20	1,2		140	72	0,4	7
24 нрп	KT819	15...60	32	10	1	60	3	80	2,0	16		150	100	30	0,3	15
24 нрп	KT818	15...60	32	10	1	60	3	80	2,0	16	2,5		210	130	0,3	12
25 нрп	KT829	> 600	35	5	200	40	7	65	2,0	14		80	30	40	0,2	5
25 P	KT853	> 600	35	5	200	40	7	65	2,0	14	2,0		300	140	0,2	14

Практическая работа №5. Неуправляемые выпрямители с активной нагрузкой.
Источники стабилизированного питания.

Цель: Приобретение умений и навыков оценки параметров схем источников стабилизированного питания, и методами расчета их параметров

Основы теории:

Схема, устраняющая колебания напряжения питания при изменении тока в нагрузке, называется стабилизатором напряжения. Существует большое разнообразие схем стабилизаторов с нерегулируемым и регулируемым напряжением, отличающихся сложностью построения и способом преобразования. Основными параметрами стабилизатора являются: отдаваемая мощность и диапазон напряжений и токов в нагрузке, амплитуда пульсаций и коэффициент стабильности.

Определяющим критерием при выборе и расчете РЭ и ИЭ являются массообменная характеристика, мощность потребления, точность и стабильность во времени напряжения УН на нагрузке, высокий КПД (η) и надежность схемы.

Рассмотрим схемы параметрических и компенсационных стабилизаторов, КПД которых зависит от величины мощности потерь на регулируемом элементе.



В схеме параметрического стабилизатора транзистор (VT) включают либо по схеме с общим эмиттером (ОЭ), либо по схеме с общим коллектором (ОК) (эмиттерный повторитель - рис. 5.1). Такая схема обладает невысокой мощностью $P_H \leq 20$ Вт и низким коэффициентом стабилизации $K_{СТ} \leq 500$ и $\eta \leq 75$.

Ток в нагрузке I_H зависит от тока базы $I_{B,VT}$, задаваемого цепью R_1 и стабилитроном VD.

Основные расчетные соотношения для схемы:

$$U_H = (U_{O\Pi} - U_{B\Xi.VT}) = (U_{BX} - U_{K\Xi.VT}) \quad (5.1)$$

$$U_{OP} = (U_{BX} - U_{R1}); \quad (\text{напряжение опорное на стабилитроне}) \quad (5.2)$$

$$U_{R1} = (I_{R1} \cdot R_1) = (U_{BX} - U_{OP}); \text{ (напряжение на ограничивающем резисторе)} \quad (5.3)$$

$$R_1 = (U_{BX} - U_{OP})/I_{R1} = [U_{BX} - (U_H + U_{БЭ})]/I_{R1} = U_{R1}/(I_{OP} + I_{Б. VT}); \quad (5.4)$$

$$I_{OP} = [(U_{BX} - U_{R1})/R_1] \text{ (ток стабилизации через стабилитрон)} \quad (5.5)$$

$$I_H = (I_H + I_{R1}); \quad *(I_{H. Max.} \leq 0,9 \cdot I_{H. Доп.}). \quad (5.6)$$

$$I_H = (U_H/R_H) = I_{Б. VT} \cdot \beta \approx I_{Э. VT}. \quad *(I_{H. Max.} \leq 0,8 \cdot I_{К. VT. Доп.}). \quad (5.7)$$

$$I_B = I_{R1} - I_{VD} = (U_{БЭ} + U_H)/r_B. \quad *(I_B < I_{Б. Нас.}); \quad *(I_B \approx (2/3) I_{OP. Ном.}). \quad (5.8)$$

$$P_H = (P_H + P_{VT} + P_{VD}); \quad *(P_{H. Max} \leq 0,9 \cdot P_{H. Доп.}). \quad (5.9)$$

$$P_H = (I_H \cdot U_H) = (I_H^2 \cdot R_H) = U_H^2/R_H; \quad (5.10)$$

$$P_{VD} = (I_{OP} \cdot U_{OP}); \quad P_{VT} = (I_{К. VT} \cdot U_{КЭ. VT}); \quad *(P_{VT} \leq 0,9 \cdot P_{VT. Доп.}) \quad (5.11)$$

$$\eta_{CT} = P_{VT}/P_{CT} \leq 0,92. \quad \eta_H = P_{CT}/P_H \leq 0,85. \quad (5.12)$$

Пульсации ΔU_H в нагрузке (рис. 5.2) в зависимости от изменения тока ΔI_H в нагрузке определяются выходным сопротивлением $r_{Вых.}$ схемы стабилизатора:

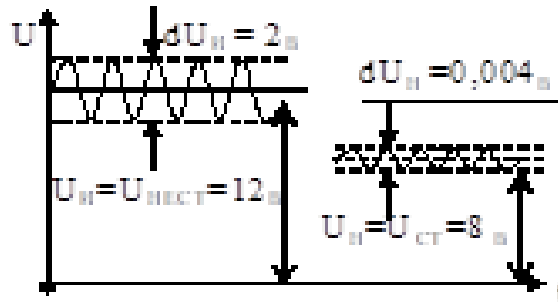


Рис. 5.2. Пример оценки K_{CT} при наличии пульсации напряжений

$$r_{Вых.} = \Delta U_H / \Delta I_H = 1/S = \varphi_T / I_H. \quad (5.13)$$

где $S = (I_0/\varphi_T) \exp^{(U_{БЭ}/\varphi_T)} = (I_K/\varphi_T)$ – крутизна. (при $\varphi_T \approx 0,026$ В и $I_H = 0,1$ А получим $r_{Вых.} \approx 0,26$).

Колебания ΔU_H напряжения сглаживаются благодаря малой величине $r_{Диф.}$ стабилитрона.

Изменение величины ΔU_H составит:

$$\Delta U_H = \Delta U_{OP} = [r_{Диф.}/(r_{Диф.} + R_1)] \cdot \Delta U_{И} \approx (r_{Диф.}/R_1) \cdot \Delta U_{И}. \quad (5.14)$$

$\Delta U_H \leq 0,02 \cdot U_H$ на выходе схемы (рис. 6.1) и подобной схеме при оптимальной нагрузке.

$r_{Диф.} = \Delta U_{OP} / \Delta I_{OP} \approx \varphi_T / I_{OP}$ – дифференциальное сопротивление стабилитрона.

$$K_{CT} = (\Delta U_H / \Delta U_{И}) = (R_1 / r_{Диф.}) \leq 200 \text{ - коэффициент стабилизации.} \quad (5.15)$$

Для снижения чувствительности к пульсациям $\Delta U_{И}$ источника – часто на входе и выходе схемы стабилизатора ставят $C_{0.Ф}$ и $C_{2.Ф}$ из условия:

$$\tau_{РАЗР} = C_{0.Ф} \cdot R_H' \approx (3 \div 5)T, \text{ либо } C \cdot \Delta U = I \cdot t, \text{ откуда } C_{Ф} = I \cdot t / \Delta U$$

$$[0,08 \text{ с} = 0,002 \text{ Ф} \cdot 40 \text{ Ом} \approx 4 \cdot 0,02 \text{ с}]. \quad [0,001 = 0,5 \text{ А} \cdot 0,02 \text{ с} / 5 \text{ В}]$$

Достаточным для выбора $C_{0.Ф}$ является условие, если $\Delta U_{ВЫПР} \leq (0,1 \cdot U_{ВЫПР})$.

При оптимальном значении $C_{0,ф}$ величина $U_{ВЫХ.ВЫПР}$ увеличится в 1,41 раз.

Очень высокая величина C вызывает рост пикового тока I_{DS} при заряде C длительностью до $t \leq (20/2) \text{ мс}$ (для схемы мостового выпрямителя), амплитудой:

$$I_{DS} \approx U_H / \sqrt{2} \cdot r_H = 12 / (\sqrt{2} \cdot 1,18 \cdot 11) = 12/5 = 2,35 \text{ А.} \quad (5.16)$$

Величина колебаний ΔU_H напряжения источника (выпрямителя), с учетом частоты $f_{\text{пульс.}}$ пульсации (сети) и тока I_H нагрузки, при установке C_0 составляет:

$$\Delta U_H = [I_H / (C_0 \sqrt{2} f_{\text{пульс.}})] \cdot [1 - \sqrt[4]{(r_H / 2 \cdot r'_H)}]; \quad [T = (1/2f) = 0,01 \text{ с}] \quad (5.17)$$

$$\text{или } C_{ф,0} = T / (U_H / I_H) = 0,00166 \text{ (Ф)} = [I_H / (\Delta U_H \cdot \sqrt{2} f_{\text{пульс.}})] \cdot [1 - \sqrt[4]{(r_H / 2 \cdot r'_H)}]. \quad (5.18)$$

Более точное значение $C_ф$ – на выходе выпрямителя (Г-обр. фильтра) составит:

$$C_{0,ф} = [I_2 \cdot (K_{\text{ПУЛ.2П}} \cdot K_{\text{ВЫПР.2П}})] / (\Delta E_H \cdot 2f_{\text{ПУЛ}}) = [(0,5 \text{ А} \cdot 0,9 \cdot 0,66) / (5 \text{ В} \cdot 2 \cdot 50 \text{ Гц})] = 600 \text{ мкФ.}$$

где $\Delta E_H \leq 0,2 \cdot E_H = 0,2 \cdot 25 \text{ В} = 5 \text{ В}$ (для схем выпрямителей с оптим. нагрузкой).

$f_{\text{ПУЛ.}}$ – частота пульсаций напряжения на выходе выпрямителя ($f = 2 \cdot 50 \text{ Гц}$);

r_H – выходное сопротивление нестабилизированного источника (выпрямителя);

обычно, $r_H = 2 \div 0,1 \text{ Ом}$ (при $P_H = 10 \div 100 \text{ Вт}$ и при $E_H \leq 40 \text{ В}$);

$r'_H = (r_{ВХ} + R_H) \approx (5 \div 10) \cdot r_H$ – эквивалентная нагрузка, подключенная к источнику.

В данном случае r'_H это $(r_{ВХ} + R_H)$ схемы стабилизатора с подключенной на выходе нагрузкой.

В эмиттерном повторителе (в схеме с ОК) выполняется условие: $r_{ВХ} \approx (5 \div 10) \cdot r_{ВЫХ.}$

Например, при $I_H = 1 \text{ А}$; $U_H = 12 \text{ В}$; $\Delta E_H \approx 3 \text{ В}$; $r_H = 1,18 \text{ Ом}$ и $r'_H = 11 \text{ Ом}$ получим:

$$C_0 = [1 \text{ А} / (3 \text{ В} \cdot 2 \cdot 50 \text{ Гц})] \cdot [1 - \sqrt[4]{(1,18 \text{ Ом} / 2 \cdot 11 \text{ Ом})}] = 0,00166 \text{ Ф} \approx 1700 \text{ мкФ.}$$

и наоборот, при $C_0 = 0,0017 \text{ Ф}$:

$$\Delta U_H = [1 \text{ А} / (0,0017 \text{ Ф} \cdot 2 \cdot 50 \text{ Гц})] \cdot [1 - \sqrt[4]{(1,18 \text{ Ом} / 2 \cdot 11 \text{ Ом})}] = 2,95 \text{ В} \approx 3 \text{ В.}$$

$$I_{DS} \approx 12 \text{ В} / \sqrt{2} \cdot 1,18 \text{ Ом} \cdot 11 \text{ Ом} = 2,35 \text{ А при } E_H \approx 12 \text{ В} \quad (5.16')$$

Пример схем стабилизаторов повышенной мощности приведен на рис. 5.3 – 5.5.

Для регулировки напряжения на нагрузке в диапазоне $U_H = (2/3 \div 6/8) E_H$ в цепь базы транзистора (или в цепь входа ОУ) вводят резистор $R_2 \approx (5 \div 10) R_1$.

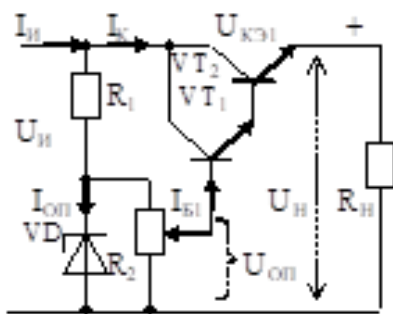


Рис. 5.3. Стабилизатор на составном транзисторе.

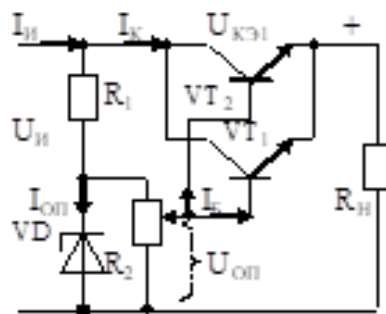


Рис. 5.4. Стабилизатор с параллельным включен. транзисторов

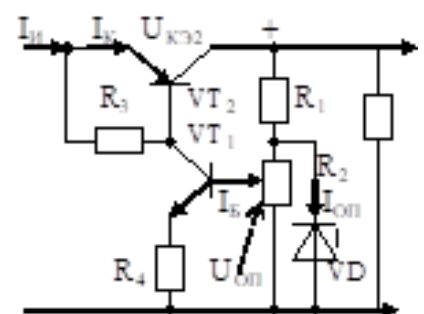


Рис. 5.5. Стабилизатор по схеме с общим эмиттером

Для значительного увеличения тока I_H в схеме стабилизатора выходные транзисторы

объединяют последовательно (рис. 5.3 – схема Дарлингтона), либо включают параллельно (рис. 5.4). Для повышения стабильности напряжения U_H в схеме используют транзисторы с коэффициентом усиления по току $\beta > 30$, а цепь с элементами R_1 , R_2 , VD устанавливают на выходе схемы (рис. 5.5).

Здесь для лучшего подавления пульсаций транзистор включен по схеме с ОЭ.

При одинаковой сложности схем стабилизаторов, схема с ОЭ обеспечивает более высокий коэффициент стабилизации $K_{СТ}$, но выходное сопротивление $r_{ВЫХ}$ схемы с ОЭ выше, чем в схеме с ОК. Поэтому, если стабилизатор работает с переменной (регулируемой) R_H нагрузкой, то выгодно включать VT по схеме с ОК.

Для расчета схем (рис. 5.3 – 5.5) по заданным параметрам E_H , U_H , I_H или R_H достаточно определить параметры: транзисторов (P_{VT} , $U_{КЭ}$, I_K , I_B , β); стабилитрона VD ($I_{ОП}$, $U_{ОП}$, $r_{Диф.}$); коэффициент $K_{СТ}$ и напряжение $\Delta U_{СТ}$ пульсации.

Компенсационные стабилизаторы с операционным усилителем

В схеме (рис. 5.6) компенсационного стабилизатора на операционном усилителе (ОУ) выходное напряжение ОУ используется для получения опорного напряжения $U_{ОП}$ от прецизионного стабилитрона. Для большинства маломощных ОУ ток $I_{ОУ.ВЫХ} \leq 10$ мА. Для увеличения тока I_H в нагрузке к схеме компенсационного стабилизатора подключают выходные транзисторы (рис. 5.7). Такие схемы позволяют получить коэффициент стабилизации $K_{СТ} = 200 \div 500$.

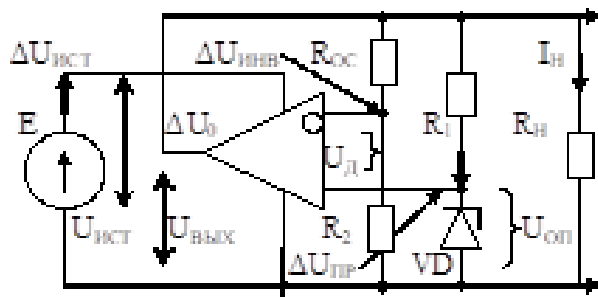


Рис. 5.6. Стабилизатор опорного напряжения

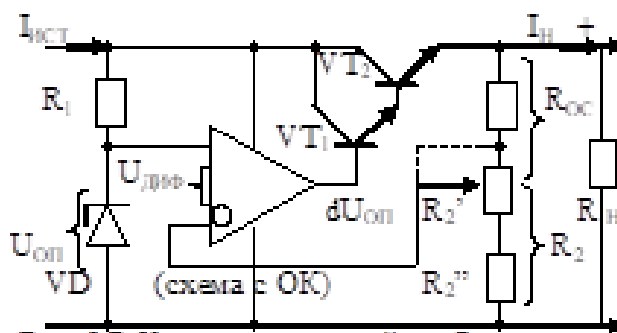


Рис. 5.7. Компенсационный стабилизатор

Коэффициент $K_{СТ}$ стабилизации схемы (рис. 5.7) можно существенно повысить ($K_{СТ} \geq 1000$), если цепь с элементами R_1 и VD подключить к выходу стабилизатора (рис. 5.6). При этом $K_{СТ}$ стабилизации схемы определяется коэффициентом ослабления D изменения напряжения смещения при изменении питания ОУ.

Для схемы (рис. 5.6) справедливы соотношения: $U_{ОП} = (1/4 \div 1/2) \cdot U_H$. (*)

$$\Delta U_{Прям} = [r_{ВЫХ} / (r_{ВЫХ} + R_1)] \cdot \Delta U_{ВЫХ}; \quad \Delta U_{Инв} = [R_2 / (R_2 + R_{ОС})] \cdot \Delta U_{ВЫХ}.$$

$$U_{ВЫХ} = U_{ОП} \cdot K_U = U_{ОП} \cdot [(R_{ОС} / R_2) + 1]. \quad (5.19)$$

Из (5.19) следует, что напряжение $U_{ВЫХ}$ не зависит от изменения тока I_H и от U_H . Для исключения насыщения ОУ необходимо обеспечить условие:

$$U_{\text{оп}} \leq U_{\text{и}} - 2 \text{ В} \quad \text{или} \quad U_{\text{вых.}} \leq U_{\text{и}} - 2 \text{ В}; \quad (5.20)$$

Выходное напряжение можно регулировать в диапазоне $U_{\text{вых}} = (1/3 \div 7/8) \cdot U_{\text{и}}$.

Для этого достаточно заменить R_2 на переменный резистор той же величины.

$$D = \Delta U_{\text{и}} / \Delta U_0. \quad *(D \leq 10\,000); \quad (\text{коэфф. ослаблен. влияния пульсац. } \Delta U_{\text{и}}) \quad (5.21)$$

где $\Delta U_0 \leq 0,3 \text{ мВ}$ - напряжение смещение нуля на выходе идеального ОУ при $\Delta T = 20^\circ$.

Например, при $\Delta U_{\text{и}} = 2 \text{ В}$ и $\Delta U_0 \leq 0,5 \text{ мВ}$ получим $D = 4\,000$.

$$K_{\text{СТ}} = D[r_{\text{диф. VD}} / (r_{\text{диф. VD}} + R_1) - R_2 / (R_2 + R_{\text{OC}})] \approx |D| \cdot [R_2 / (R_2 + R_{\text{OC}})]. \quad (5.22)$$

* Входной ток ОУ составляет ($I_{\text{ВХ.ОУ}} \leq 0,2 \text{ мА}$), поэтому ток делителя $I_{\text{д}}$ в цепи R_{OC} и R_2 должен составлять $I_{\text{д}} = 0,5 \div 1 \text{ мА}$. (*)

При использовании в схеме (рис. 5.7) составного транзистора ток в нагрузке может превышать величину $I_{\text{Н}} \geq 1 \text{ А}$ и составлять:

$$I_{\text{Н}} \leq I_{\text{ОУ}} \cdot \beta_0. \quad (\beta_0 = \beta_1 \cdot \beta_2.) \quad (5.23)$$

$$U_{\text{Н}} = (U_{\text{оп}} \cdot [(R_{\text{OC}} / R_2) + 1] - U_{\text{БЭ1}} - U_{\text{БЭ2}}). \quad (5.24)$$

$$P_{\text{VT2}} = (U_{\text{и}} - U_{\text{Н}}) \cdot I_{\text{Н}} = U_{\text{КЭ.VT2}} \cdot I_{\text{К.VT2}}.$$

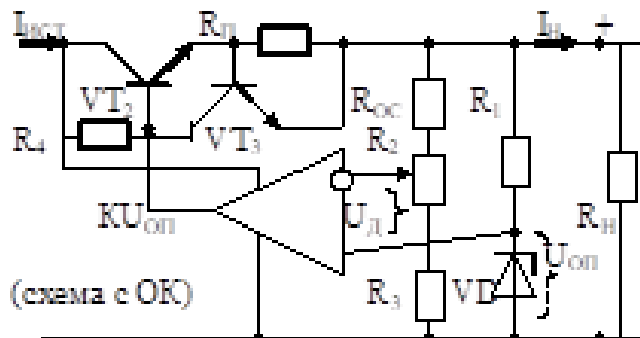


Рис. 5.8. Стабилизатор с ограничением тока

Для защиты схем стабилизаторов от выхода из строя при случайном коротком замыкании, в схему вводят цепь защиты на элементах ($R_{\text{п}}$ и VT_3), которые будут ограничивать ток $I_{\text{К}}$ мощного транзистора при возникновении большого падения напряжения $U_{\text{КЭ.VT}}$. Если падение напряжения на резисторе $R_{\text{п}}$ превысит величину $U_{\text{БЭ.VT3}} \approx 0,6 \text{ В}$, то произойдет открывание транзистора VT_3 , а это вызовет снижение напряжения на базе VT_2 , т.е. $U_{\text{БЭ.VT2}} < U_{\text{оп}}$ и, следовательно, частичное закрывание VT_2 .

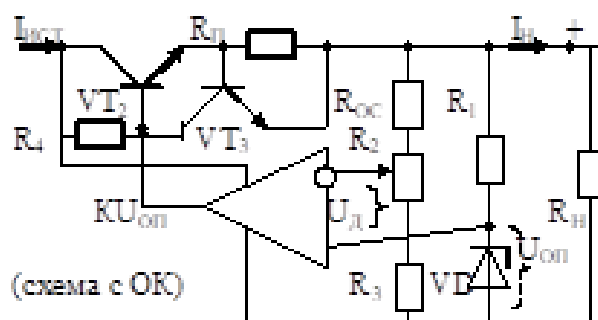
$$\text{Уровень ограничения тока составит: } I_{\text{К2.огр}} \approx 0,6 / R_{\text{п}}. \quad (5.25)$$

$$\text{Например, при } I_{\text{К.огр}} \approx 1 \text{ А, } R_{\text{огр}} \text{ составит: } R_{\text{п}} = U_{\text{БЭ.3}} / I_{\text{К2.огр}} = 0,6. \text{ Ом.} \quad (5.26)$$

Задания:

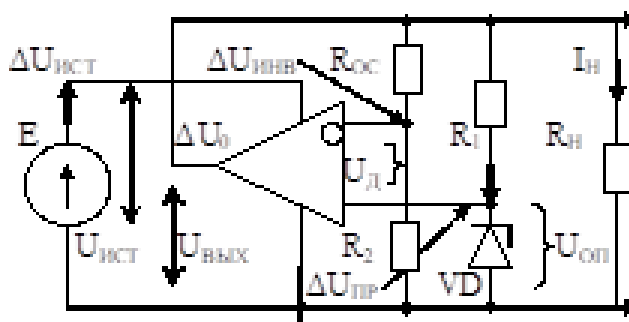
Задание №1

Вычислить параметры стабилизатора напряжения, обеспечивающего ток $I_H = 6 \text{ А}$ и $U_H = 15 \text{ В}$, при: $U_{II} = 20 \text{ В}$; $I_{\text{Вых.ОУ}} \leq 10 \text{ мА}$.



Задание №2

Выполнить расчет параметров схемы стабилизатора на ОУ для $U_H = 15 \text{ В}$, при $I_H \leq 10 \text{ мА}$, $U_{II.\text{Max}} = 19 \text{ В}$ и $\Delta U_{II} = 2 \text{ В}$; $\Delta U_0 = 0,3 \text{ мВ}$.



Практическая работа №6. Генераторы. Генераторы гармонических колебаний.

Цель: приобрести навыки расчета генераторов гармонических колебаний

Основы теории:

Генераторами (электронными генераторами) называют устройства, преобразующие с помощью усилительных приборов энергию источника электропитания в энергию электрических колебаний заданной частоты и формы. Основным классификационным признаком является принцип управления режимом работы генератора. По этому признаку различают генераторы с независимым возбуждением, режимом работы которых управляют от внешнего источника переменного напряжения, и генераторы с самовозбуждением - автогенераторы. По форме выходных колебаний различают генераторы гармонических (синусоидальных) колебаний и генераторы колебаний несинусоидальной формы (прямоугольной, пилообразной и др.), которые называются релаксационными (или импульсными) генераторами.

Гармонические колебания в генераторах поддерживаются резонансными контурами либо другими резонирующими элементами (кварцевые резонаторы, объемные резонаторы, и др.), или с помощью фазирующих RC-цепей, включаемых в цепь ОС усилителей. Первые называются LC-генераторами, вторые – RC-генераторами гармонических колебаний.

В общем виде генераторы гармонических колебаний содержат активный элемент (АЭ) (или усилитель (У) и частотно-избирательную схему (или частотно-избирательный четырехполюсник) - (ЧИЧ). Структурная схема генератора изображена на рис 1.1, где в качестве ЧИЧ могут быть использованы резонансные LC-контур, кварцевые резонаторы, RC-, RL-, LRM-цепи.

В зависимости от генерируемых частот генераторы гармонических колебаний (ГГ) подразделяются на генераторы высоко-, низко- и - инфра-низко- частотных колебаний (ВЧ, НЧ, ИНЧ). ГГ ВЧ имеют диапазон: 100 МГц-100 кГц; НЧ- 100 кГц-10 Гц; ИНЧ – от 10 Гц и ниже. RC - автогенераторы применяются для генерирования НЧ синусоидальных колебаний. Они содержат ЧИЧ на RC-элементах. Частота, генерируемая RC генераторами, называется квазирезонансной поскольку ЧИЧ на RC - элементах не обладает резонансными свойствами как, например, LC-контур.

В автоколебательных RC- генераторах используются усилители, охваченные ПОС, где коэффициент усилителя, охваченного ПОС равен:

$$K_{\text{ПОС}} = \frac{K_y}{1 + K_y K_{\text{ЧИЧ}}}$$

K_u - коэффициент усиления усилителя без ОС

$K_{чич}$ - коэффициент передачи ЧИЧ.

$$\begin{cases} K_u K_{чич} \geq 1 \\ \phi_u + \phi_{чич} = 2\pi n \end{cases}$$

Т.е. необходимо, чтобы соблюдался баланс амплитуд (т.е. чтобы потери, вносимые ЧИЧ, компенсировались усилителем, и чтобы сдвиг фаз, создаваемый У и ЧИЧ в кольцевой схеме был равен нулю или кратен 2π (т.е. чтобы соблюдался баланс фаз).

Как и для LC-генератора, условием возбуждения RC-генератора является выполнение соотношения (1.2), т.е. если усиительное звено осуществляет фазовый сдвиг 180° и коэффициент усиления величина действительная и отрицательная ($-K_u$)($-K_{чич}$) 1, то для самовозбуждения такого усилителя необходимо, чтобы частотно-зависимая обратная связь также вносила фазовый сдвиг равный 180° . При неизменном фазовом сдвиге в усилителе коэффициент усиления - величина действительная и положительная. Самовозбуждение в этом случае возможно, когда фазовый сдвиг в цепи частотно-зависимой обратной связи (при действительном коэффициенте передачи КЧИЧ) равен нулю и $K_u K_{чич} \geq 1$

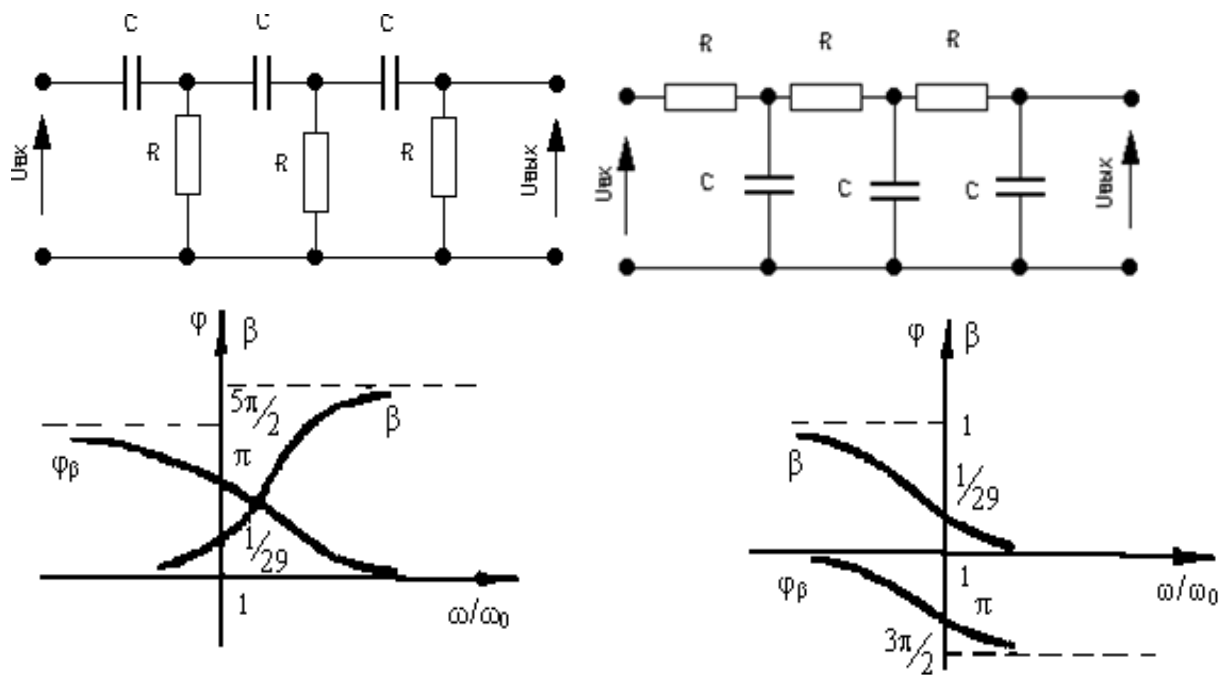
По принципу построения RC-генераторы подразделяются на две основные группы:

- генераторы с поворотом фазы сигнала в цепи обратной связи на $\pm 180^\circ$
- генераторы, у которых фазовый сдвиг сигнала в цепи ОС на определенной частоте равен нулю.

Рассмотрим первую группу RC-генераторов - с фазовым сдвигом в цепи обратной связи, (с ФС в ОС). Эта группа генераторов содержит однокаскадный усилитель по схеме с ОЭ, фаза выходного напряжения которого отличается от фазы входного на 180° . Условие баланса фаз может быть выполнено, если частотно-зависимая цепь ОС также обеспечивает поворот фазы напряжения на нужной частоте генерации на 180° . В качестве фазирующих используются цепи состоящие из Г-образных RC-звеньев (обычно трех или четырех). Трех-звенные фазирующие цепи типа «R- параллель» и «С-параллель» изображены на рисунке 1.2 а и 1.3 а, а их амплитудные и фазо - частотные характеристики на рис. 1.2 б и 1.3 б.

В отличии от резонансной частоты ω_0 колебательного контура для фазирующих RC-цепей частота, кратная πn , где $n=0$ или 1, называется квазирезонансной.

Как видно из рис. 1.2 б и 1.3 б, на квазирезонансной частоте ω_0 фазовый сдвиг $\phi_{чич}$ (или ϕ_β) между входным, и выходным напряжением для цепи «R- параллель» равен $+180^\circ$, а для цепи «С-параллель» -180° .



На этой частоте коэффициент передачи напряжения $\beta = U_{вых} / U_{вх}$ для обеих цепей имеет вещественное значение $\beta_0 = 1/29$. Квазирезонансная частота для фазирующих цепей определяется параметрами R и C.

Для цепей «R- параллель»
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1.3)$$

Для цепей «C-параллель»
$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC} \quad (1.4)$$

Таким образом, усилительный каскад со сдвигом фазы усиливаемого сигнала на 180° , в которой осуществлена ПОС с помощью, трехзвенных цепей "R или C-параллель", может генерировать гармонические колебания с частотой ω_0 (f_0)- зависимости (1.3) и (1.4), если коэффициент усиления $\beta(K_{чич})$ превышает 29.

Для четырехзвенных цепей можно получить, следующие зависимости:

"R-параллель"

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1.5)$$

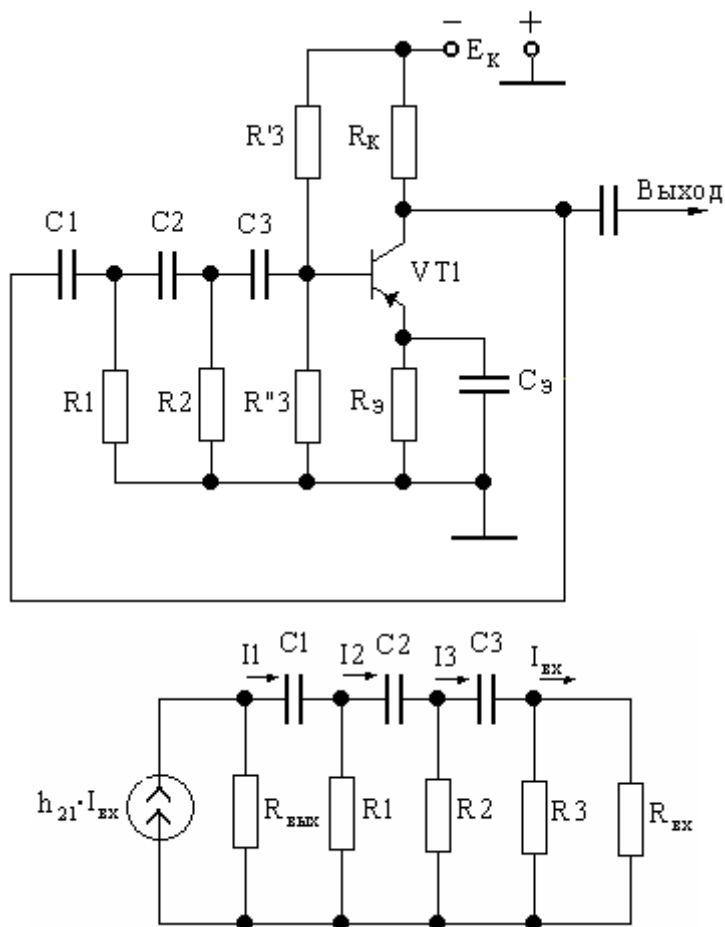
"C-параллель"

$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC} \quad (1.6)$$

Следовательно, при построении генераторов с использованием четырехзвенных цепочек требуются дополнительные каскады с меньшим коэффициентом усиления ($K_y > 18,4$)

Дальнейшее увеличение числа звеньев не дает существенного эффекта.

Рассмотрение параметров фазирующих цепей ($f_0, \beta_0, \varphi_\beta$) осуществлялась в идеальном варианте, т.е. предполагалось; что сопротивление источника выбранного напряжения, равно нулю, а сопротивление нагрузки- бесконечности. В реальных условиях RC- цепь нагружается конечным входным сопротивлением усилительного звена, а ее вход подключается к выходу усилителя имеющего зачастую значительное выходное сопротивление, что приводит к изменению β_0 и частота установившихся колебаний $f_T \neq f_0$. Принципиальная схема RC- генератора с трехзвенной цепью “R-параллель” изображена на *рис. 1.4 а*, её эквивалентная схема - на *рис. 1.4 б*. Из эквивалентной схемы можно получить условие возникновения генерации и частоты колебаний. Режим по постоянному току в схеме *рис. 1.4 а* обеспечивается элементами $R'3, R''3, R_3, C_3$. Параллельно включенные резисторы $R'3 \parallel R''3$ совместно с параллельно включенным входным сопротивлением усилительного звена $R_{вх} \approx h_{11}$ (емкость C_3 на частоте генерации вносит очень малое реактивное сопротивление) образует третье сопротивление фазирующей цепи $R3$. Выходное сопротивление усилительного звена обусловлено в основном значением R_K , т.к. $R_K \ll 1/h_{223}$.



Анализируя эквивалентную схему *рис.1.4 б* методом, например, контурных токов

для характеристического уравнения, удовлетворяющего условию установившегося колебательного процесса, получаем:

$$1 - \omega^2 R^2 C^2 (4n+6) + j[\omega R C (n+5) - \omega^3 (2n+1) + h_{21Э} n \omega^3 R C] = 0, \quad (1.7)$$

где $nC_1 = C_2 = C_3 = C$, $R_1 = R_2 = R_3 \parallel R_{вх} = R_{вх}/n = R$ т.е. $n = R/R_{вх}$.

Условие баланса фаз выполняется при равенстве нулю мнимой части уравнения (1.7) при этом частота генерации равна:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1.8)$$

Исходя из того, что действительная часть уравнения (1.7) должна быть равна единице с учетом (1.8) получаем:

$$h_{21Э} \approx 45R_3/(R_{вх} + R_3) \quad (1.9)$$

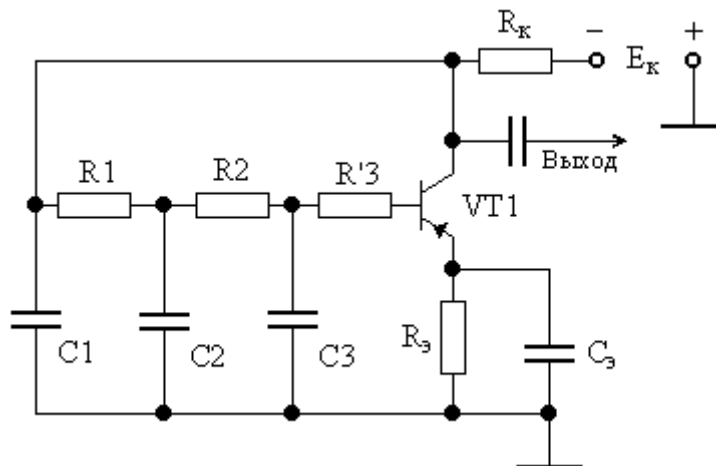
где $h_{21Э}$ - критическое значение коэффициента передачи тока транзистора VT1

Выражение (1.9) имеет минимум тогда, когда $n = R/R_{вх} = 2,7$. В этом случае

$$h_{21Э} \approx 45R_3/(R_{вх} + R_3). \quad (1.10)$$

Из уравнения (1.10) следует, что лишь, при выполнении неравенства $R_{вх} \gg R_3$ требуемое значение коэффициента передачи по току транзистора VT1 может быть минимальным, незначительно превышающим 45.

В схеме RC-генератора с усилителем по схеме с ОЭ, который охвачен ОС с помощью фазирющей цепи "С-параллель" (рис. 1.5), роль первого звена фазирющей цепи выполняет сопротивление коллекторной нагрузки R_K совместно с конденсатором C_1 . Сопротивление R'_3 , включенное последовательно с входным сопротивлением усилительного звена $R_{вх} \approx h_{11Э}$, исключает заметное влияние последнего на частоту генерации. Смещение в цепи базы осуществляется фиксированным током за счет сопротивлений R_1, R_2, R'_3 при наличии коллекторной температурной стабилизации рабочей точки.



Исходя из методов анализа, использованных при получении основных зависимостей

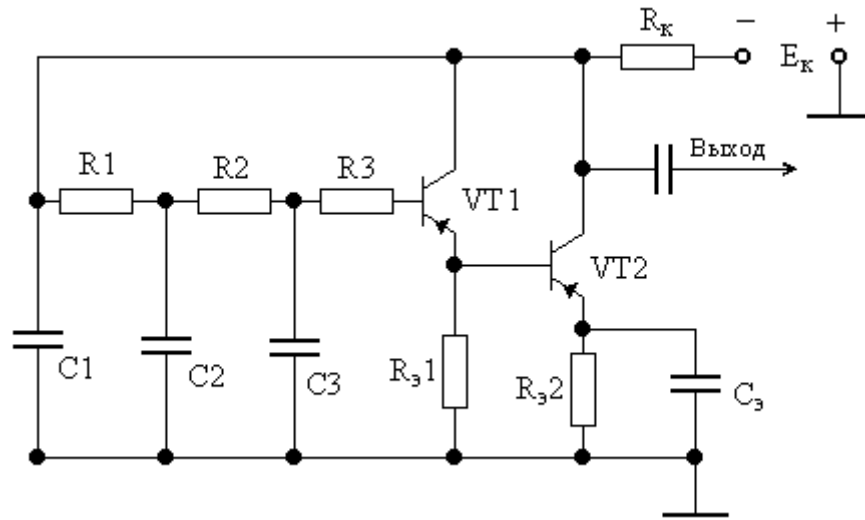
для RC-генератора с цепью "R-параллель", можно получить:

$$f = \frac{1}{2RC\sqrt{43}} \quad (1.11)$$

$$h_{21Э} = 21 + 32m + 3/m \quad (1.12)$$

где $R = R_1 = R_2 = R_3 = mR_K$; $C = C_1/m = C_2 = C_3$; $R_3 = R'_3 + R_{вх}$

При этом $h_{21Э}$ должно быть больше $45 \div 60$, что может быть обеспечено не каждым транзистором. Кроме того, снижение напряжения источника питания приводит к уменьшению $U_{кэ}$, а это в свою очередь к уменьшению $h_{21Э}$, что может вызвать



неустойчивое возбуждение. Указанный недостаток можно устранить, используя согласующий эмиттерный повторитель или двоянный транзистор, по схеме Дарлингтона (рис. 1.6). В данном случае коэффициент передачи по току

$$K_I \approx h_{21Э1} h_{21Э} \quad (1.13)$$

и входное сопротивление составного транзистора равно:

$$R_{вх} \approx h_{11Э1} + h_{21Э1} h_{11Э2} + h_{21Э1} h_{21Э} \quad (1.14)$$

что значительно превышает аналогичные параметры обычного транзистора.

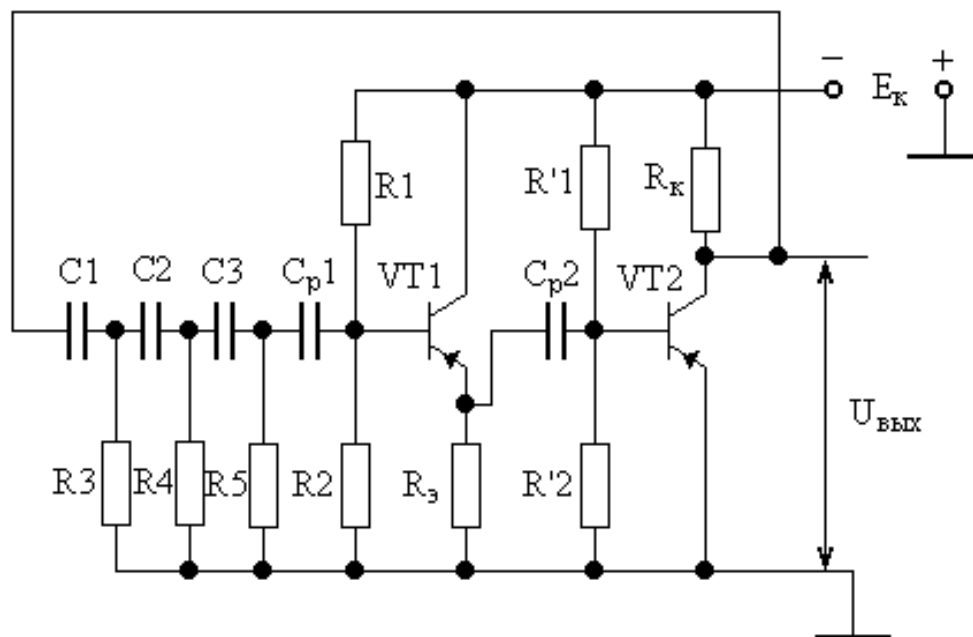
Задания:

Задание №1

Рассчитать транзисторный RC-генератор с фазирующей цепью типа "R-параллель", если частота генерируемых колебаний D Гц. В качестве согласующего звена между усиленным каскадом по схеме ОЭ на транзисторе VT2(Q) и фазирующей цепью использован эмиттерный повторитель на транзисторе VT1(G). Напряжение $E_n = S$ В. Режим работы - НКУ.

Вариант / Данные	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D, Гц	3000	2500	2000	1500	3500	4000	4500	3000	2000	2500	4000
G, тип VT1	МП41	КТ104А	КТ104Г	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104В	КТ104Г
Q, тип VT2	МП41	КТ104А	КТ104Г	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104Г	КТ104А	КТ104В	КТ104Г
S, В	12	24	20	12	15	24	20	15	12	10	12

Электрическая принципиальная схема RC-генератора с ФС "R-параллель":



Контрольные вопросы:

1. Какое устройство называется электронным генератором? Каковы основные признаки генераторов?
2. Что собой представляет структурная схема генератора? Дать определение квази-резонансной частоты.
3. Каковы основные условия возбуждения автогенератора? Дать характеристику баланса амплитуд и фаз.
4. На какие группы подразделяются RC-генераторы? Чем они отличаются друг от друга?

5. Каковы условия самовозбуждения RC-генераторов типа "R-параллель"? Как их выполнить в реальной инженерной практике?
6. Каковы условия самовозбуждения RC-генераторов типа "C-параллель"? Как выполняются условия по улучшению $h_{21Э}$?
7. Какие коррективы необходимо внести в расчет RC-генератора при работе его в широком диапазоне температур?
8. В каких случаях при расчете резисторов RC-генератора стандартные величины округляются в сторону увеличения, а в каких - уменьшения?

Практическая работа №7. Логические функции и логические элементы. Мультивибраторы и одновибраторы.

Цель: приобрести навыки расчета генераторов импульсных сигналов

Основы теории:

Генераторы импульсных сигналов (или генераторы импульсов-ГИ) предназначены для получения от источника электропитания (ИП) электрических колебаний резко несинусоидальной формы, называемых релаксационными. Для таких колебаний характерно наличие участков сравнительно медленного изменения напряжения и участков, на которых напряжение изменяется скачкообразно. В этом случае закон изменения напряжения (тока) приближенно описывается функцией с разрывом первого рода. Для ГИ характерно наличие внешней или внутренней положительной обратной связи (ПОС), обуславливающей возможность их самовозбуждения и лавинообразной (регенеративный) процесс перехода активных элементов генератора из одного состояния в другое. ГИ подразделяются на генераторы прямоугольных, трапециидальных, треугольных, пилообразных и некоторых других форм. Чаще всего в импульсной технике используются ГИ прямоугольных и пилообразных импульсов.

ГИ могут работать в трех основных режимах: автоколебательном, ждущем, и в режиме синхронизации. Автоколебательные ГИ после самовозбуждения генерируют последовательность импульсов, параметры которых (амплитуда, длительность, форма) зависят только от параметров схемы генератора. Ждущие (заторможенные) генераторы генерируют импульсы, период повторения которых определяется периодом повторения запускающих импульсов, а параметры каждого импульса (амплитуда, длительность, форма) зависят только от параметров схемы генератора. В режиме синхронизации генератор вырабатывает импульсы, частота которых равна или кратна частоте синхронизации сигнала. Поэтому такие генераторы часто используют в качестве делителей частоты.

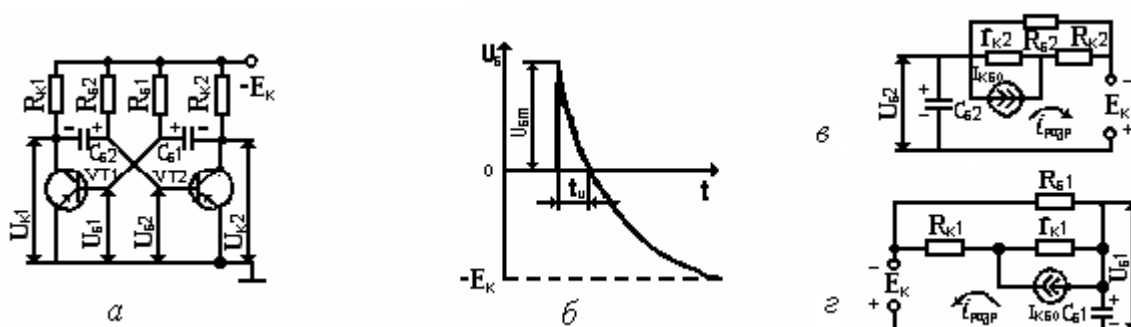
В зависимости от функционального назначения ГИ подразделяются на два основных класса: генераторы прямоугольных импульсов и генераторы пилообразных (линейно-изменяющихся) импульсов. Генераторы прямоугольных импульсов подразделяются на автоколебательные мультивибраторы (МВ), ждущие мультивибраторы (ЖМВ) – или одновибраторы (ОВ), блокинг-генераторы (БГ) – колебательные и ждущие.

Т.е. мультивибраторы относятся к генераторам релаксационного тока у которых форма генерируемых колебаний зависит от реактивных элементов, входящих в схему.

Мультивибраторы широко применяются для получения импульсов напряжения (тока) прямоугольной формы и могут быть использованы в качестве задающих (управляющих) генераторов различных устройств электроники и микроэлектроники. В режиме автоколебаний мультивибратор имеет два состояния квазиравновесия, во время которых в схеме происходят относительно медленные изменения токов и напряжений. Квазиравновесные состояния заканчиваются лавинообразными изменениями токов и напряжений – скачками в схеме. В этом режиме мультивибратор, без воздействия внешних сил. Поочередно переходит скачком из одного состояния квазиравновесия в другое, т.е. является автогенератором.

В ждушем режиме одно состояние равновесия является устойчивым (исходное состояние), другое – квазиустойчивым. Перевод схемы в квазиустойчивое состояние осуществляется внешним запускающим импульсом, а возврат в исходное состояние происходит в результате внутренних процессов. Ждущий режим обычно используется для формирования импульсов заданной формы и длительности.

представляет собой двухкаскадный ключ с ОЭ, с емкостной связью между каскадами и выходом, замкнутым на вход. Схема его представлена на *рис.2.1а*. элементами времязадающих цепей являются $R_{Б1}$, $R_{Б2}$, $C_{Б1}$, $C_{Б2}$.



Мультивибратор обладает двумя состояниями квазиравновесия, в одном состоянии транзистор VT1 закрыт, VT2 – насыщен, в другом – наоборот. При выполнении условий самовозбуждения ($K_1 K_2 \geq 1$ и $\varphi_{к1} + \varphi_{к2} = 2\pi$) возникают скачки, поочередно изменяющие состояние транзисторов, после чего происходит перезаряд одного и заряд другого времязадающего конденсатора.

В мультивибраторе напряжение базы закрытого транзистора при перезарядке конденсатора уменьшается по экспоненте, стремящейся к уровню $-E_k$ (см. *рис.2.1б*). Т.к. мультивибратор работает в автоколебательном режиме, то описание процессов в нем можно начать с любого момента, например, когда VT1 насыщен и VT2 – закрыт. Насыщенный транзистор можно представить эквипотенциальной точкой ($U_{к1} \approx 0$, $U_{Б1} \approx 0$). Напряжение на конденсаторе $C_{Б2}$, заряженном в предыдущем цикле с полярностью, показанной на *рис.2.1а*, приложено между базой и эмиттером транзистора VT2 и удерживает последний в

закрытом состоянии. У VT2 $U_{K2} = -E_K$ и $U_{B2} \approx U_{CБ2}$ в первоначальный момент близко к $+E_K$, а затем начинает уменьшаться по экспоненциальному закону вследствие перезаряда конденсатора $C_{Б2}$ перезаряд осуществляется по цепи:

корпус—ЭК VT1— $C_{Б2}$ — $R_{ЭКБ2}$ — $(-E_K)$.

Эквивалентные схемы цепи перезаряда $C_{Б2}$ с $C_{Б1}$ изображены на *рис.2.1 в* и *г* соответственно. Из *рис.2.1 в*:

$$R_{ЭКБ2} = [(r_{K2} + R_{K2})R_{Б2}] / (r_{K2} + R_{K2} + R_{Б2}).$$

В это же время конденсатор $C_{Б1}$ заряжается по цепи:

ЭБ VT1— $C_{Б1}$ — R_{K2} — $(-E_K)$

с полярностью, показанной на *рис.2.1 а*. Элементы схемы выбираются таким образом, чтобы процесс заряда $C_{Б1}$ протекал быстрее, чем перезаряд $C_{Б2}$, После окончания заряда $C_{Б1}$ VT1 удерживается в насыщении за счет протекания базового тока

$$I_{Б1} \geq I_{БН} = E_K / R_{Б1}, \text{ достаточного для насыщения.}$$

По мере перезаряда $C_{Б2}$ напряжение на нем уменьшается и в некоторый момент времени становится равным нулю. С этого момента начинает развиваться лавинообразный процесс опрокидывания схемы. VT2 начинает открываться, напряжение на его коллекторе возрастает (т.е. убывает по абсолютной величине). Положительное приращение ΔU_{K2} через $C_{Б1}$ передается на базу VT1, вызывая его запираение. Это приводит к уменьшению U_{K1} (т.е. увеличению коллекторного напряжения по абс. величине), возникновению отрицательного приращения ΔU_{K1} , которое через $C_{Б2}$ попадает на базу VT2, содействуя его отпиранию. В результате VT2 насыщается, а VT1- запирается. При этом конденсатор $C_{Б2}$ заряжается по цепи:

корпус—ЭБ VT2— $C_{Б2}$ — R_{K1} — $(-E_K)$).

Одновременно с зарядом $C_{Б2}$ происходит более медленный процесс перезаряда $C_{Б1}$ согласно эквивалентной схеме перезаряда (см. *рис.2.1 г*). Далее процесс повторяется, подобно описанному выше. Временные диаграммы изменения коллекторных и базовых напряжений изображены на *рис.2.2*. Здесь под длительностью импульса $t_{и}$ понимается время открытого состояния одного или другого транзистора. Тогда $t_{и2}$ определяется временем перезаряда конденсатора $C_{Б1}$ через открытый VT2 и сопротивление $R_{ЭКБ1}$, т.е.

$$t_{и} = C_{Б1} R_{ЭКБ} \ln[(2E_K + I_{КБ0} R_{ЭКБ1}) / (E_K + I_{КБ0} R_{ЭКБ1})], \quad (2.1)$$

где $R_{ЭКБ1} = (r_{K1} + R_{K1})R_{Б1} / (r_{K1} + R_{K1} + R_{Б1})$ согласно эквивалентной схеме *рис.2.1 г*.

Так как сопротивление коллектора закрытого транзистора r_{K1} лежит обычно в пределах $10^5 \div 10^6$ Ом и $r_{K1} \gg R_{K1}$, то R_{K1} можно пренебречь. Кроме того, для повышения температурной стабильности $R_{Б1} \ll r_{K1}$. С учетом этих допущений (2.1) можно

упростить (можно учесть также, что в большинстве случаев выполняется условие $E_K \gg I_{КБ0}R_{Б1}$):

$$t_{и2} \approx C_{Б1} R_{Б1} \ln 2 = 0,7 C_{Б1} R_{Б1} \quad (2.2)$$

Аналогично для VT1: $t_{и1} \approx C_{Б2} R_{Б2} \ln 2 = 0,7 C_{Б2} R_{Б2}$ (2.3)

Исходя из того, что $T = t_{и1} + t_{и2}$, можно записать:

$$T = C_{Б2} R_{Б2} \ln 2 + C_{Б1} R_{Б1} \ln 2 = 0,7(C_{Б2} R_{Б2} + C_{Б1} R_{Б1}) \quad (2.4)$$

В случае симметричного мультивибратора, у которого

$C_{Б1} = C_{Б2} = C_B$, $R_{Б1} = R_{Б2} = R_B$, $R_{К1} = R_{К2} = R_K$, $t_{и1} = t_{и2}$, период повторения равен:

$$T = 2t_{и1} = 1,4 C_B R_B \quad (2.5)$$

Амплитуда импульса на коллекторе насыщенного транзистора

(по абсолютному значению напряжения на закрытом тран-

зисторе) равна: $U_m = E_K - I_{КБ0}R_K \approx E_K$ (2.6)

Скважность $Q \approx (t_{и1} + t_{и2}) / t_{и1} = 1 + (t_{и1}/t_{и2})$ ограничивается временем полного заряда конденсатора с большей емкостью через соответствующее сопротивление. Поэтому максимальная скважность не превышает величины $Q_{\max} \approx [h_{21э}/(3 \div 5)] + 1$. Для низкочастотных транзисторов **малой** мощности максимальная скважность не превышает, как правило, 10.

Длительность фронта импульсов $t_f = \tau_\beta + C_K R_K$ и в основном зависит от частотных свойств транзистора.

Длительность среза импульса $t_c \approx 3C_B R_K$ определяется временем заряда времязадающего конденсатора (длительность среза t_c во много раз больше t_f).

Для насыщения транзисторов следует выполнять условия:

$$R_{Б1} \leq h_{21э} R_{К1}; \quad R_{Б2} \leq h_{21э} R_{К2} \quad (2.7)$$

при этом для удовлетворения противоречивых требований неравенства не должны быть сильными, т.е. транзисторы должны работать в режиме насыщения, но вблизи границы с активной областью.

Таким образом, порядок расчета симметричного мультивибратора с КБ связями следующий:

- определяется напряжение источника питания E_K

$$E_K = (1,1 \div 1,2) U_m; \quad (2.7a)$$

- выбираются транзисторы VT1 и VT2 из условий:

$$f_\alpha = \frac{1}{2\pi t_\phi} \text{ и } U_{КДМ} \geq 2 E_K \quad (2.8)$$

- из справочных данных определяется тип транзистора, его максимально допустимые $U_{Кдоп}$, $I_{Кдоп}$, f_K , $h_{21э}$

- определяется сопротивление коллекторной цепи R_K ;

$$R_K = E_K / I_{KH} \quad (2.9)$$

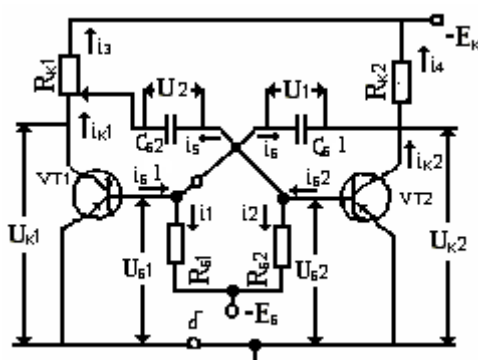
- выбирается стандартное значение сопротивления резистора и его мощность с учетом соответствующих коэффициентов нагрузки;
- по формуле (2.7) определяем R_B , его мощность и стандартное значение;
- по формуле (2.5) определяем значение C_B , определяем величину напряжения на нем и стандартное значение емкости конденсатора.

Мультивибратор с КБ емкостными связями и дополнительным источником смещения.

Схема мультивибратора представлена на *рис. 2.3а*, а временные диаграммы на *рис. 2.3б*.

Транзисторы мультивибратора VT1 и VT2 поочередно закрываются и открываются. Пусть при $t=t_0$ (рис.2.3б) VT1 закрылся, а VT2- открылся. Начиная с этого момента конденсатор C_{B2} заряжается от источника E_K через: R_{K1} -БЭ VT2, а C_{B1} разряжается по цепи: R_{B1} -ЕБ -открытый VT2. Постоянные времени цепей заряда и разряда соответственно равны:

$$\tau_3 = R_{K1} C_{B2} \text{ и } \tau_P = R_{B1} C_{B1}.$$



По мере заряда конденсатора C_{B2} , ток, протекающий по сопротивлению R_{K1} , уменьшается. Вследствие этого коллекторное напряжение $U_{K1} = -E_K + i_3 R_{K1}$, изменяясь по экспоненциальному закону, становится более отрицательным. Спустя промежуток времени, примерно равный $3\tau_3$, процесс заряда практически заканчивается и напряжение U_{K1} становится равным $-E_K$.

Разрядный ток конденсатора C_{B1} , протекающий по сопротивлению R_{B1} , также уменьшается по экспоненциальному закону, стремясь к нулю. Поэтому положительное напряжение на базе закрытого VT1 $U_{B1} = E_B + i_1 R_{B1}$ уменьшаясь, стремится к значению, равному по абсолютной величине E_B . При $t=t_1$ оно становится равным нулю и ранее закрытый транзистор VT1 открывается. Вследствие сильной ПОС в мультивибраторе возникает лавинообразный процесс, приводящий к полному отпиранью VT1 и запиранью VT2, конденсатор

C_{B1} заряжается от источника E_k через: R_{k2} -БЭ VT1, а конденсатор C_{B2} разряжается. Разрядный ток протекает по R_{B2} и создает на нем падение напряжения, которое поддерживает VT2 в закрытом состоянии.

При $t=t_2$ напряжение $U_{B2}=-E_B+i_2R_{B2}$ из-за уменьшения разрядного тока i_2 становится равным нулю. В мультивибраторе вновь возникает лавинообразный процесс и после этого цикл работы повторяется. Во всех вариантах авто колебательных мультивибраторов под длительностью коллекторных импульсов $t_{и1}$, $t_{и2}$ разделенных интервалами $t_{п1}$, $t_{п2}$ (рис.2.36) будем понимать те промежутки времени, в течение которых соответствующие транзисторы находятся в закрытом состоянии. Длительность фронтов (передних фронтов) $t_{ф1}$, $t_{ф2}$, задних (спады) - через $t_{с1}$, $t_{с2}$.

Расчет мультивибратора с КБ емкостными связями и источником смещения E_B производится в следующей последовательности:

(исходными данными являются период колебаний T , скважность импульсов $Q=T/t_{и}$, их амплитуда U_m , длительность задних фронтов t_c)

- предъявляются требования к транзисторам, исходя из следующих требований:

$$U_{БК} \geq 2E_k \approx 2U_m, \quad h_{21Э} \geq 3 \frac{(Q-1)N}{L_{и1}} \cdot \frac{E}{E_B}, \quad (2.10)$$

где N -степень насыщения (рекомендуется $2 \div 3$), $E_B=(0,2 \div 0,6)E_k$;

- рассчитываются коллекторные и базовые сопротивления и выбираются (с учетом стандартных рядов и коэффициентов запаса) резисторы

$$R_{K1} = R_{K2} = \frac{U_m^2}{P_K} \cdot \frac{Q-1}{Q}, \quad (2.11)$$

Где P_K - мощность, выделяемая на резисторах (для маломощных резисторов P_K может быть выбрано 0,125 Вт);

- из условий насыщенного режима рассчитываем базовые сопротивления:

$$R_{B1} = R_{B2} = \frac{h_{21Э} E}{(Q-1) \left[\frac{E}{R_K} - (h_{21Э} + 1) E_B \right]} \quad (2.12)$$

выбираем соответствующие резисторы;

- рассчитываем емкости базовых конденсаторов по следующим выражениям:

$$C_B = \frac{t_{и}}{R_B \left(1 + \frac{E_k}{E_B + I_{KB} R_B} \right)} \quad (2.13)$$

$$C_B = \frac{T_{\text{н}}}{R_B \left(1 + \frac{F_k}{F_B + k_{\text{ББ}}} \right)} \quad (2.14)$$

Выбираем ближайшие стандартные величины:

- проверяем обеспечение заданной длительности задних фронтов генерируемых импульсов по выражению:

$$t_{\text{Б}} = \frac{h_{\text{Б}} R_B}{h_{\text{Б}} R_B + F_B} \quad (2.15)$$

$r_{\text{вх}}$ - входное сопротивление транзистора, $\tau_{\text{Б}}$ - постоянная времени

транзистора, зависящая от его граничных частот, $\tau_{\text{Б}} = \frac{1}{\omega_{\text{Б}}} = \frac{h_{\text{Б}}}{\omega_{\alpha}}$,

$\omega_{\text{Б}}, \omega_{\alpha}$ - граничные частоты в схеме с общим эмиттером и общей базой соответственно.

Расчетная величина $t_{\text{с}}$ должна быть меньше заданной.

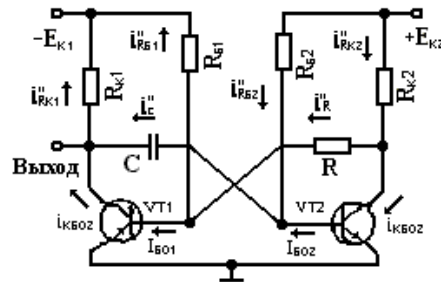
Мультивибратор на транзисторах с проводимостью разного типа.

В отличие от мультивибратора на транзисторах однотипной проводимости в мультивибраторе на транзисторах с проводимостью разного типа во время релаксации оба транзистора оказываются одновременно либо открытыми, либо закрытыми. Благодаря этому свойству такие мультивибраторы оказываются более энергетически выгодными при условии, что длительность формируемого импульса значительно меньше периода следования выходных импульсов. С увеличением скважности выходных импульсов это преимущество проявляется в более сильной степени. Кроме того, мультивибратор на транзисторах с проводимостью разного типа могут иметь только одну времязадающую емкость в отличие от мультивибратора с транзисторами однотипной проводимости, где используются два времязадающих емкостных элемента. К недостаткам мультивибратора на транзисторах с проводимостью разного типа следует отнести (кроме отсутствия взаимозаменяемости транзисторов) необходимость иметь в ряде устройств два источника электропитания различной полярности, хотя имеются мультивибраторы, в которых используется только один источник. К основным схемам рассматриваемых мультивибраторов следует отнести:

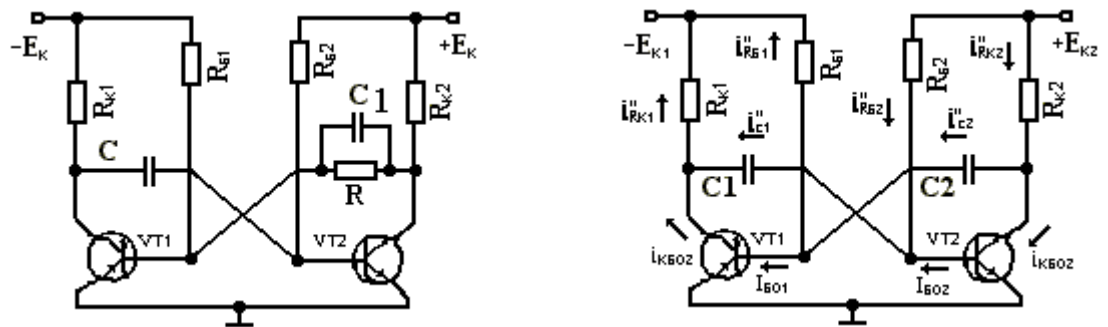
- мультивибратор с резистивной и емкостной связями и двумя источниками электропитания (рис. 2.4);

- мультивибратор с емкостной и резистивно-емкостной связями и двумя источниками коллекторного питания (рис.2.5);

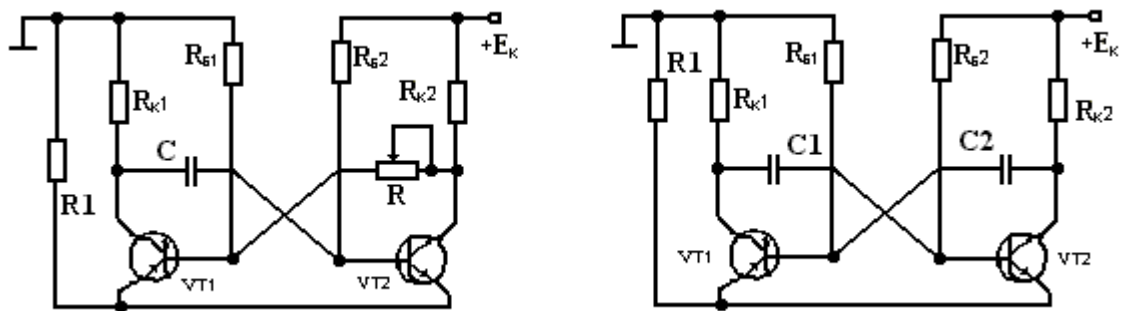
- мультивибратор с емкостными связями и двумя источниками коллекторного питания (рис.2.6);
- мультивибратор с емкостной и резистивной связями и одним источником электропитания (рис.2.7);
- мультивибратор с емкостными связями и одним источником электропитания (рис.2.8);
- мультивибратор с эмиттерными источниками электропитания (например, с емкостными связями - рис.2.9).



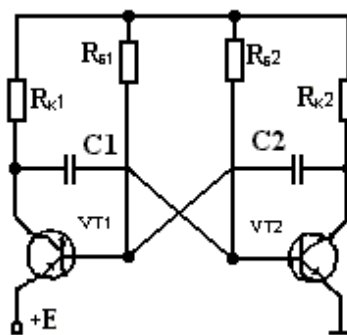
Схемы перечисленных мультивибраторов приводятся ниже. Все эти мультивибраторы работают в автоколебательном режиме. Во всех мультивибраторах в качестве времязадающей используется только одна емкость, а другая выполняет роль переходной. В частности, на рис. 2.6, 2.8, 2.9 времязадающей является та из емкостей $C1$ или $C2$, которая включена в цепь с меньшей постоянной времени разряда, а другая используется в качестве ускоряющей (форсирующей режим опрокидывания мультивибратора). Аналогично конденсатор $C1$ на рис.2.5 также выполняет роль ускоряющего.



Во всех приведенных схемах R_{B1} и R_{B2} используются для создания необходимого базового смещения. Некоторые из них выполняют роль времязадающих сопротивлений. Резисторы $R1$ на рисунках 2.7 и 2.8 предназначены для обеспечения устойчивой работы мультивибратора при закрытых транзисторах и дают путь прохождения обратным эмиттерным токам транзисторов.



Принцип работы мультивибратора с транзисторами разнотипной проводимости рассмотрим на примере схемы рис.2.4. Временные диаграммы работы мультивибратора представлены на рис.2.10.



Пусть в момент t_0 оба транзистора закрыты. Направление токов в мультивибраторе для этого случая показано на рис.2.4. Конденсатор C в данный момент заряжен таким образом, что на базе $VT2$ действует запирающий потенциал отрицательной полярности относительно общей точки. Конденсатор заряжается по цепи: $+E_{K2} \rightarrow R_{B2} \rightarrow C \rightarrow R_{K1} \rightarrow [-(E_{K1})]$. Напряжения на коллекторах $VT1$ и $VT2$ соответственно U_{C1} и U_{C2} . В этом состоянии мультивибратора обратные токи, протекающие через транзисторы, весьма малы.

Кроме того, параметры элементов мультивибратора рассчитываются таким образом, чтобы выполнялись соотношения

$R + R_{B1} \gg R_{K2}$ и $R_{B2} \gg R_{K1}$. В связи с тем, что токи, протекающие по коллекторным сопротивлениям невелики, то и напряжения на коллекторах $VT1$ и $VT2$ незначительно (не более, чем на $5 \pm 10\%$) отличаются от напряжений источников питания.

В рассматриваемом квазистационарном состоянии мультивибратора разряд конденсатора C производится по цепям: через R_{B2} , R_{K1} и $-E_{K1}$ и $+E_{K2}$; через БЭ закрытого $VT2$ и КЭ закрытого $VT1$. Поскольку токи через переходы закрытых транзисторов чрезвычайно малы, то постоянная времени разряда конденсатора равна:

$$\tau \approx (R_{B2} + R_{K1}), \quad (2.16)$$

В ходе процесса разряда конденсатора напряжение на базе VT2 повышается и в момент t_1 напряжение на базе VT2 достигает значения U_{B02} , при котором транзистор открывается. С открыванием VT2 начинает уменьшаться напряжение на его коллекторе, уменьшается ток через резистор R и напряжение на базе VT1, однако последний продолжает оставаться в закрытом состоянии, поскольку его напряжение ЭБ превышает U_{B01} . С открыванием VT2 ток, протекающий по R_{B2} все в большей степени ответвляется в базу VT2, соответственно уменьшается доля тока, ответвляющегося в емкостную цепь, а напряжение на базе VT2 изменяется незначительно.

В момент t_2 напряжение на базе VT1, уменьшаясь, достигает напряжения U_{B01} и VT1 начинает открываться. Теперь оба транзистора открыты, рабочие точки их находятся в активной области характеристик, резко повышается коэффициент усиления петли разомкнутой ОС. В мультивибраторе начинается лавинообразный процесс опрокидывания в другое квазистойчивое состояние. При этом с уменьшением базового потенциала транзистора VT1 повышается потенциал его коллектора. Положительный скачок коллекторного напряжения передается через C на базу VT2, еще больше открывая его. Во время лавинообразного процесса формируется положительный выброс напряжения на базе VT2. В результате лавинообразного процесса оба транзистора мультивибратора открываются, а VT2 к тому же и насыщается. Токи имеют индекс i'' (в закрытом состоянии i').

Конденсатор C начинает перезаряжаться по цепям: БЭ открытого VT2 и ЭК открытого VT1, через R_{B2} , R_{K1} и источники питания. Так как $R_{K1} + R_{B2} \gg r_{BЭ2}$ и $r_{ЭК1}$, то постоянная времени разряда:

$$\tau_p \approx (R_{B2} + R_{K1})C \quad (2.17)$$

где $r_{BЭ2}$ - сопротивление перехода база-эмиттер VT2, $r_{ЭК1}$ - сопротивление перехода эмиттер-коллектор VT1.

С разрядом C напряжение на базе VT2 быстро уменьшается (см. положительный выброс на диаграмме U_{B2} рис.2.10), уменьшается базовый ток VT2, однако его коллекторный ток заметно не уменьшается. Разряд C производится в промежутке $t_2 - t_3$. В момент t_3 начинается процесс рассасывания неосновных носителей в области базы VT2, который длится до момента t_4 . В промежутке времени $t_3 - t_4$ VT2 выходит из насыщения и в момент t_4 одновременно с уменьшением базового тока резко уменьшается и его коллекторный ток. Начинается лавинообразный процесс перехода мультивибратора в другое квазистойчивое состояние. Напряжение на коллекторе VT2 повышается, увеличивается ток i''_R , протекающий через резистор R, снижается ток i''_{B1} , потенциал коллектора VT1 снижается, отрицательный

скачек коллекторного напряжения через С передается на базу VT2, закрывая его. Повышается напряжение на коллекторе VT2 и, соответственно, на базе VT1, еще больше закрывая VT1 и т.д. В результате этого лавинообразного процесса оба транзистора полностью закрываются.

Стадия релаксации τ_2 (см. рис. 2.10) определяется следующей зависимостью:

$$\tau_2 \approx \tau_p \frac{I_{\text{ЭВ}}}{I_{\text{ЭВ}} - I_{\text{ЭВ}}'} \quad (2.18)$$

где τ_p определяется из выражения (2.16).

Период колебаний мультивибратора равен

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3, \quad (2.19)$$

где τ_1 - длительность импульса на коллекторе VT1, τ_2 - длительность стадии релаксации, τ_3 - длительность состояния, когда VT2 открыт, а VT1 еще закрыт.

Ждущие мультивибраторы (ЖМВ) – одновибраторы (ОВ)

Одновибраторы предназначены для формирования прямоугольных импульсов с заданной длительностью и амплитудой. Кроме того, с помощью одновибратора можно задерживать импульс на заданное время. Одним из вариантов одновибратора является несимметричный мультивибратор с эмиттерной связью. Схема такого одновибратора содержит двухкаскадный ключ с ПОС. Одна из связей между каскадами осуществляется с помощью конденсатора, другая - с помощью общего резистора. Схема одновибратора изображена на рис. 2.11а, временные диаграммы – на рис. 2.11б.

С помощью резистора R_3 без дополнительного источника смещения можно обеспечить одно устойчивое состояние при закрытом транзисторе VT1 и насыщенном VT2. Плавное изменение длительности импульсов осуществляется с помощью коллекторного потенциометра R_{K1} .

Принцип работы одновибратора заключается в следующем. В исходном установившемся состоянии ток конденсатора C_B равен нулю. Поэтому транзистор VT2, база которого соединена с резистором R_B и источником отрицательной полярности E_K , открыт. Через R_3 протекает ток $I_{Э2}$ VT2, создающий напряжение для запирающего VT1. При закрытом VT1 в исходном состоянии конденсатор C_B заряжен до напряжения $E_K - R_3 I_{Э2}$. При открытии VT1 запускающим импульсом конденсатор C_B начинает разряжаться, обуславливая уменьшение тока эмиттера VT2. Это приводит к еще большему увеличению токов VT1. Поэтому при запуске одновибратора развивается лавинообразный процесс, в результате которого VT1 переходит в открытое, а VT2 – закрытое состояние. Разряжающийся через резистор $R_B - E_K - R_3$ КЭ VT1 конденсатор будет поддерживать VT2 в закрытом состоянии до тех пор пока

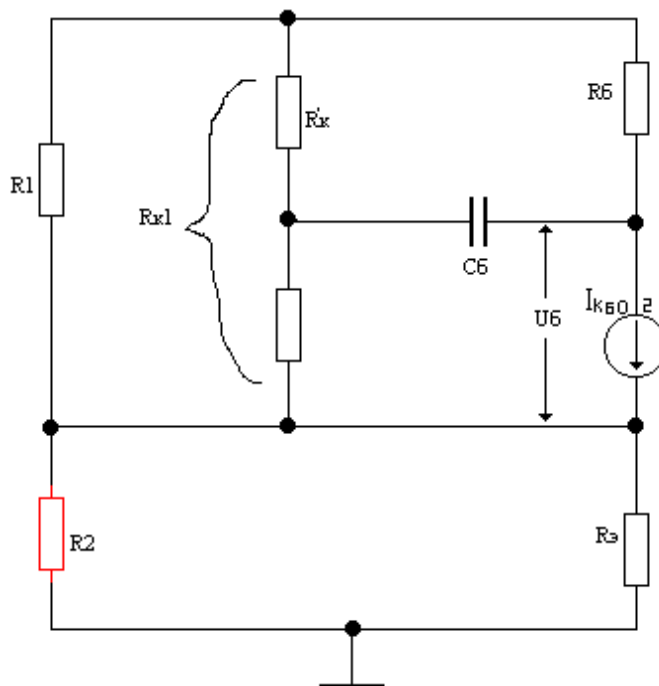
напряжение на его базе не приблизится к нулю. После этого транзистор VT2 начнет открываться, вызывая закрывание VT1. С_Б восстанавливает исходный заряд, заряжаясь от Е_К через R_Э ЭБ VT2-R_{К1}.

Амплитуда импульса на коллекторе выходного транзистора (U_{К2}) – см. рис. 2.11б, если обеспечивается насыщенный режим VT2, определяется так:

$$U_{m2} = E_k \frac{R_2}{R_2 + R_3} \quad (2.41)$$

Амплитуда импульса на R_Э:

$$U_{m3} = E_k \frac{R_2}{R_2 + R_3} \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (2.42)$$



Исходя из эквивалентной схемы разряда конденсатора (рис. 2.12), длительность выходного импульса одновибратора определяется из следующего выражения:

$$t_u = C_B R_B \ln \left[\frac{E_k R_2 (R_3 + R_2)}{R_3 (R_2 + R_3)} \frac{E_k + R_3 I_{kБ02}}{E_k} \right]$$

где $a = R_{K1}/R_{K1}$.

Из формулы (2.43) видно, что при $R_{K2} \gg R_3$ и $R_{K1} \gg R_3$ зависимость $t_u(a)$ может быть получена достаточно линейной.

При указанных выше условиях и когда $E_k \gg R_B I_{kБ02}$

$$t_u = C_B R_B \ln(1+a)$$

При малом a (по сравнению с единицей)

$$t_{и} = C_B R_{Ба}$$

Зависимость (2.43) можно упростить, воспользовавшись неравенствами: $R_{K2} \gg R_Э$ и $R_{K1} \gg R_Э$. Тогда при $a=1$ (т.е. нахождении движка в крайнем нижнем положении)

$$t_{и} \approx \frac{C_B R_{Ба}}{1 - \frac{E_K}{E_K + R_{K1}}}$$

С учетом допущений, сделанных к (2.44) можно получить величину неустойчивости длительности импульса

$$\delta t_{и} \approx \delta \frac{R_{Ба} R_{КБ}}{E_K + R_{K1}}$$

от температуры (выраженную в % или абсолютных единицах).

Время восстановления одновибратора определяется временем заряда конденсатора C_B :

$$t_{в} = (4 \div 5) C_B (R_{K1} + R_Э).$$

Наибольшая скважность импульсов $Q = 1 + \frac{t_u}{t_B}$ при $I_{КБ0} \approx 0$ с учетом (2.45) и (2.47) – при условии насыщения VT2 :

$$Q \approx \frac{0,7 R_{Ба}}{(4 \div 5) R_{Ба}}$$

Длительность фронта импульса на коллекторе VT2 при отпирании

$$t_{ф} \approx \tau_{20} \frac{R_{Ба}}{R_{Ба} + R_Э}$$

длительность среза импульса

$$t_c \approx \tau_{20} \frac{R_{Ба}}{R_{Ба} + R_Э}$$

Условие насыщения транзистора VT1 имеет вид:

$$R_Э \leq \frac{h_{21} R_{Ба}}{h_{21} R_{Ба} - R_К}$$

Закрытое состояние VT1 обеспечивается при выполнении неравенства:

$$R_Э \geq \frac{h_{21} (R_{Ба} - R_К)}{1 - (R_{Ба} + R_Э) \frac{h_{21} I_{КБ0}}{E_K}}$$

Амплитуда запускающего (отпирającego) импульса, подаваемого на вход одновибратора:

$$U_{\text{зап}} = \frac{E_k R_3 R_4}{R_2 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4}$$

где $t_{\text{изап}}$ – длительность запускающего импульса, $R_{\text{зап}}$ – внутреннее сопротивление генератора запускающих импульсов, $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление отпирающего транзистора,

$$U_{\text{зап}} = \frac{E_k R_3 R_4}{R_2 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4}$$

- напряжение, запирающее транзистор.

Длительность запускающего (отпирающего) импульса должна быть (неравенство не-
сильное)

$$t_{\text{зап}} \geq \frac{E_k R_3 R_4}{R_2 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4}$$

Если запирающий импульс подается на вход VT2, то он должен иметь длительность:

$$t_{\text{зап}} \geq \frac{E_k R_3 R_4}{R_2 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_3 + R_1 R_2 R_4 + R_1 R_3 R_4}$$

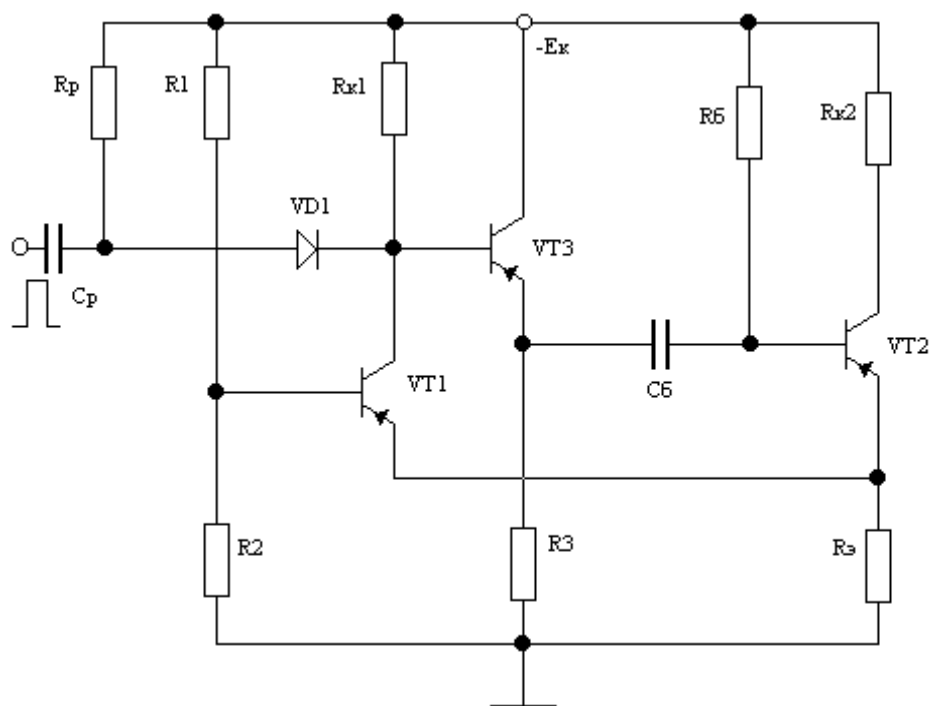
и амплитуду $U_{\text{зап}} = \frac{R_3 R_4 E_k}{t_{\text{изап}} R_2}$

Время задержки срабатывания одновибратора примерно равно величине $t_{\text{изап}}$, определяемой по формуле (2.57) с учетом выражения (2.54).

Порядок расчета одновибратора следующий:

- при заданной нестабильности длительности импульса по формуле (2.46) рассчитывают сопротивление R_B ;
- по формуле (2.53) определяют сопротивление R_{k2} ;
- по заданной амплитуде выходного импульса U_{m2} , известному напряжению E_k и рассчитанному значению R_{k2} определяют сопротивление R_3 ;
- задаются сопротивлением $R_{k1} \approx (1,5 \div 2) R_{k2}$;
- по формулам (2.51) и (2.52) рассчитывают сопротивления R_2 и R_1 ;
- по формуле (2.43) определяют емкость конденсатора C_B ;
- по формулам (2.54) и (2.58) определяют параметры запускающего импульса.

Схема рис.2.11а обладает тем недостатком, что максимально допустимая скважность лежит в пределах 3-4 и рассчитывается по формуле (2.42). Для увеличения скважности Q



дополнительный эмиттерный повторитель для осуществления связи коллектора VT1 с базой VT2. Такой вариант построения с диодным запуском положительным импульсом показан на рис.2.13. Диодный запуск обладает тем преимуществом, что в процессе опрокидывания диод VD1 отключает одновибратор от цепи запуска, тем самым повышая его устойчивость.

Время восстановления в этом случае определяется так: наибольшая скважность

$$Q = \frac{C_p R_{22} R_{k2}}{(4 + \beta_{22} R_{k2} + R_{22}) C_p}$$

где $R_{22} \approx 15 \div 20 \text{ Ом}$.

Длительность фронта

$$t_{\text{ф}} = \tau_{\beta 2} \frac{R_3 + R_{k2} + \frac{R_{k2}}{\beta_{22}}}{h_{22} (R_2 + R_3)}$$

где $\tau_{\beta 2}$ определяется, как показано в (2.49):

Длительность среза

$$t_{\text{с}} = \tau_{\beta 2} \frac{R_3 + R_{k2} + \frac{R_{k2}}{\beta_{22}}}{h_{22} (R_2 + R_3)}$$

где $\tau'_{\beta 2}$ определяется аналогично, как в (2.50).

Задания:

Задание №1

Рассчитайте симметричный мультивибратор с КБ емкостными связями при следующих исходных данных: амплитуда выходного импульса $U_m = C$ В, частота выходных импульсов $f = D$ кГц, длительность фронта $t_f = E$ мкс.

Варианты/ данные	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C, В	10	12	15	20	27	20	15	12	10	27	24
D, кГц	1,0	1,5	0,9	0,85	1,2	1,0	1,3	1,0	0,9	1,0	1,5
E, мкс	1,5	1,6	1,7	1,8	1,5	1,4	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8

Контрольные вопросы:

1. Какие колебания называются релаксационными? Что представляет собой регенеративный процесс?
2. Как подразделяются генераторы по форме импульсов?
3. Дать описание основных режимов работы ГИ.
4. Чем отличается режим автоколебаний от ждущего режима?
5. Описать принцип работы мультивибратора с КБ емкостными связями
6. Какие допущения приняты при использовании в расчете элементов мульти вибратора в эквивалентных схемах?
7. По каким цепям происходит заряд и перезаряд конденсаторов $C_{б1,2}$?
8. Указать основные моменты порядка расчета мультивибратора с КБ емкостными связями.
9. Описать принцип работы мультивибратора с КБ связями и дополнительным источником смещения.
10. Указать последовательность расчета элементов и параметров мультивибратора с КБ связями и дополнительным источником смещения.
11. В чем заключается преимущество и каковы недостатки мультивибратора на транзисторах с проводимостью разного типа?
12. Каков порядок расчета элементов и параметров одновибратора?
13. Как в одновибраторе регулируется ширина импульса?
14. Зачем нужен в мультивибраторе и одновибраторе эмиттерный повторитель?

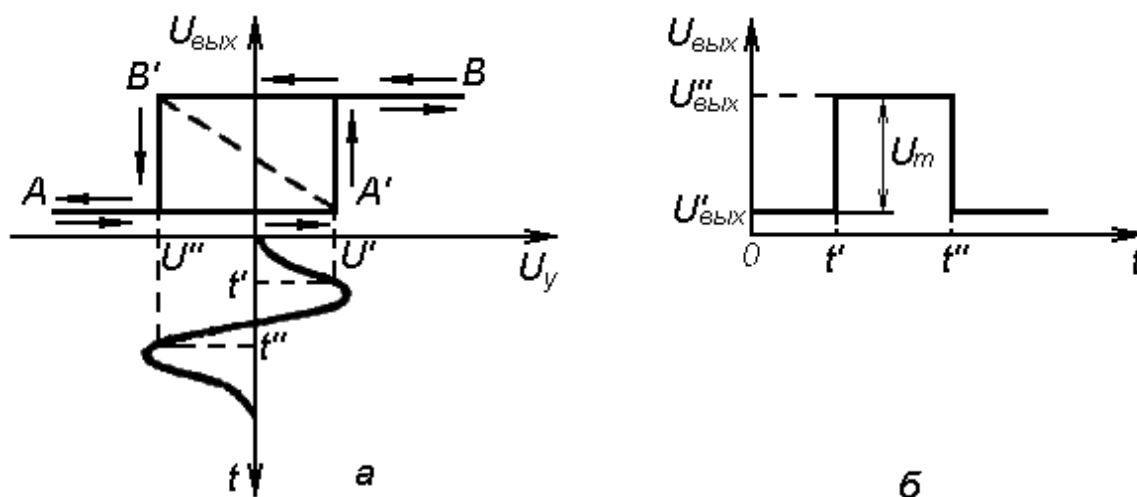
Практическая работа №8. Триггеры и цифровые автоматы. Триггеры.

Цель: получить практические навыки расчета триггеров

Основы теории:

Триггером называется устройство с двумя устойчивыми состояниями равновесия. Схема триггера представляет собой не инвертирующий усилитель постоянного тока выход, которого замкнут на вход. Переход триггера из одного устойчивого состояния в другое (опрокидывание) происходит при воздействии внешнего (пускового) импульса. Опрокидывание триггера, как правило, сопровождается лавинообразным изменением токов и напряжений, если коэффициент усиления цепи обратной связи более единицы, т.е. обратная связь положительная. Если каскады триггера выполнены на идентичных схемах и элементах, то такой триггер называют симметричным, в противном случае – несимметричным.

Одной из основных характеристик триггера является его пусковая характеристика, т.е. зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от управляющего напряжения U_y на входе. В конечном итоге – триггер — это устройство с ПОС, имеющее два состояния устойчивого равновесия и возможность переходить из одного устойчивого состояния в другое под воздействием управляющего напряжения U_y при достижении им пороговых уровней U и $U_{\square}$. Пусковая характеристика приведена на рис. 3.1а, а зависимость $U_{\text{вых}}(t)$ – на рис. 3.1б.



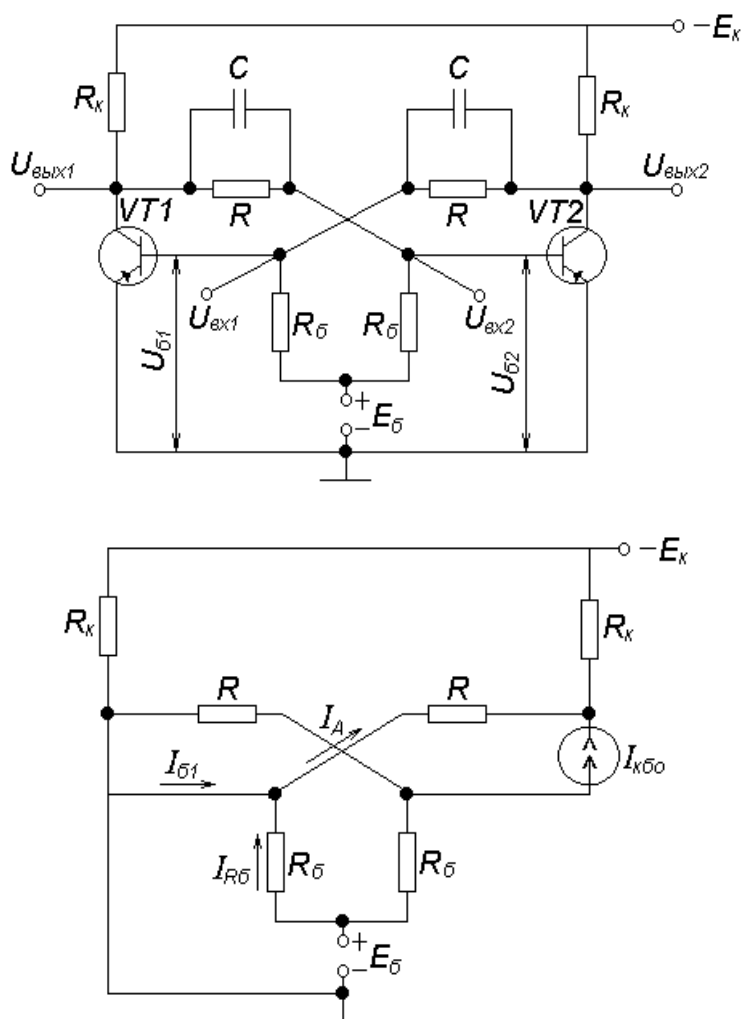
Пусковая характеристика: а) – зависимость напряжения $U_{\text{вых}}$ от управляющего U_y на входе. Эта характеристика обладает гистерезисными свойствами. Ширина области гистерезиса $U_T = U_{\square} - U_{\square}$. Участки пусковой характеристики AA' и BB' соответствуют двум устойчивым состояниям равновесия триггера, а точки A и B являются пороговыми значениями управляющего напряжения. На участке $A \square B$ с отрицательной крутизной характеристики (падающий участок) триггер имеет устойчивое состояние равновесия, сопровождающееся

лавинообразными изменениями (скачками) напряжений и токов. Управляющее напряжение, вызывающее срабатывание (опрокидывание) триггера, может представлять собой непрерывно изменяющееся напряжение или импульс, а выходное напряжение имеет вид скачков напряжения рис.3.1б.

Основний елемент тригера, як правило, багатокаскадний ключ з ПОС. Основне вид симетричних тригерів – тригер з зовнішнім джерелом зміщення, тригер з автоматичним джерелом зміщення, тригер з нелінійною обраною сув'язь. Основним видом несиметричних тригерів являться тригер з еміттерною зв'яззю (тригер Шмитта).

Симметричный триггер с внешним источником смещения ($E_б$)

показан на рис. 3.2а, эквивалентная схема – на рис. 3.2б. Триггер



представляет собой двухкаскадный ключ с ОЭ, выход которого замкнут на вход. Связь между каскадами осуществляется с помощью резисторов R , включенных между коллекторами и базами смежных каскадов. Поэтому такой триггер называют триггером с коллекторно-базовыми связями. Управляющие конденсаторы C шунтируют резисторы R и предназначены для форсирования процессов переключения триггера. Триггер имеет два устойчивых состояния равновесия: транзистор $VT1$ насыщен, а $VT2$

закрыт и наоборот. Допустим, в исходном состоянии VT1 насыщен, а VT2 – закрыт. Тогда эквивалентную схему можно представить в виде схемы рис. 3.2б, где насыщенный транзистор изображен эквипотенциальной точкой, а закрытый транзистор – генератором тока $I_{к60}$. Закрытое состояние VT2 будет обеспечиваться положительным напряжением E_6 , которое через делитель RR_6 приложено к базе VT2.

Насыщенное состояние VT1 будет поддерживаться за счет выбора резистора R такой величины, чтобы выполнялось условие $I_R \leq I_{бн}$. После прихода на базу VT1 запускающего импульса напряжения $U_{вх1}$ положительной полярности начинается переход триггера в другое состояние устойчивого равновесия. Процесс опрокидывания триггера можно разбить на 4 этапа: на первом этапе под воздействием $U_{вх1}$ происходит рассасывание избыточных носителей в базе VT1. Внешних изменений в схеме не наблюдается. Этап заканчивается выходом транзистора VT1 из границы насыщения на границу активной области и восстановлением его усилительных свойств. На втором этапе ток коллектора VT1 под действием $U_{вх1}$ начинает уменьшаться, вызывая уменьшение (т.е. возрастание по абсолютной величине) коллекторного напряжения. Отрицательное приращение коллекторного напряжения VT1 через RC-цепь подается на базу VT2. Когда указанное приращение компенсирует положительное смещение на базе VT2, он из закрытого состояния перейдет на границу открытой области и восстановит усилительные свойства. Первые два этапа представляют собой стадию подготовки триггера. Теперь оба транзистора работают в усилительном режиме, и, следовательно, произведение коэффициентов усиления каскадов $K_1K_2 \gg 1$, а общий фазовый сдвиг $\varphi_{k1} + \varphi_{k2} = 2\pi$, т.е. выполняются условия возникновения скачков – регенеративного процесса схем, замкнутых в кольцо.

С этого момента начинается третий этап – этап регенерации, в течении которого происходит лавинообразное изменение токов и напряжений. Скорость регенерации велика и ограничивается инерционными свойствами транзисторов и паразитными емкостями. На этапе регенерации ток $I_{к1}$ еще уменьшается, а отрицательное напряжение $U_{к1}$ увеличивается и почти полностью проходит через конденсатор C на базу VT2, вызывая его форсированное отпирание. $I_{к2}$ увеличивается, что приводит к увеличению коллекторного напряжения (т.е. уменьшению его по абсолютной величине). Положительное приращение коллекторного напряжения через конденсатор C передается с коллектора VT2 на базу VT1. Происходит дальнейшее уменьшение коллекторного тока VT1 и т.д. Этап заканчивается запирающим VT1 и прекращением действия ПОС, т.е. перестает выполняться условие возникновения скачков.

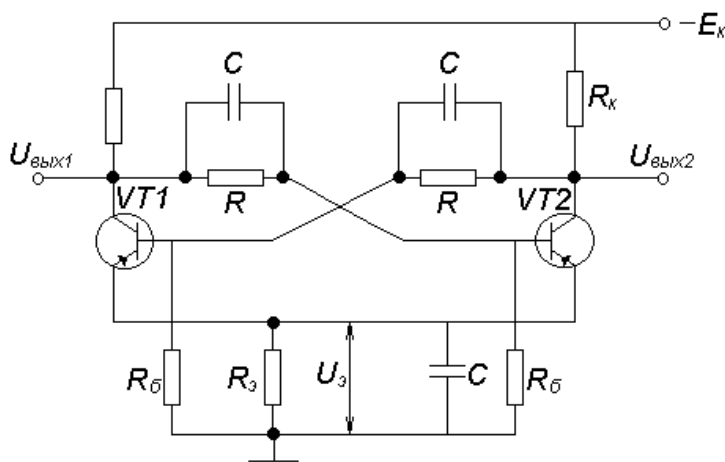
На четвертом этапе (восстановления) VT2 насыщается и устанавливаются коллекторные напряжения транзисторов VT1 и VT2. Напряжение на коллекторе VT1 стремится к величине $-E_k$. Время установления этого напряжения определяется временем заряда конденсатора C через резистор R_k в коллекторной цепи VT1 и эмиттерный переход транзистора VT2. Для уменьшения этого времени необходимо уменьшить постоянную времени $\tau = CR_k$, т.е. это требование противоположно тому, что сформулировано для времени установления напряжения VT. Триггер переходит в состояние устойчивого равновесия, при котором VT1 закрыт, а VT2 – насыщен.

Для возвращения триггера в исходное состояние необходимо подать на базу транзистора VT2 запускающий импульс $U_{вх2}$ положительной полярности. Т.е. при подаче двух запускающих импульсов формируется прямоугольный импульс с длительностью, равной периоду повторения запускающих импульсов. $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$ изменяются в противофазе и снимаются с VT1 и VT2.

Аналитические выражения для расчета t_f , t_c , F_{max} , т.е. длительности фронта, спада импульсов, максимальной частоты переключения, а также элементов триггера, исходя из условий ключевого режима работы транзисторов VT1 и VT2, будут приведены при описании методики расчета триггера.

Триггер с автоматическим смещением.

При отсутствии дополнительного источника смещения можно использовать триггер с автоматическим смещением (рис.3.3).

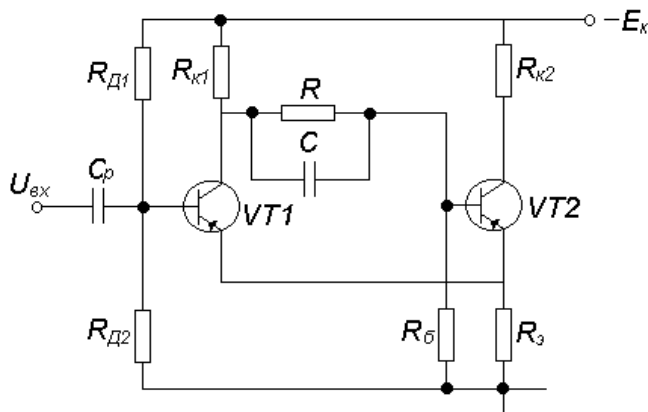


В этой схеме роль источника смещения E_6 выполняет напряжение U_3 , созданное на R_3 при протекании I_3 . Конденсатор C_3 выбирается достаточно большой емкости, чтобы напряжение U_3 во время опрокидывания триггера не изменялось. Кроме того, C_3 служит для устранения ООС, которая может иметь место при переключении триггера из-за несимметричности схемы. $C_3 \approx 20/(f_a R_3)$, где f_a – граничная частота транзистора.

сторов в схеме ОБ, и имеет величину порядка несколько тысяч пФ. Условия обеспечения устойчивых состояний у такого триггера аналогичны триггеру с источником E_6 . Расчетные соотношения для определения параметров (включая U_m – амплитуду выходных импульсов) будут приведены ниже. Быстродействие таких триггеров примерно одинаково, что и с источником E_6 . Недостатки триггеров с автоматическим смещением: амплитуда выходного импульса меньше на величину U_3 , требуется наличие дополнительных элементов R_3 и C_3 .

Несимметричный триггер с эмиттерной связью (триггер Шмитта).

Он широко применяется для преобразования аналогового сигнала в дискретный (например, синусоидального напряжения в импульсы прямоугольной формы), для сравнивания амплитуд выходных сигналов (т.е. как компаратор) и для порогового переключения (т.е. как пороговый переключатель уровней).



Основное отличие от симметричного триггера (рис. 3.4а) – одна коллекторно-базовая связь через резистор R заменена другой – через резистор R_3 – общий для двух каскадов. Через резистор R_3 осуществляется не только ПОС транзистора $VT2$ со входом $VT1$, но и ООС по току, возникающая в каскаде на транзисторе $VT1$. В процессе опрокидывания преобладающей является ПОС, т.к. приращение тока эмиттера в транзисторе $VT2$ значительно больше, чем в транзисторе $VT1$. Это объясняется тем, что β_{2VT2} определяется произведением коэффициентов усиления транзисторов $VT1$ и $VT2$, а β_{1VT1} – коэффициентом усиления только $VT1$.

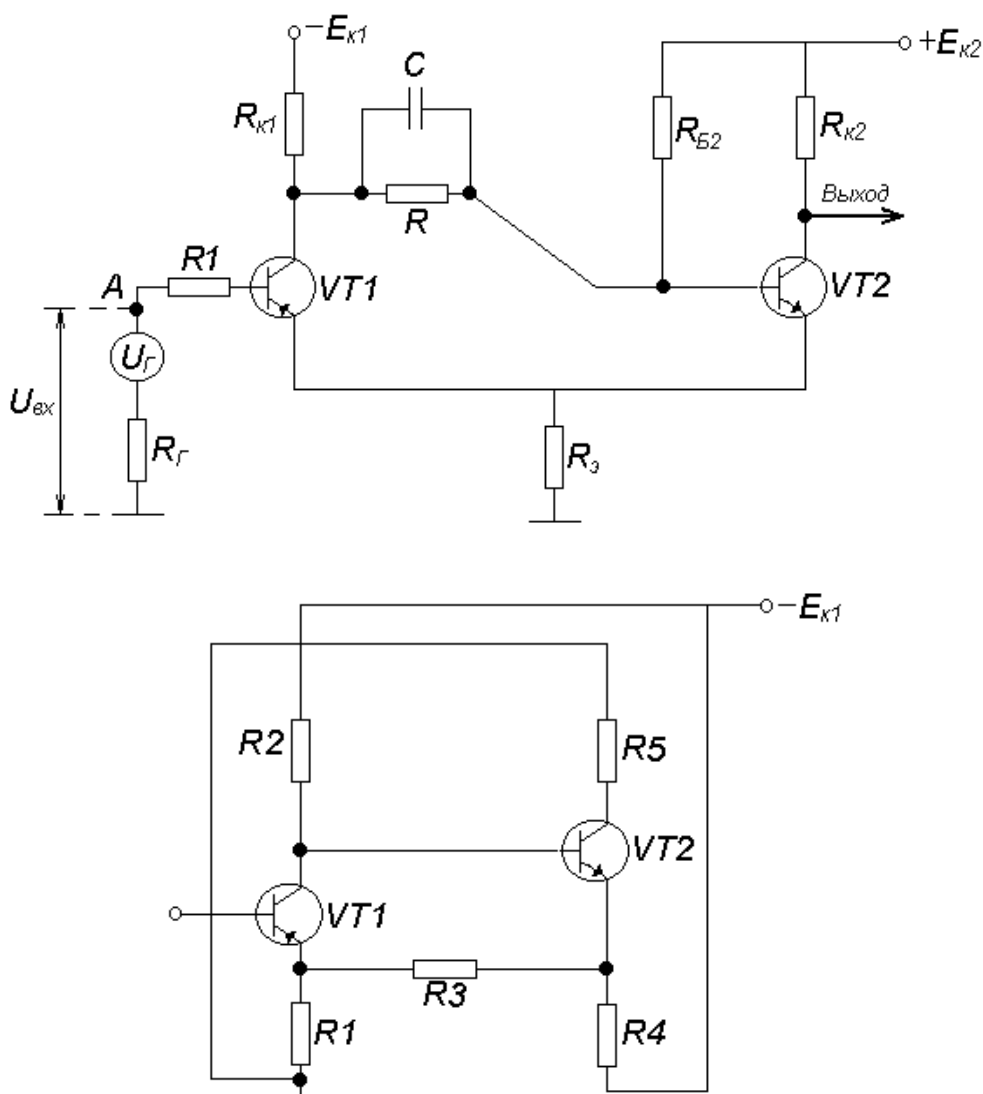
Триггер с эмиттерной связью, как и симметричные триггеры, имеют два устойчивых состояния равновесия. Запуск триггеров осуществляется с помощью импульсов чередующейся полярности, обычно подаваемых на базу транзистора $VT1$ или с помощью медленно изменяющегося напряжения. Во втором случае необходимость в делителе $R_{Д1}$, $R_{Д2}$ отпадает. Запуск в режиме общего входа не применяется из-за несимметричности схемы. Сопротивление нагрузки обычно подключается к коллектору $VT2$, т.к. коллектор $VT2$ не связан с цепью ПОС, то его влияние на опрокидывание

триггера практически исключено. Конденсатор C имеет, ориентировочно, ту же величину, что и у симметричного триггера. Устойчивые состояния триггера обеспечиваются соответствующим расчетом элементов, который будет приведен ниже. Амплитуда импульса на коллекторе $U_m \approx E_k R_{k2} / (R_{k2} + R_3)$.

Представляют интерес разновидности несимметричных триггеров рис. 3.4б,в.

Триггеры с эмиттерной связью на транзисторах с проводимостью разного типа (п-р-п и р-п-р).

Эти триггеры имеют также два состояния равновесия, однако в них оба транзистора закрываются, либо оба открываются. Кроме того, триггеры Шмитта могут быть с простыми эмиттерными связями (рис. 3.4б) и сложными (рис. 3.4в).



В схеме рис.3.4б резистор R_1 служит для обеспечения необходимого режима работы транзистора VT_1 по базе (т.е. является ограничителем тока базы). Резистор R_{E2} обеспечивает режим насыщения транзистора VT_2 , резистор R служит для исключения

шунтирования эмиттерного перехода VT2 насыщенным транзистором VT1. При закрытых транзисторах через него передается запирающий потенциал на базу транзистора VT2.

Резистор R_3 служит для обеспечения ПОС с транзистора VT2 на VT1. С-форсирующая емкость. В схеме рис.3.4в резисторы R_2 и R_5 являются коллекторными нагрузками VT1 и VT2. Резисторы R_1, R_3, R_4 находятся в цепи эмиттерной ОС.

Рассмотрим принцип работы схемы на рис.3.4б. При подаче на вход триггера отрицательного напряжения $U_{BX}=U_0$ такой величины, что оба транзистора находятся в открытом и насыщенном состоянии и через них протекают следующие токи: $I_{\kappa 1}$; $I_{\kappa 2}$; $I_{\varepsilon 1}$; $I_{\varepsilon 2}$; $I_{\delta 1}$; $I_{\delta 2}$ (со знаком $-$ δ , когда выходной транзистор VT2 открыт, когда VT2 закрыт – индекс $-\delta$). Токи $I_{\varepsilon 1}$ и $I_{\varepsilon 2}$ противоположны по направлению. Обычно $I_{\varepsilon 2} \ll I_{\varepsilon 1}$, т.е. U_{ε} положительно по отношению к корпусу устройства, $U_{\varepsilon} \ll U_{\delta 2}$; $U_{\delta 1} \ll U_{\varepsilon 1}$, но положительно относительно корпуса.

При $U_{BX} \ll U_0$, $U_{\delta 1}$ увеличивается, а $I_{\delta 1}$ уменьшается, т.к. VT1 насыщен $I_{\kappa 1}$ остается практически неизменным, а $I_{\varepsilon 1}$ несколько уменьшается за счет изменения $I_{\delta 1}$. В связи с уменьшением $I_{\varepsilon 1}$ несколько повышается U_{ε} , т.к. $I_{\varepsilon 2}$ практически не изменяется (VT2 насыщен). Существенное изменение $I_{\delta 1}$ происходит до тех пор, пока VT1 находится в режиме насыщения.

При некотором входном напряжении $U_{BX}=U_1$ одновременно с уменьшением $I_{\delta 1}$ происходит уменьшение $I_{\kappa 1}$, т.е. снижается $U_{\kappa 1}$ увеличивается ток через R_1 и, следовательно, уменьшается ток $I_{\delta 2}$. Триггер по прежнему находится в устойчивом состоянии равновесия. Уменьшение тока $I_{\delta 2}$ происходит до тех пор, пока транзистор VT2 находится еще в насыщении.

При входном напряжении $U_{BX}=U_{BX.п}$ транзистор VT2 выходит из состояния насыщения, резко повышается петлевой коэффициент усиления и в триггере начинается лавинообразный процесс опрокидывания во второе устойчивое состояние равновесия. В результате лавинообразного процесса транзисторы VT1 и VT2 полностью закрываются и через них протекают весьма малые коллекторные токи $I_{\kappa 1}$ и $I_{\kappa 2}$, базовые $I_{\delta 1}$, $I_{\delta 2}$ и эмиттерные $I_{\varepsilon 1}$ и $I_{\varepsilon 2}$ токи. Напряжение U_{ε} , при этом падает почти до нулевого значения, а $U_{\kappa 1}$ $U_{\kappa 2}$ увеличивается по абсолютной величине. При этом $U_{\kappa 2} \ll E_{\kappa 2}$, а $U_{\kappa 1} \ll E_{\kappa 1}$, т.к. по резистору $R_{\kappa 1}$ помимо $I_{\kappa 1}$ протекает резко возросший ток, ответвляющийся в R_1 . Величина $U_{BX.п} \ll U_{\tau п}$ называется напряжением срабатывания триггера. Все знаки токов и напряжений, соответствующие началу лавинообразного процесса называются пороговыми и дополнительно обозначаются индексом τ ($I_{\delta 1.п}$ и т.д.).

При дальнейшем увеличении входного напряжения $U_{вх} \square U_{вх.п}$ увеличивается $U_{б1}$ закрытого VT1 и $U_{б31}$. Остальные напряжения и токи изменяются незначительно (предел увеличения - $U_{б31.мах}$ по техническим условиям (ТУ) на VT1). При снижении входного сигнала, т.е. при $U_{вх} \square U_{11} \square U_1 \square U_{вх.п}$ в триггере плавно падают напряжения $U_{б1}$ и $U'_{б31}$. При $U_{вх} = U_{11}$ напряжение $U_{б31}$ становится равным напряжению открытия транзистора VT1 и при дальнейшем уменьшении $U_{вх}$ транзистор VT1 все больше и больше открывается. Возрастают $\square_{б1}$; $\square_{к1}$; $\square_{э1}$, повышается напряжение $U_{к1}$. Вследствие возрастания $\square_{э1}$ уменьшается $U_{э1}$ и становится отрицательным относительно корпуса устройства.

В результате увеличения $U_{к1}$ повышается $U_{б1}$ из-за чего происходит интенсивное повышение напряжения $U_{б2}$.

При входном напряжении $U_{вх} = U_{вх.п}$ напряжение $U_{б2}$ увеличивается и достигает напряжения $U_{б2}$ -открытия транзистора VT2, он переходит в активную область, резко возрастает общий коэффициент усиления двух транзисторов и в триггере начинается лавинообразный процесс опрокидывания в первоначальное состояние устойчивого равновесия.

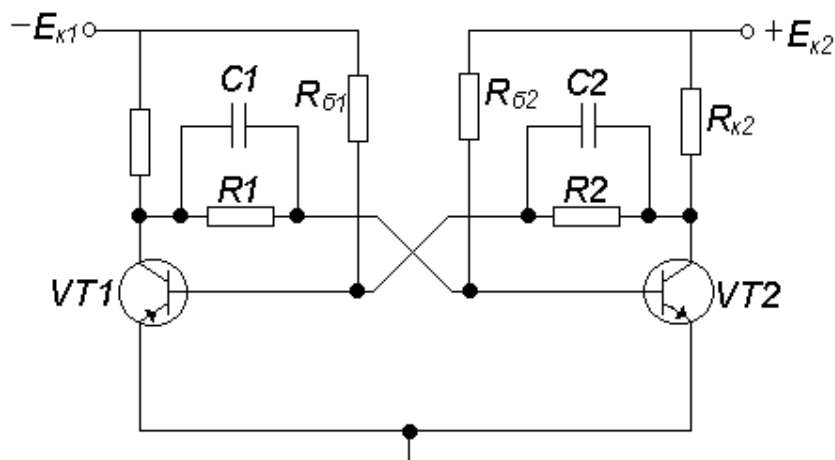
В результате этого лавинообразного процесса транзисторы VT1 и VT2 открываются, т.е. $U_{вх} = U_{вх.п} = U_{тп}$ является вторым пороговым уровнем триггера. Это напряжение называется напряжением отпускания (все токи и напряжения этого режима также обозначаются с индексом $\square_{п}$ - пороговые).

После второго опрокидывания триггера происходит следующее. При последующем уменьшении входного сигнала ($U_{вх} \square U_{11}$) происходит уменьшение напряжения $U_{б1}$, возрастание $\square_{б1}$, некоторое уменьшение $U_{э}$, и следовательно, $U_{б2}$. Оба транзистора открыты и насыщены. Триггер находится в первоначальном состоянии устойчивого равновесия. При повышении $U_{вх}$ процессы в триггере повторяются.

При расчете элементов триггера составляется система уравнений, исходя из двух устойчивых состояний равновесия, и определяются необходимые значения элементов.

Триггер со сложной эмиттерной связью (триггер Мита Фумио и Сисабаки Танаха) является аналогом несимметричного триггера. Он может быть и на транзисторах одноступенчатой проводимости, но с двумя источниками питания $+E_k$ и $-E_k$. Триггер расходует несколько большую энергию, т.к. при закрытых транзисторах VT1 и VT2 через R1, R3, R4 протекает ток (величины сопротивлений сравнительно невелики). В одном из устойчивых состояний оба транзистора закрыты, в другом – открыты. У такого триггера более стабильные пороги срабатывания.

Симметричный триггер с КБ-емкостными связями на транзисторах с проводимостью разного типа



Для расчета задается $F_{\max}$, U_{m1} , U_{m2} -максимальная частота переключений, амплитуды выходных импульсов, диапазон температур окружающей среды ($t_{\max}$, $t_{\min}$), допуск на изменение напряжения источников питания $\Delta E = \Delta E/E$, допуск на отклонение величины сопротивлений от значений по техническим условиям (номинальных значений) $\Delta R = \Delta R/R$, амплитуда и длительность запускающих импульсов U_z и t_z , минимальная потребляемая мощность (P или $P_{\min}$).

Задания:

Задание №1

Рассчитать элементы и параметры триггера, симметричного с коллекторно-базовыми емкостными связями и общим входом при амплитуде импульсов $U_m = C$ В, частоте переключения $F_{\text{пер}} = D$ кГц, максимальной температуре окружающей среды $t_{\max} = E$ °С, $E_k = F$, $R = G$. Исходные данные для различных вариантов приведены в таблице.

Варианты / данные	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C, В	12	10	11	15	12	10	11	12	15	20	15
D, кГц	400	350	380	450	380	300	320	350	400	420	430
E, °С	70	65	60	65	60	65	60	70	65	60	70
F	0,1	0,08	0,09	0,12	0,14	0,13	0,11	0,1	0,08	0,09	0,1
G	0,05	0,1	0,12	0,08	0,1	0,12	0,09	0,13	0,09	0,12	0,15

Контрольные вопросы:

1. Дать определение триггера. Какой триггер называется симметричным, какой несимметричным?
2. Что представляет собой пусковая характеристика триггера?
3. Какие типы и виды триггеров используются, в основном, в импульсной технике?
4. Описать принцип работы симметричного триггера с внешним источником питания.
5. Каковы основные этапы работы триггера?
6. Описать принцип работы триггера с автоматическим включением.
7. Каков принцип работы триггера Шмитта на транзисторах с односторонней проводимостью?
8. Описать принцип работы триггера Шмитта на транзисторах с проводимостью разного типа.
9. Каковы основные этапы работы и какими параметрами они характеризуются?
10. Чем отличается триггер М.Фумио и С.Танахи от триггера Шмитта?
11. Каков порядок расчета симметричного триггера с коллекторно-базовыми емкостными связями?
12. Чем отличается порядок расчета триггера от симметричного триггера с КБ связями, но на транзисторах с проводимостью различного типа?
13. Каков порядок расчета симметричного триггера с КБ емкостными связями на транзисторах разного типа проводимости?
14. Как учитываются при расчете триггеров величины h , R , E ?
15. По каким основным параметрам выбираются транзисторы в триггерах?
16. Что представляют собой ограничения?
17. Каков порядок расчета симметричных триггеров с автоматическим смещением?
18. Каков порядок расчета несимметричного триггера с эмиттерной связью на транзисторах одного типа проводимости?
19. Каков порядок расчета несимметричного триггера с эмиттерной связью на транзисторах с проводимостью разного типа?
20. Из каких элементов состоит обобщенный делитель запуска триггеров Шмитта с транзисторами разнотипной проводимости? Какие варианты запуска наиболее рациональны?
21. Каков порядок расчета пороговых уровней триггера Шмитта на транзисторах с проводимостью разного типа?

Практическая работа №9. Измерительная техника. Обработка результатов измерений.

Цель: приобрести практические навыки обработки результатов измерений и определения погрешности измерений

Основы теории:

Количественная оценка свойств физических объектов или процессов осуществляется измерением физических величин. По своей сути «Измерение» - это познавательный процесс, заключающийся в сравнении опытным путём измеряемой величины с некоторым её значением, принятым за единицу.

Любое измерение производится с некоторой погрешностью (ошибкой), которая искажает результат измерения и позволяет лишь приблизительно оценить значение измеряемой величины.

Задачей экспериментатора и аналитика является учёт всех возможных погрешностей и обработка результатов измерений с целью их максимального приближения к действительному значению измеряемой величины.

По способу числового выражения различают абсолютные погрешности ΔA , выраженные в единицах измеряемой величины, и относительные δ , выраженные в % или долях от действительного значения.

$$\Delta A = A_x - A$$

$$\delta = \frac{\Delta A}{A}$$

A_x – измеренное значение,

A – действительное значение.

Если достоверна известна погрешность ΔA (влияние температуры, влажности, превышение над уровнем моря и т.д.), то в результат измерения следует внести поправку

$$A = A_x + \Delta C, \text{ где}$$

$\Delta C = -\Delta A$ – поправка: взятая с обратным знаком погрешность измерения.

Опыт показывает, погрешности подчиняются определённым статистическим законам.

Статистическая зависимость частоты или вероятности появления тех или иных случайных погрешностей (ошибок) от их величины называется законом распределения этих погрешностей (ошибок).

Так оказывается:

- погрешности измерения могут принимать непрерывный ряд значений;
- вероятность появления случайных погрешностей, равных по абсолютной величине, но противоположных по знаку, одинакова;
- вероятность появления малых случайных погрешностей больше вероятности появления больших случайных погрешностей (т.е. малые случайные погрешности встречаются чаще, чем большие).

На основании вышеизложенного и был получен так называемый нормальный закон (закон Гаусса) распределения погрешностей, который описывается формулой Гаусса:

$$\varphi_{(\Delta)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(a_i - A)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta}{\sigma}\right)^2}, \text{ где}$$

$\varphi_{(\Delta)}$ - плотность вероятности распределения погрешностей,

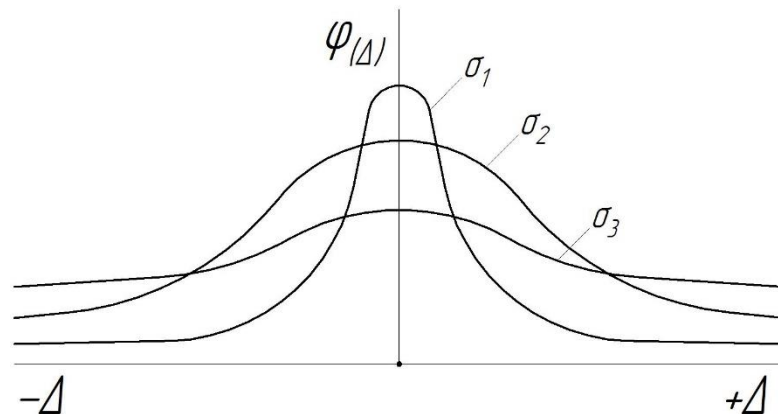
a_i - результат отдельного измерения.

σ – среднеквадратичная погрешность ряда измерений:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_i^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}{n}}, \text{ где}$$

Δ_i - случайная абсолютная погрешность отдельного измерения ($\Delta_i = a_i - A$).

Графически нормальный закон распределения погрешностей выглядит следующим образом:



где $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$, т.е. малому значению σ соответствует преобладание малых случайных погрешностей.

На практике вместо действительного значения измеряемой величины A берётся его среднеарифметическое значение:

$$\bar{A} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_i + \dots + a_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}.$$

По аналогии со случайной абсолютной погрешностью отдельного измерения Δ_i вводится понятие отклонения результата измерения от среднего значения

$$v_i = a_i - \bar{A}$$

v_i в метрологии называют остаточной погрешностью.

$\bar{A} \rightarrow A$ при бесконечном числе измерений. В реальности же среднеквадратичная погрешность определяется по формуле:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}.$$

Для оценки погрешности отдельного измерения кроме среднеквадратичной погрешности пользуются вероятной погрешностью отдельного измерения ρ , под которой понимают погрешность, которая делит пополам все случайные погрешности на две равные части: в первой находится половина случайных погрешностей больших ρ ; во второй – половина случайных погрешностей меньших ρ .

$$\rho = \pm 0,6745\sigma \approx \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}.$$

Кроме σ и ρ в некоторых случаях используют среднеарифметическую погрешность θ :

$$\Theta = \pm \frac{\sum_{i=1}^n |v_i|}{\sqrt{n(n-1)}}.$$

В теории ошибок доказывается, что $\Theta = \pm 0,8\sigma$.

Большое значение имеет т.н. максимальная погрешность измерения $M = \pm 3\sigma$.

Измерения с погрешностью $> 3\sigma$ значительно искажают результат. Такие измерения называют промахом и они должны быть исключены, как недостоверные.

Если произвести K серий измерений и в каждой серии выполнить k измерений с одинаковой точностью; затем для каждой серии вычислить среднеарифметическое значение измеряемой величины $\bar{A}_k$, то окажется, что эти среднеарифметические отличаются друг от друга в разных сериях k_i . Более того, они будут отличаться от истинного значения измеряемой величины A на случайную ошибку.

Чтобы судить о случайном разбросе среднеарифметического, необходимо вычислить среднеквадратическую погрешность определения среднеквадратического. В теории ошибок доказывается, что эта погрешность будет в $\sqrt{n}$ раз меньше среднеквадратической погрешности отдельного измерения:

$$\sigma_{\bar{A}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad \rho_{\bar{A}} = \frac{\rho}{\sqrt{n}} = \pm \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n \cdot (n-1)}},$$

$$\Theta_{\bar{A}} = \frac{\Theta}{\sqrt{n}} = \pm 0,8 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |v_i|}{n \cdot (n-1)}}, \quad M_{\bar{A}} = \pm 3\sigma_{\bar{A}} = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n \cdot (n-1)}}.$$

Оценку погрешности отдельного измерения обычно проводят с помощью средне-квадратичной погрешности σ , а также максимальной погрешности M .

Среднеарифметическая погрешность отдельного измерения используется в том случае, если подозревается наличие систематической погрешности. В этом случае среднеарифметическая погрешность отдельного измерения определяется по двум формулам:

$$\Theta_1 = \pm \frac{\sum_{i=1}^n |v_i|}{\sqrt{n(n-1)}} \text{ и}$$

$$\Theta_2 = \pm 0,8\sigma.$$

Если вычисленные значения Θ_1 и Θ_2 значительно отличаются друг от друга (конкретное отличие определяется нормативом), то в данном ряде измерений предполагается наличие систематической погрешности.

Задания:

Задание №1

Измерить индуктивность силового реактора высокочастотного заградителя ВЗ-630-0,5 У1 и путём обработки полученных данных, определить её значение.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит обработка результатов измерений?
2. Какие измерения называются равноточными?
3. Какие знаки в числовом результате считаются верными?
4. Для чего проводятся многократные измерения одной и той же величины?
5. Что такое «промах», как можно исключить промахи при обработке результатов измерений.
6. Как обозначается класс точности на измерительном приборе.
7. Определение абсолютной и относительной погрешности.
8. Основные и дополнительные виды погрешностей. Случайные, систематические, грубые погрешности. Причины их появления.

9. Приведенная погрешность и способы ее определения.
10. Основные метрологические характеристики средств измерений. Относительная погрешность.
11. Как можно определить класс точности прибора экспериментальным путём.
12. Как правильно выбрать диапазон измерения физической величины, на что надо обращать внимание.
13. Виды погрешностей, определение каждого вида погрешностей. Что называется классом точности прибора. Как это понятие связано с точностью измерения?
14. Виды основных погрешностей. Причины возникновения погрешностей средств измерений.
15. Приведенная погрешность, единица измерения, формулы для ее определения. Значение приведенной погрешности.
16. Принцип и метод измерения.
17. Правильность и достоверность измерения.
18. Точность измерения. Что называется, классом точности прибора.
19. Истинное и действительное значения измеряемой величины.
20. Точность измерения. Какие классы точности утверждены стандартами. Как их можно классифицировать в зависимости от точности производимых измерений?

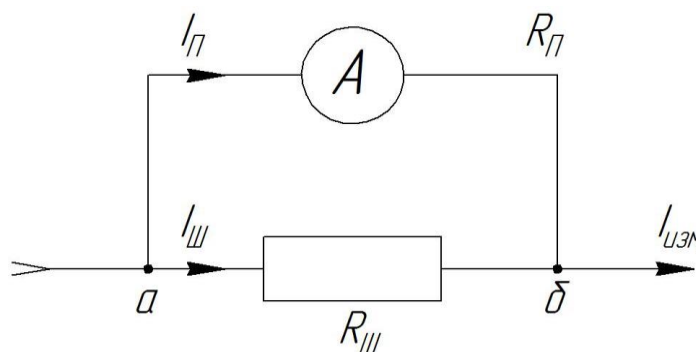
Практическая работа №10. Измерительные преобразователи. Расчёт масштабных преобразователей.

Цель: приобрести практические навыки расчета масштабных преобразователей для аналоговых измерительных приборов.

Основы теории:

Для измерения больших токов применяют т.н. масштабные преобразователи (шунты), сопротивление которых должно быть значительно меньше сопротивления прибора.

Шунт конструктивно имеет токовые контакты, которыми он включается в разрыв исследуемой цепи и потенциометрические контакты, к которым подключается измерительный прибор (амперметр)



Так как $I_{п}R_{п} = I_{ш}R_{ш}$, а $I_{ш} = I_{изм} - I_{п}$, то $I_{п} \cdot R_{п} = (I_{изм} - I_{п}) \cdot R_{ш}$; откуда:

$$R_{ш} = \frac{I_{п} \cdot R_{п}}{I_{изм} - I_{п}}.$$

Пример расчёта шунта для амперметра магнитоэлектрической системы

Имеем:

-амперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения $50\mu\text{A}$;

-сопротивление рамки прибора 5 Ом .

Необходимо:

-рассчитать сопротивление шунта для измерения тока с пределом 5 A ,

-разработать конструкцию шунта,

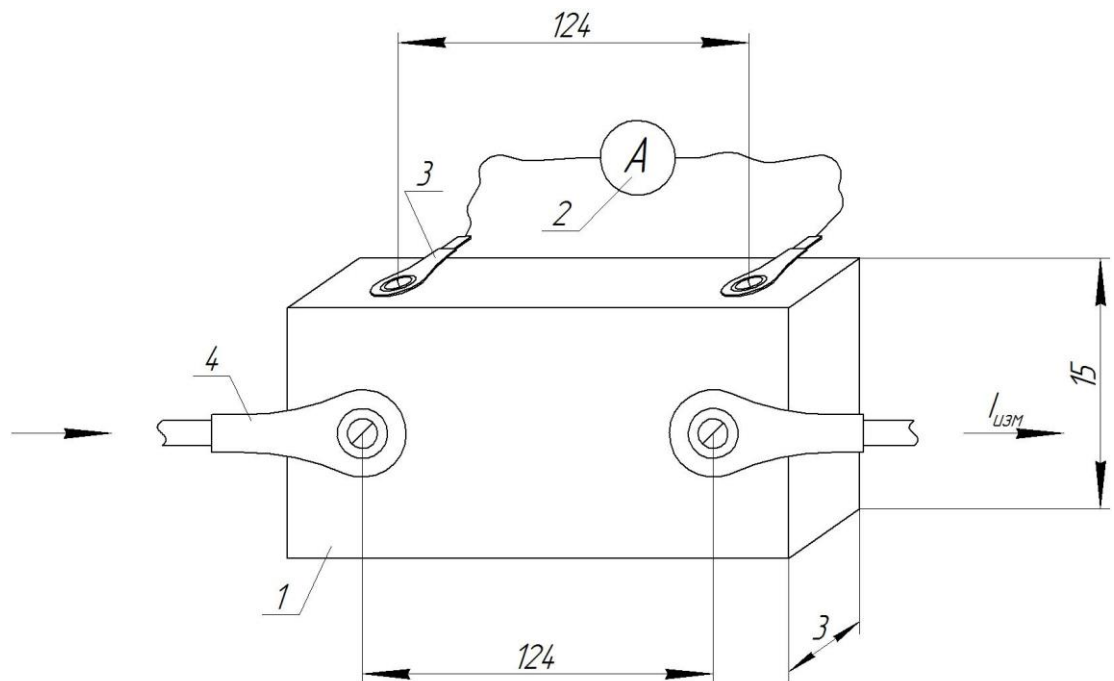
-переградуировать шкалу прибора.

$$R = \frac{I_{п} \cdot R_{п}}{I_{изм} - I_{п}} = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{5 - 50 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^{-5} [\text{Ом}].$$

Конструктивно шунт можно выполнить из калиброванной медной шины $15 \times 3\text{ мм}$, удельное сопротивление которой

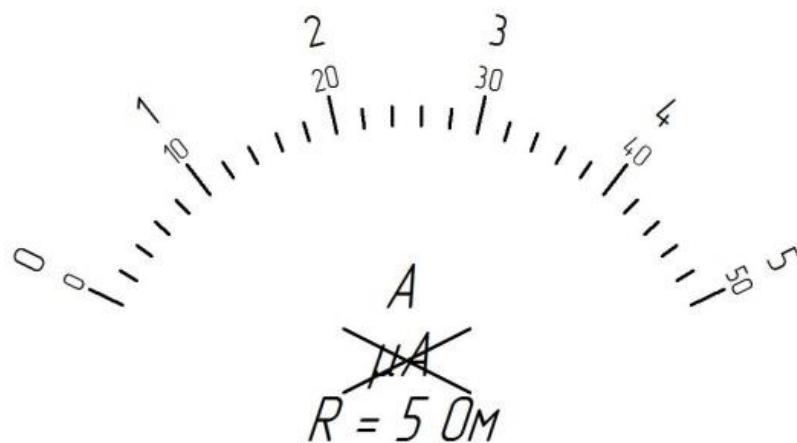
$$\rho_{Cu} = 0,0182 \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}}{\text{мм}^2}.$$

Определим её длину. Т.к. $R = \rho \frac{l}{s}$, то $l = \frac{R \cdot s}{\rho} = \frac{5 \cdot 10^{-5} \cdot 3}{0,0182} = 0,124[\text{м}] = 124 \text{ мм}.$



- 1 - Шунт
- 2 - Измерительный прибор (амперметр)
- 3 - Выводы прибора
- 4 - Зажимы исследуемой цепи

Шкала электроизмерительного прибора после переградуировки должна выглядеть следующим образом:



Для измерения напряжения последовательно с рамкой измерительного прибора необходимо включить добавочное сопротивление, рассчитанное таким образом, чтобы ток через него и рамку измерительного прибора не превышал предела измерения, указанного на шкале.

Если необходимо изготовить многопредельный вольтметр, то количество добавочных сопротивлений должно соответствовать числу пределов измерений.

Задания:

Задание №1

Амперметр магнитоэлектрической системы с пределом измерения ($50\mu\text{A}$), сопротивление рамки прибора 5 Ом. Рассчитать добавочные сопротивления для измерения напряжения постоянного тока с пределами 60В, 150В, 300В, 600В, представить схему измерительного прибора, проградуировать шкалу.

Контрольные вопросы:

1. Для каких целей используется резистивный делитель?
2. Как рассчитать основные параметры резистивного делителя?
3. В каких цепях используется емкостной делитель?
4. Для чего используются шунты?
5. Как рассчитать сопротивление шунта?
6. Для чего используются добавочные резисторы?
7. Как рассчитать добавочный резистор?

Практическая работа №11. Измерения физических величин. Измерение активной мощности в трехфазных цепях.

Цель: приобрести практические навыки расчета и измерения активной мощности в трехфазных цепях

Основы теории:

Как известно, активная мощность трехфазной системы определяется выражением

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P_i dt = U_{A\phi} \cdot I_{A\phi} \cdot \cos \varphi_A + U_{B\phi} \cdot I_{B\phi} \cdot \cos \varphi_B + U_{C\phi} \cdot I_{C\phi} \cdot \cos \varphi_C, [3.1]$$

Это выражение и определяет в практическом плане схемы включения ваттметров в трехфазную систему для измерения ее активной мощности.

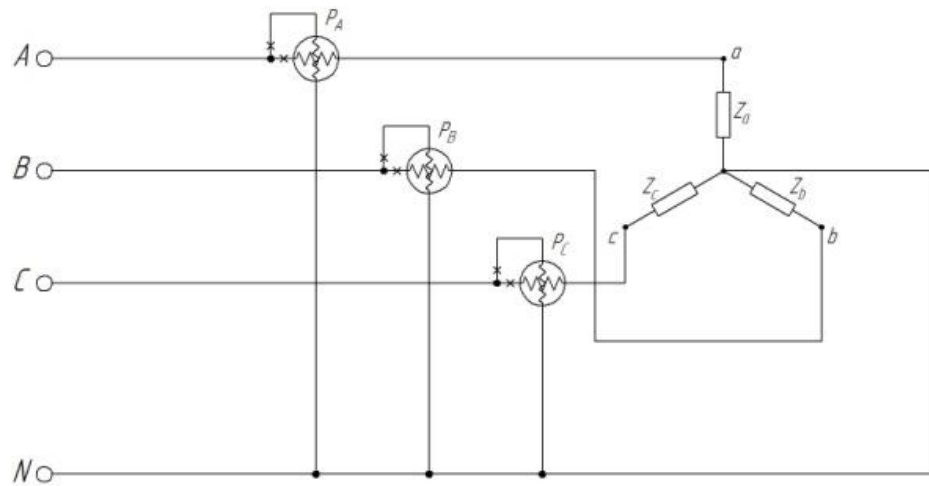


Рис.3.1. Схема измерения активной мощности трёхфазной системы тремя ваттметрами.

В несимметричной трехфазной системе с нулевым проводом активная мощность может быть измерена тремя ваттметрами, включенную в каждую фазу по схеме Рис. 3.1. При этом

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 + P_3 = I_A \cdot U_A \cdot \cos \varphi_A + I_B \cdot U_B \cdot \cos \varphi_B + I_C \cdot U_C \cdot \cos \varphi_C, [3.2]$$

т.е. формула [3.2] соответствует базовой [3.1]

В несимметричной трехфазной системе без нулевого провода активная мощность может быть измерена и двумя ваттметрами, причем независимо от схемы соединения нагрузки.

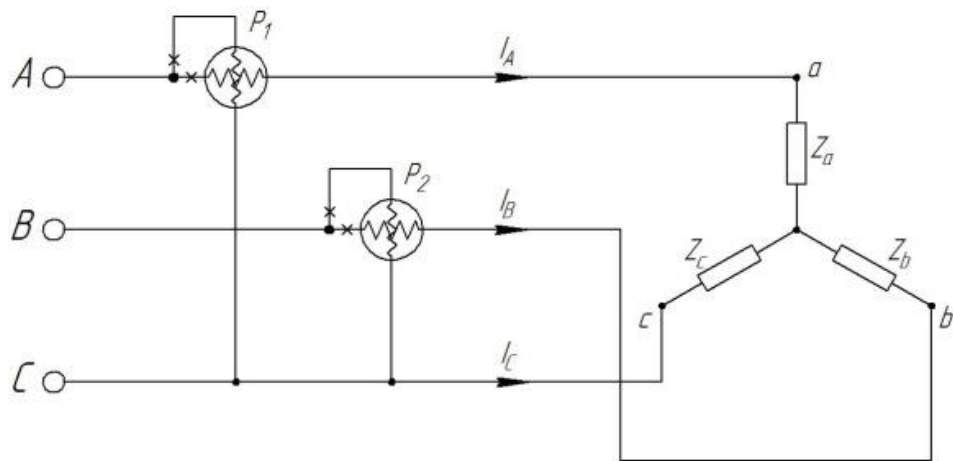


Рис.3.2. Схема измерения активной мощности трёхфазной системы при соединении нагрузки «звездой» двумя ваттметрами.

Так при соединении нагрузки «звездой»

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 = I_A \cdot U_{AC} + I_B \cdot U_{BC} = I_A(U_A - U_C) + I_B(U_B - U_C) = I_A \cdot U_A + I_B \cdot U_B + U_C(-I_A - I_B), \quad [3.3]$$

Согласно первому закону Кирхгофа,

$$I_A + I_B + I_C = 0, \text{ откуда} \\ I_C = -I_A - I_B$$

и формула [3.3] принимает вид

$$P_{3\phi} = I_A \cdot U_A + I_B \cdot U_B + I_C \cdot U_C, \quad [3.4]$$

Если нагрузка не чисто активная, то активная мощность, измеренная двумя ваттметрами может быть представлена формулой

$$P_{3\phi\lambda} = I_A \cdot U_A \cdot \cos \varphi_A + I_B \cdot U_B \cdot \cos \varphi_B + I_C \cdot U_C \cdot \cos \varphi_C, \quad [3.5]$$

При этом формула [3.5] также соответствует формуле [3.1]

При соединении нагрузки «треугольником»

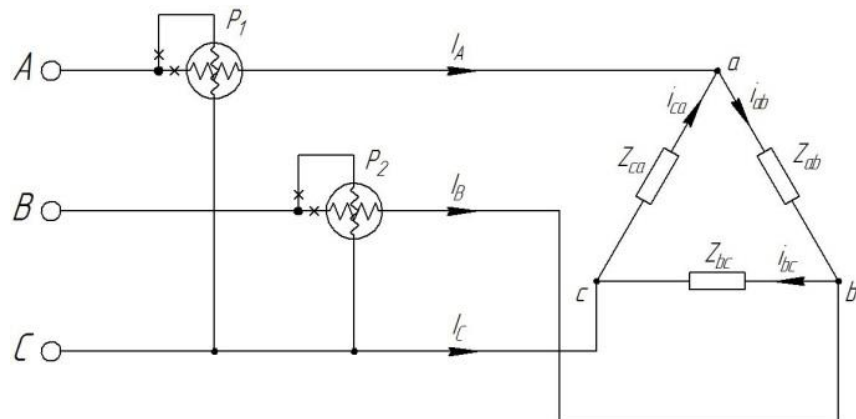


Рис.3.3. Схема измерения активной мощности трёхфазной системы при соединении нагрузки «треугольником» двумя ваттметрами.

$$\begin{aligned}
P_{3\phi} &= U_{AB} \cdot i_{ab} + U_{BC} \cdot i_{bc} + U_{CA} \cdot i_{ca} = (U_A - U_B) \cdot i_{ab} + (U_B - U_C) \cdot i_{bc} + (U_C - U_A) \cdot i_{ca} = \\
&= U_A \cdot i_{ab} - U_B \cdot i_{bc} + U_B \cdot i_{bc} - U_C \cdot i_{bc} + U_C \cdot i_{ca} - U_A \cdot i_{ca} = \\
&= U_A \cdot (i_{ab} - i_{ca}) + U_B \cdot (i_{bc} - i_{ab}) + U_C \cdot (i_{ca} - i_{bc}),
\end{aligned} \tag{3.6}$$

но согласно первому закону Кирхгофа,

$$\begin{aligned}
i_{ab} - i_{ca} &= I_A, \\
i_{bc} - i_{ab} &= I_B, \\
i_{ca} - i_{bc} &= I_C
\end{aligned}$$

и даже в случае комплексной нагрузки формула [3.6] принимает вид

$$P_{3\phi\Delta} = I_A \cdot U_A \cdot \cos \varphi_A + I_B \cdot U_B \cdot \cos \varphi_B + I_C \cdot U_C \cdot \cos \varphi_C, \tag{3.7}$$

Таким образом, и формула [3.7] соответствует формуле [3.1].

Контрольные вопросы:

1. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при равномерной нагрузке?
2. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при неравномерной нагрузке?
3. Перечислить общие технические требования к электроизмерительным приборам. Дать классификацию этих приборов.
4. Объяснить устройство и принцип действия, перечислить достоинства и недостатки приборов электродинамической системы.
5. Начертить схему измерения активной мощности в четырехпроводной цепи тремя ваттметрами.
6. Начертить схему измерения активной мощности в трехпроводной цепи двумя ваттметрами.
7. В каком случае при измерении активной мощности в трехпроводной цепи методом двух ваттметров:
 - а) показания обоих из ваттметров будут равны между собой;
 - б) показания одного из ваттметров будут равны нулю;
 - в) показания одного из ваттметров будут иметь отрицательное значение;
 - г) суммарное показание двух ваттметров будет равно нулю?
8. Начертить схемы измерения активной мощности одним ваттметром при симметричной нагрузке, включенной:
 - а) в звезду с доступной нейтральной точкой;
 - б) в треугольник;
 - в) в замкнутый треугольник или звезду с недоступной нейтральной точкой.

9. Начертить схему измерения реактивной мощности в трехфазной цепи одним ваттметром при симметричной нагрузке.

10. Написать формулы для определения активной, реактивной и полной мощностей в трехфазной цепи с активной, индуктивной и емкостной нагрузками.

Практическая работа №12. Измерения физических величин. Измерение реактивной мощности в трехфазных цепях.

Цель: приобрести практические навыки расчета и измерения реактивной мощности в трехфазных цепях

Основы теории:

Несмотря на то, что реактивная мощность не определяет ни совершаемой работы, ни передаваемой энергии за единицу времени, измерение её имеет большое значение в электроэнергетике, т.к. наличие реактивной мощности приводит к дополнительным потерям электрической энергии в линиях электропередач, трансформаторах и генераторах.

Как известно, под реактивной мощностью трехфазной системы понимается:

$$Q_{3\phi} = U_{A\phi} \cdot I_{A\phi} \cdot \sin \varphi_A + U_{B\phi} \cdot \sin \varphi_B + U_{C\phi} \cdot I_{C\phi} \cdot \sin \varphi_C [4.1].$$

Реактивная мощность трехфазной системы может быть измерена двумя ваттметрами активной мощности по схеме:

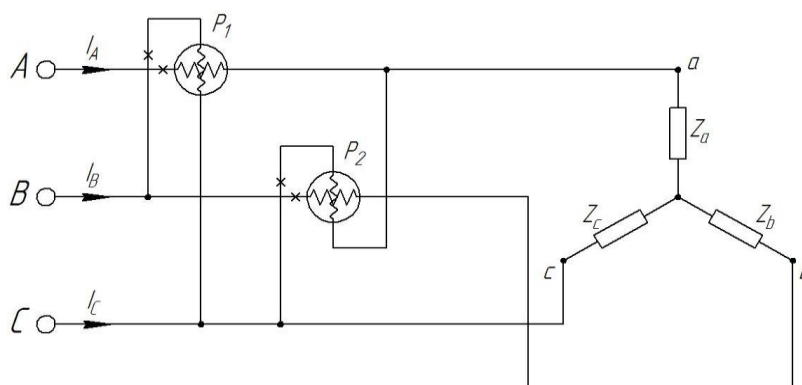


Рис. 4.1. Схема измерения реактивной мощности трехфазной системы двумя ваттметрами активной мощности.

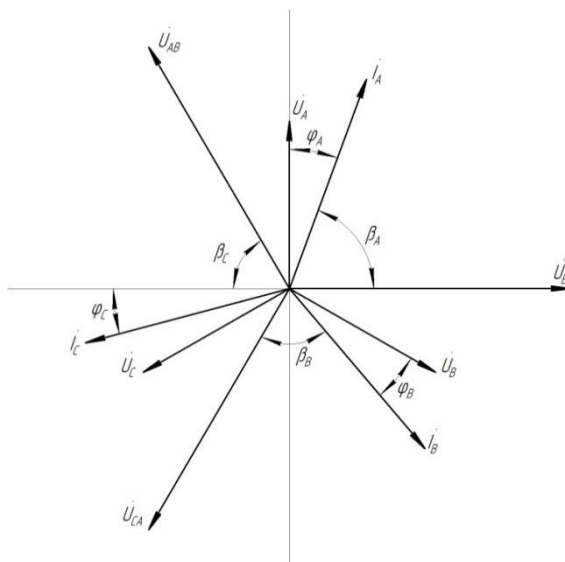


Рис. 4.2. Векторная диаграмма токов и напряжений для схемы Рис.4.1.

Следует оговориться, что измерения по данной схеме дают приемлемый результат лишь при симметричной нагрузке и при небольшой асимметрии. Поэтому полагаем, что $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$ и соответственно $\beta_A = \beta_B = \beta_C$, где $\beta = 90^\circ - \varphi$. Тогда :

$$P_1 + P_2 = U_{BC} \cdot I_A \cdot \cos \beta_A + U_{CA} \cdot I_B \cdot \cos \beta_A$$

С учетом вышеизложенного

$$P_1 + P_2 = U_L \cdot I_L \cdot \cos(90^\circ - \varphi) + U_L \cdot I_L \cdot \cos(90^\circ - \varphi) = 2 \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi$$

Для получения реактивной мощности трехфазной системы сумму показаний двух ваттметров нужно умножить на $\sqrt{3}/2$

Задания:

Задание №1

В трёхфазную цепь без нулевого провода включена активно-реактивная нагрузка. Необходимо начертить схему включения двух ваттметров для измерения активной мощности нагрузки и определить показания каждого из ваттметров и мощность, потребляемую нагрузкой. Вычислите также активную мощность трёхфазной нагрузки как сумму мощностей каждой из фаз и сравните её с мощностью, полученной по методу двух ваттметров. Линейное напряжение, схема соединения фаз нагрузки и комплексные сопротивления фаз представлены в таблице

№ вар.	Схема соединения нагрузки	Линейное напряжение, В	Фазные сопротивления нагрузки, Ом		
			Фаза А (АВ)	Фаза В (BC)	Фаза С (CA)
1	Δ	380	10+5j	10-5j	15+10j
2	Y	220	20+15j	25	32-24j
3	Δ	380	40+30j	28-21j	35
4	Δ	220	250	200+150j	200-150j
5	Y	380	300	240+180j	120-90j
6	Δ	220	60-45j	100	90+120j
7	Δ	380	190	40+30j	30-40j
8	Y	220	50+20j	50-20j	40
9	Δ	380	70-30j	60	50+20j
0	Δ	220	22	16+12j	24-18j

Контрольные вопросы:

1. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при равномерной нагрузке?
2. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при неравномерной нагрузке?
3. Перечислить общие технические требования к электроизмерительным приборам. Дать классификацию этих приборов.
4. Объяснить устройство и принцип действия, перечислить достоинства и недостатки приборов электродинамической системы.
5. Начертить схему измерения активной мощности в четырехпроводной цепи тремя ваттметрами.
6. Начертить схему измерения активной мощности в трехпроводной цепи двумя ваттметрами.
7. В каком случае при измерении активной мощности в трехпроводной цепи методом двух ваттметров:
 - а) показания обоих из ваттметров будут равны между собой;
 - б) показания одного из ваттметров будут равны нулю;
 - в) показания одного из ваттметров будут иметь отрицательное значение;
 - г) суммарное показание двух ваттметров будет равно нулю?
8. Начертить схемы измерения активной мощности одним ваттметром при симметричной нагрузке, включенной:
 - а) в звезду с доступной нейтральной точкой;
 - б) в треугольник;
 - в) в замкнутый треугольник или звезду с недоступной нейтральной точкой.
9. Начертить схему измерения реактивной мощности в трехфазной цепи одним ваттметром при симметричной нагрузке.
10. Написать формулы для определения активной, реактивной и полной мощностей в трехфазной цепи с активной, индуктивной и емкостной нагрузках.

Практическая работа №13. Общая теория мостовых схем. Расчет мостовых схем.

Цель: приобрести практический навык расчета мостовых схем на переменном и постоянном токе.

Основы теории:

Мостовые схемы широко применяются в электроизмерительной технике для измерения сопротивления, индуктивности, емкости, добротности катушек, угла потерь конденсаторов, взаимной индуктивности и частоты.

На основе мостовых схем создаются приборы для измерения неэлектрических величин (температуры, малых перемещений, и т.д.)

Схема одинарного моста переменного тока приведена на Рис. 5.1.

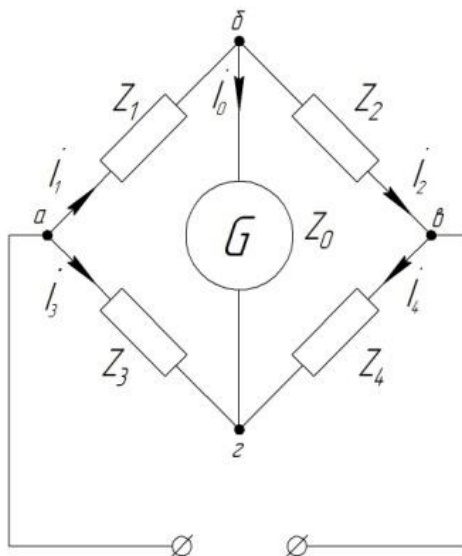


Рис. 5.1. Схема одинарного моста переменного тока.

В диагональ б-г, называемую выходной, включается нагрузка (гальванометр или, в общем случае, нуль-индикатор) с сопротивлением Z_0

Расчет тока в выходной диагонали моста.

Ток в диагонали моста наиболее рационально можно рассчитать методом эквивалентного генератора.

$$\dot{I}_{бг} = \frac{\dot{U}_{бгхх}}{Z_{вх} + Z_0}$$

Для определения $U_{бгхх}$ мысленно «разрываем» диагональ моста и производим расчет по схеме Рис. 5.2.

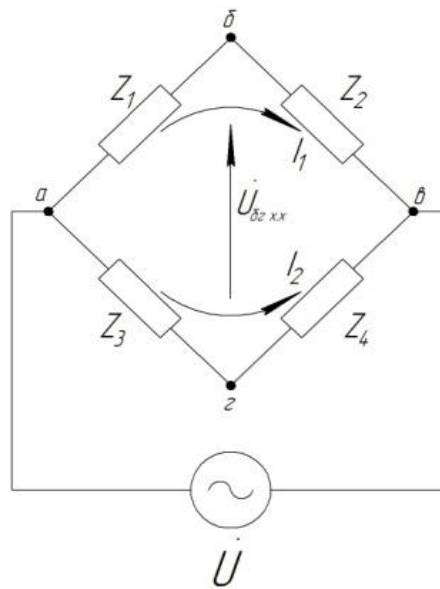


Рис. 5.2. Схема моста для расчета $U_{\delta z, xx}$

Согласно второго закона Кирхгофа

$$-\dot{U}_{\delta z, xx} - \dot{I}_2 \cdot Z_3 + \dot{I}_1 \cdot Z_1 = 0.$$

Тогда:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\delta z, xx} = \dot{I}_1 \cdot Z_1 + \dot{I}_2 \cdot Z_3 &= \dot{U} \cdot \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4} \right) = \dot{U} \cdot \left[\frac{Z_1 \cdot Z_3 + Z_1 \cdot Z_4 - Z_1 \cdot Z_3 - Z_2 \cdot Z_3}{(Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4)} \right] = \\ &= \dot{U} \cdot \left[\frac{Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3}{(Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4)} \right] \end{aligned}$$

Входное сопротивление моста при замкнутых ЭДС рассчитывается по схеме Рис.

5.3.

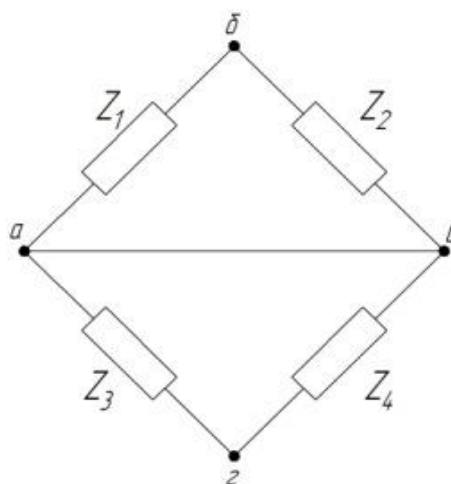


Рис. 5.3. Схема электрическая принципиальная для расчёта входного сопротивления моста.

$$Z_{ax} = Z_{6e} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{Z_3 \cdot Z_4}{Z_3 + Z_4} = \frac{(Z_1 \cdot Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_3 \cdot Z_4) \cdot (Z_1 + Z_2)}{(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4)},$$

$$Z_{6x} + Z_0 = \frac{Z_0(Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_1 \cdot Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_3 \cdot Z_4) \cdot (Z_1 + Z_2)}{(Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4)}.$$

Таким образом:

$$\dot{I}_0 = \dot{U} \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3}{Z_0 \cdot (Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_1 \cdot Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_3 \cdot Z_4) \cdot (Z_1 + Z_2)}$$

Равновесие моста имеет место при подборе плеч таким образом, чтобы $\dot{I}_0 = 0$, а это возможно лишь при

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

$$\text{т.к. } Z_1 = R_1 + jX_1, Z_2 = R_2 + jX_2, Z_3 = R_3 + jX_3, Z_4 = R_4 + jX_4,$$

то, подставив выражения комплексных сопротивлений в уравнение равновесия моста, получим два равенства мнимых и вещественных членов:

$$R_1 \cdot R_4 - X_1 \cdot X_4 = R_2 \cdot R_3 - X_2 \cdot X_3,$$

$$R_1 \cdot jX_4 + R_4 \cdot jX_1 = R_2 \cdot jX_3 + R_3 \cdot jX_2.$$

Наличие двух уравнений равновесия свидетельствует о необходимости регулирования не менее двух параметров моста переменного тока для достижения его равновесия.

Комплексные сопротивления плеч моста могут быть представлены и в показательной форме:

$$Z_1 = z_1 \cdot e^{j\varphi_1}, \quad Z_2 = z_2 \cdot e^{j\varphi_2}, \quad Z_3 = z_3 \cdot e^{j\varphi_3}, \quad Z_4 = z_4 \cdot e^{j\varphi_4},$$

Тогда равновесие моста возможно при

$$z_1 \cdot z_4 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = z_2 \cdot z_3 \cdot e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)},$$

Или

$$z_1 \cdot z_4 = z_2 \cdot z_3,$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3.$$

Последнее условие $\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$ указывает при каком расположении плеч, в зависимости от их характера, можно уравновесить мост. Если смежные плечи, например третье и четвертое, имеют чисто активные сопротивления R_3 и R_4 , т.е. $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$ то два других смежных плеча (первое и второе) должны иметь одно индуктивный, а другое ёмкостный характер. Если противоположные плечи имеют чисто активный характер, то одно из двух противоположных должно иметь индуктивный характер, а другое - ёмкостный.

Эти требования и предопределяют различные схемы для измерения физических величин, перечень которых был указан в начале раздела.

Схема моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями

$$Z_1 = R_x + j \frac{1}{\omega C_x}, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = R_n + j \frac{1}{\omega C_N}, \quad Z_4 = R_2,$$

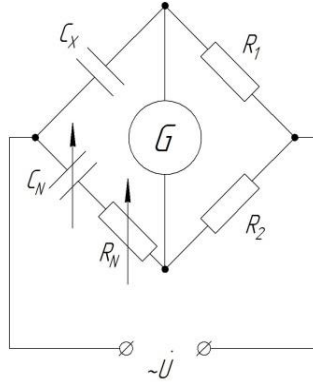


Рис. 5.4. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями.

Условие равновесия моста

$$R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2}, \quad C_x = C_N \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$\operatorname{tg} \Delta = \omega \cdot R_x \cdot C_x = \omega \cdot R_N \cdot C_N$$

Схема моста переменного тока для измерения емкости конденсатора, обладающего большими потерями

$$Z_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x}, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_N} + j\omega C_N}, \quad Z_4 = R_2,$$

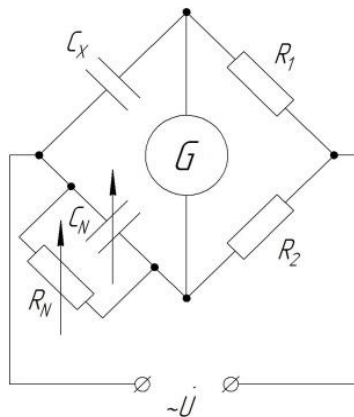


Рис. 5.5. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего большими потерями.

$$\frac{R_2}{\frac{1}{R_X} + j\omega C_X} = \frac{R_L}{\frac{1}{R_X} + j\omega C_N}$$

$$R_X = R_N \frac{R_1}{R_2}, \quad C_X = C_N \frac{R_2}{R_1}.$$

$$\operatorname{tg} \Delta = \frac{1}{\omega \cdot R_N \cdot C_N} = \frac{1}{\omega \cdot R_X \cdot C_X}$$

Схема моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике (например в кабелях высокого напряжения)

$$Z_1 = R_X + j \frac{1}{\omega C_X}, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = j \frac{1}{\omega C_N}, \quad Z_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2}$$

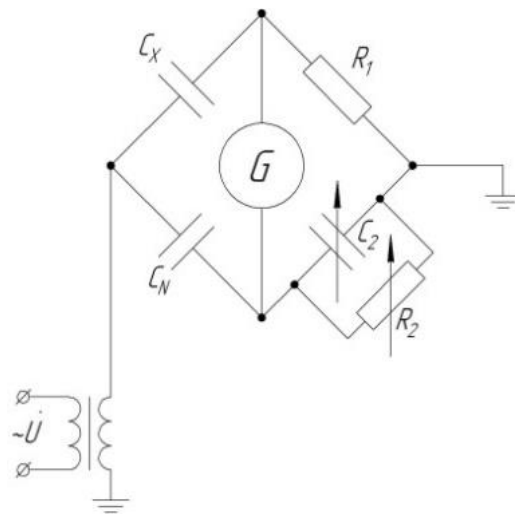


Рис. 5.6. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения потерь в диэлектрике.

Условия равновесия моста

$$\frac{R_X + \frac{1}{j\omega C_X}}{R_1} = \frac{1}{j\omega C_N} \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right)$$

Или

$$R_X = R_1 \frac{C_2}{C_N}, \quad C_X = C_N \frac{R_2}{R_1},$$

$$\operatorname{tg} \Delta = \omega \cdot C_X \cdot R_X$$

Схемы мостов переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением $R_X \ll R_N$ и большим активным сопротивлением $R_X \gg R_N$.

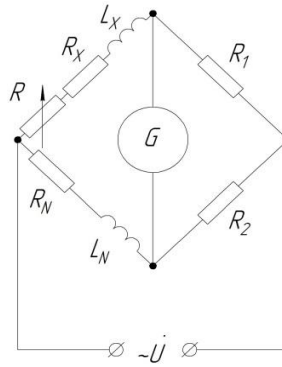


Рис.5.7. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением $R_x \ll R_N$

$$Z_1 = R + R_x + j\omega L_x,$$

$$Z_2 = R_1,$$

$$Z_3 = R_N + j\omega L_N,$$

$$Z_4 = R_2,$$

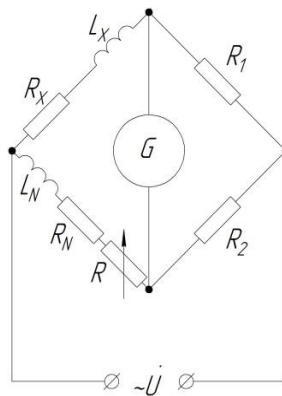


Рис.5.8. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением $R_x \gg R_N$

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x,$$

$$Z_2 = R_1,$$

$$Z_3 = R + R_N + j\omega L_N,$$

$$Z_4 = R_2,$$

Условие равновесия моста:

$$(R + R_x + j\omega L_x) \cdot R_2 = (R_N + j\omega L_N) \cdot R_1,$$

$$(R_x + j\omega L_x) \cdot R_2 = (R + R_N + j\omega L_N) \cdot R_1,$$

Или

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2} - R; \quad L_x = L_N \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_x = (R_N + R) \frac{R_1}{R_2}, \quad L_x = L_N \frac{R_1}{R_2}.$$

Схема моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушки с использованием образцового конденсатора.

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = R_2, \quad Z_4 = \frac{R}{1 + j\omega C}.$$

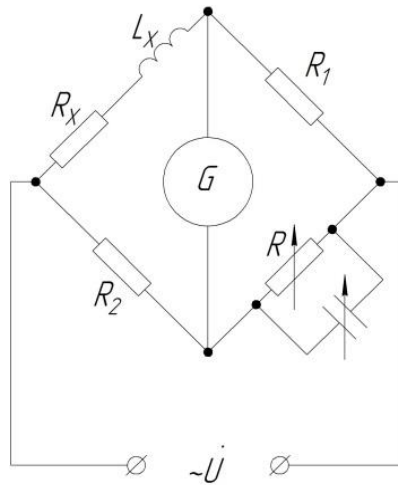


Рис.5.9. Схема электрическая принципиальная моста переменного тока для измерения индуктивности и добротности катушки с помощью образцового конденсатора.

Условие равновесия моста:

$$\frac{(R_x + j\omega L_x) \cdot R}{1 + j\omega CR} = R_1 \cdot R_2$$

Или

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R}; \quad L_x = C \cdot R_1 \cdot R_2.$$

По полученным значениям R_x и L_x или C и R определяем добротность катушки:

$$Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega \cdot C \cdot R.$$

На основании вышеизложенного перед непосредственным измерением следует произвести предварительные расчёты ожидаемых значений элементов моста переменного тока.

Подставив значения физических величин, не составит труда с помощью простых алгебраических действий получить результат.

Контрольные вопросы:

1. Приведите векторную диаграмму конденсатора с малыми диэлектрическими потерями.
2. Приведите векторную диаграмму конденсатора с большими диэлектрическими
3. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями и формулы расчётных величин.
4. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего большими потерями и формулы расчётных величин.
5. Приведите схему моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике и формулы расчётных величин.
6. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
7. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
8. Приведите схему моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушек с использованием образцового конденсатора и формулы расчётных величин.
9. Для чего используются мосты постоянного тока?
10. Для чего используются мосты переменного тока?
11. Какие типы мостов Вы знаете?
12. С какой целью используется двойной мост постоянного тока?
13. Как определить условие равновесия моста постоянного тока?
14. Как определить условие равновесия моста переменного тока?

Практическая работа №14. Измерения физических величин. Методы электрических измерений неэлектрических величин.

Цель: приобрести навыки владения методов электрических измерений неэлектрических величин.

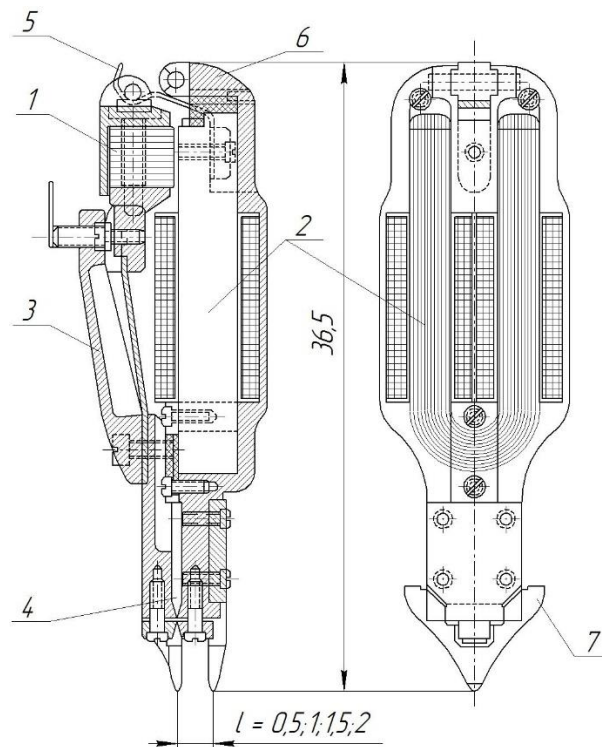
Основы теории:

Одними из первых приборов, которые позволяли производить измерения неэлектрических величин путём преобразования их в величины электрические, являются тензометры.

Тензометр – прибор, предназначенный для измерения линейных и угловых деформаций.

Так как абсолютные изменения длин при деформациях могут составлять миллионные доли метра (микроны), то их необходимо преобразовать в величины электрические, которые современные средства измерений позволяют измерять с очень высокой степенью точности.

Высокой точностью, в частности отличаются магнитные методы измерений. Кроме того, они отличаются простотой и кратковременностью процесса измерения.



Электромагнитный тензометр Лера

Рис.6.1. Электромагнитный тензометр.

Линейная деформация вызывает изменение величины воздушного промежутка между якорем (1) и сердечником электромагнита (2). Якорь укреплен на подвижной ножке (3), имеющей шарнир (4). Арретир тензомера состоит из плоской пружины (5) и эксцентрика (6). Дифференциальный микрометрический винт служит для установки индикатора на нуль. Прибор прижимается к детали (если необходимо измерить деформацию) или деталям (если между ними присутствует прецессия расстояния) заплечиками (7).

Пример расчёта магнитной цепи электромагнитного тензомера

Упрощённая магнитная система тензомера с катушкой представлена на Рис.6.2., на Рис.6.3. представлена кривая намагничивания материала магнитопровода.

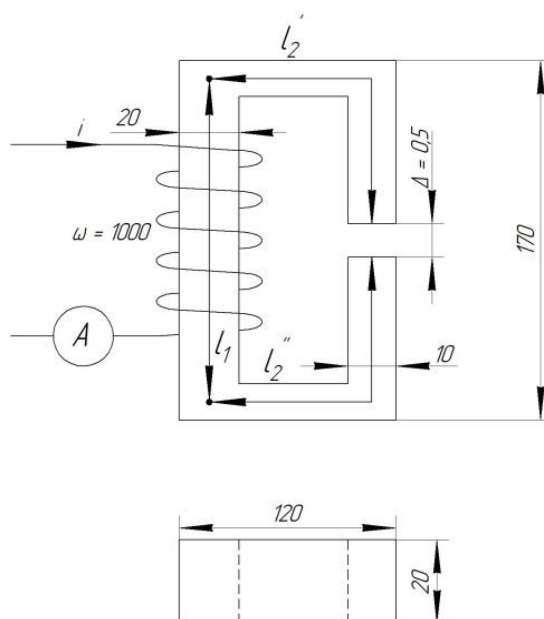


Рис.6.2. Магнитная система тензомера с катушкой.

$$l_1 = 160 \text{ мм}, \quad l_2' + l_2'' = 370 \text{ мм}, \quad S_1 = 4 \text{ см}^2, \quad S_2 = 2 \text{ см}^2, \quad S_{\Delta} = 2 \text{ см}^2.$$

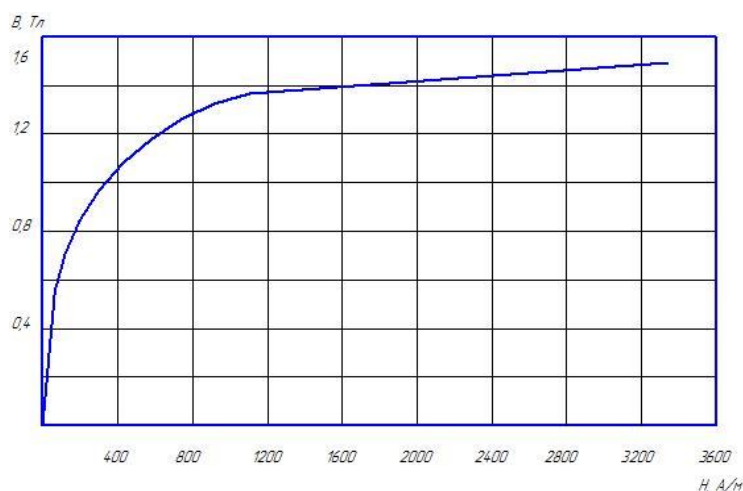


Рис.6.3. Кривая намагничивания материала магнитопровода.

Метод измерения деформации (прецессии расстояния между деталями) можно предложить следующий:

поместим между заплечиками (7) тензометра датчик магнитометра и, автоматическим изменением тока в катушке, будем поддерживать индукцию в зазоре $B_{\Delta const} = 1,2$ Тл. При изменении величины зазора (расстояния между заплечиками тензометра) будет изменяться сопротивление магнитной цепи, представленной на Рис.6.2.

Таким образом по изменению тока в катушке можно судить об изменении величины зазора (деформации).

По закону полного тока

$$I \cdot \omega = \sum_{i=1}^n H_n \cdot l_n,$$

$$\text{откуда } I = \frac{\sum_{i=1}^n H_n \cdot l_n}{\omega}.$$

Определим падение магнитного напряжения в магнитной цепи и ток в катушке при $\Delta = 0,5$ мм.

По условию магнитная индукция в зазоре и на участке $I'_2 = I''_2$ должна быть 1,2 Тл. Этому значению индукции соответствует (согласно кривой намагничивания) напряжённость магнитного поля $H_{\Delta} = H_2 = 550$ а/м. В соответствии с законом постоянства магнитного потока $\Phi = B_{\Delta} \cdot S_{\Delta} = B_2 \cdot S_2 = B_1 \cdot S_1$, откуда

$$B_1 = \frac{B_2 \cdot S_2}{S_1} = \frac{1,2 \cdot 2}{4} = 0,6 \text{ Тл.}$$

Значению магнитной индукции B_1 соответствует (согласно кривой намагничивания) напряжённость магнитного поля $H_1 = 100$ а/м.

Напряжённость магнитного поля в зазоре определим из уравнения

$$B = \mu_0 \mu \cdot H.$$

$$H_{\Delta} = \frac{B_{\Delta}}{\mu_0} = \frac{1,2 \text{ Тл}}{1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}} = 9,6 \cdot 10^5 \text{ а/м.}$$

$$\sum H \cdot l_{\Delta=0,5} = 100 \cdot 0,16 + 550 \cdot 0,37 + 9,6 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 699,5 [a].$$

Откуда ток в катушке:

$$I_{\Delta=0,5} = \frac{699,5}{1000} = 0,6995 [A].$$

Пусть в результате деформации сжатия зазор уменьшился на 0,05мм и стал равным 0,45мм.

С уменьшением зазора уменьшится и падение магнитного напряжения:

$$\sum H \cdot l_{\Delta=0,5} = 100 \cdot 0,16 + 550 \cdot 0,37 + 9,6 \cdot 10^5 \cdot 0,45 \cdot 10^{-3} = 651,5[A].$$

Для поддержания $B_{\Delta const}$ уменьшится и ток в катушке:

$$I_{\Delta=0,45} = \frac{651,5}{1000} = 0,6515[A].$$

Зарегистрировать уменьшение тока: $\Delta I = 0,6995 - 0,6515 = 0,048[A] = 48mA$ не представляет ни малейшего затруднения.

Шкалу амперметра можно проградуировать непосредственно в миллиметрах (или микронах).

Контрольные вопросы:

1. Какими приборами измеряется сила тока, напряжение и сопротивление?
2. Назовите преимущества приборов электромагнитной системы.
3. На каком принципе основано действие приборов магнитоэлектрической системы?
4. Для чего к амперметру подключают шунт?
5. По какой формуле можно вычислить величину добавочного сопротивления, присоединяемого к вольтметру?
6. Какими приборами измеряют расход электрической энергии?
7. Для чего служат датчики?
8. Изобразите схему включения ваттметра.
9. По какой формуле вычисляется неизвестное сопротивление, измеренное мостом, при его электрическом равновесии?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Шошин, Е. Л. Электроника. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / Е. Л. Шошин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 238 с. — ISBN 978-5-4497-0508-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/100742.html>

2. Электроника : учебное пособие / В. И. Никулин, Д. В. Горденко, С. В. Сапронов, Д. Н. Резеньков. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 198 с. — ISBN 978-5-4497-0520-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94213.html>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника : учебно-методическое пособие / К. П. Латышенко. — 2-е изд. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 209 с. — ISBN 978-5-4487-0458-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79677.html>

2. Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-9729-0346-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86566.html>

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

3. Методические указания по выполнению расчетно-графических работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

№ п/п	Содержание	Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа № 1. Полупроводниковые приборы. Параметрический стабилизатор напряжения.	
4.2	Лабораторная работа № 2. Биполярные транзисторы. Характеристики биполярного транзистора.	
4.3	Лабораторная работа №3. Полевые транзисторы. Характеристики полевого транзистора.	
4.4	Лабораторная работа №4. Неуправляемые выпрямители с активной нагрузкой. Неуправляемые выпрямители.	
4.5	Лабораторная работа №5. Транзисторные усилители. Каскад усилителя переменного тока на биполярном транзисторе.	
4.6	Лабораторная работа №6. Транзисторные усилители. Усилитель на полевом транзисторе.	
4.7	Лабораторная работа №7. Тиристоры. Тиристор.	
7.8	Лабораторная работа №8. Интегральные операционные усилители. Операционный усилитель.	
4.9	Лабораторная работа №9. Генераторы. Генератор прямоугольных импульсов.	
4.10	Лабораторная работа №10. Аналоговые электроизмерительные приборы. Аналоговые электромеханические измерительные приборы	
4.11	Лабораторная работа №11. Общая теория мостовых схем. Потенциометры и измерительные мосты	
4.12	Лабораторная работа №12. Мосты переменного тока для измерения ёмкости и угла потерь конденсаторов, индуктивности и добротности катушек и частоты. Потенциометры и измерительные мосты	
4.13	Лабораторная работа №13. Электронные измерительные приборы. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы	

- 4.14 Лабораторная работа №14. Электронные измерительные приборы. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы.
 - 4.15 Лабораторная работа №15. Цифровые измерительные приборы. Измерения сопротивления изоляции.
 - 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
 - 5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины
- Приложения

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель дисциплины является освоение принципов действия полупроводниковых приборов, усилительных, импульсных, логических, цифровых и преобразовательных устройств и основным особенностям их использования в электротехнических и электромеханических установках, освоение современных средств и методов электрических измерений, обработки и представления их результатов.

Задачи дисциплины является в результате изучения дисциплины специалист должен приобрести умение четко представлять принцип действия электронных элементов и устройств, экспериментальным путем определить их параметры и характеристики, а также оценивать технико-экономическую эффективность применения этих устройств, оптимально выбрать средство измерения для поставленной задачи измерения, выполнить измерение, обработать и надлежащим образом представить его результаты.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

– Комплект типового лабораторного оборудования «Теоретические основы электротехники».

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

3. Наименование лабораторных работ

Для очно-заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы: Лабораторная работа № 1. Полупроводниковые приборы. Параметрический стабилизатор напряжения – 2 часа; Лабораторная работа № 2. Биполярные транзисторы. Характеристики биполярного транзистора – 2 часа; Лабораторная работа №10. Аналоговые электроизмерительные приборы. Аналоговые электромеханические измерительные приборы – 2 часа, практическая подготовка – 2 часа; Лабораторная работа №11. Общая теория мостовых схем. Потенциометры и измерительные мосты – 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
5 семестр			

1	Лабораторная работа № 1. Полупроводниковые приборы. Параметрический стабилизатор напряжения. Ознакомить студентов со схемой, принципом работы методом расчёта и возможностями параметрического стабилизатора напряжения.	2	
2	Лабораторная работа № 2. Биполярные транзисторы. Характеристики биполярного транзистора. Освоить методику получения входных и выходных характеристик транзистора, а также определения его динамических параметров.	2	
3	Лабораторная работа №3. Полевые транзисторы. Характеристики полевого транзистора. Изучение особенностей работы полевого транзистора с управляемым переходом, освоение методики получения его стокозатворной и выходных характеристик.	2	
4	Лабораторная работа №4. Неуправляемые выпрямители с активной нагрузкой. Неуправляемые выпрямители. Изучение схем однофазных и трёхфазных выпрямителей, сравнение теоретических и экспериментальных значений выпрямленного напряжения, ознакомление с формами кривых выпрямленного напряжения.	2	
5	Лабораторная работа №5. Транзисторные усилители. Каскад усилителя переменного тока на биполярном транзисторе. Изучить схему каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером, практически освоить методику установки начальной рабочей точки транзистора в режиме А, методику получения амплитудной и частотной характеристик усилителя, определения его входного и выходного сопротивлений, проанализировать влияние на коэффициент усиления значений параметров отдельных элементов схемы.	2	
6	Лабораторная работа №6. Транзисторные усилители. Усилитель на полевом транзисторе. Исследовать работу усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком, снять его амплитудную и амплитудно-частотную характеристики, определить входное и выходное сопротивления.	2	
7	Лабораторная работа №7. Тиристоры. Тиристор. Исследовать процессы отпирания и запираания тиристора, снять статические вольтамперные характеристики цепи управления и анодной цепи.	2	

8	Лабораторная работа №8. Интегральные операционные усилители. Операционный усилитель. Изучить основные свойства операционного усилителя, познакомиться с некоторыми функциями, выполняемыми с помощью операционных усилителей и соответствующими схемами их включения.	2	
9	Лабораторная работа №9. Генераторы. Генератор прямоугольных импульсов. Изучить принципиальную схему, назначение отдельных её элементов и работу генератора прямоугольных импульсов на базе операционного усилителя.	2	
	Итого за 5 семестр:	18	
6 семестр			
10	Лабораторная работа №10. Аналоговые электроизмерительные приборы. Аналоговые электромеханические измерительные приборы Измерение тока, напряжения, мощности, $\cos \varphi$ электромеханическими измерительными приборами.	4	2
11	Лабораторная работа №11. Общая теория мостовых схем. Потенциометры и измерительные мосты Измерение активного сопротивления 4-х плечным мостом постоянного тока.	4	
12	Лабораторная работа №12. Мосты переменного тока для измерения ёмкости и угла потерь конденсаторов, индуктивности и добротности катушек и частоты. Потенциометры и измерительные мосты Измерение индуктивности и добротности катушек и ёмкости конденсаторов 4-х плечным мостом переменного тока.	4	2
13	Лабораторная работа №13. Электронные измерительные приборы. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы Измерение тока, напряжения, сопротивления, частоты электронными измерительными приборами.	2	
14	Лабораторная работа №14. Электронные измерительные приборы. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы. Исследование периодических процессов с помощью электронно-лучевого осциллографа.	2	
15	Лабораторная работа №15. Цифровые измерительные приборы. Измерения сопротивления изоляции. Измерение сопротивления изоляции проводниковых материалов и электрических машин.	2	2

	Итого за 6 семестр:	18	6
	Итого:	36	6

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Полупроводниковые приборы. Параметрический стабилизатор напряжения.

Цель работы: Ознакомить студентов со схемой, принципом работы методом расчёта и возможностями параметрического стабилизатора напряжения.

Основы теории:

Основным элементом параметрического стабилизатора напряжения является стабилитрон, вид вольтамперной характеристики которого представлен на рис. 1.1.

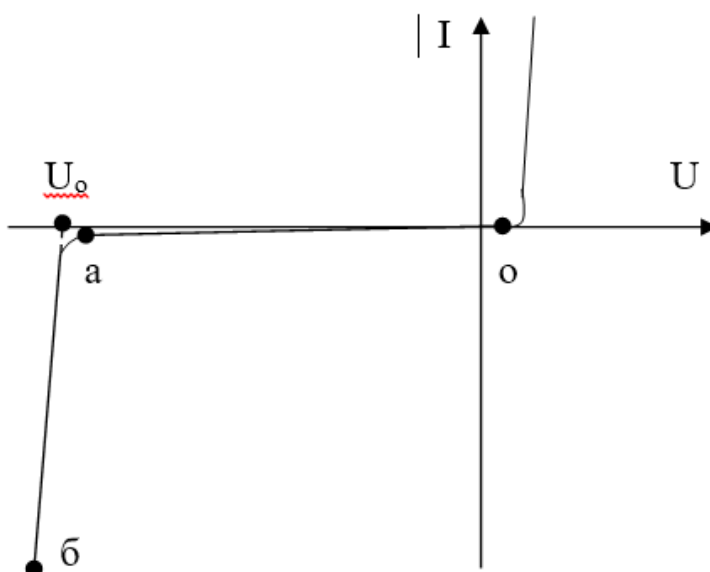


Рисунок 1.1

При включении напряжения в проводящем направлении характеристика стабилитрона ничем не отличается от характеристики обычных диодов, используемых в схемах выпрямителей. При обратном включении напряжения до некоторого его значения сопротивление стабилитрона остаётся очень высоким, ток через него практически отсутствует (участок характеристики « oa »). При дальнейшем увеличении напряжения наступает пробой диода, в результате которого его сопротивление резко падает, вследствие чего незначительному увеличению напряжения соответствует значительное увеличение тока (участок « $аб$ »). В схемах стабилизаторов напряжения стабилитроны используются в режиме пробоя.

Схема параметрического стабилизатора напряжения, изображенная на рис. 1.2, состоит из стабилизатора $Ст$ и балластного сопротивления $Rб$. На вход стабилизатора подаётся напряжение от нестабилизированного источника питания $Uп$. Сопротивление нагрузки $Rн$ включается параллельно со стабилитроном. Напряжение питания должно быть выше

напряжения пробоя, тогда разность напряжений $U_{\text{п}} - U_{\text{ст}}$ падает на балластном сопротивлении. Снижение напряжения питания приведёт к небольшому снижению напряжения на стабилитроне, при этом ток через него, а следовательно, через $R_{\text{б}}$ резко уменьшится, что приведёт к уменьшению падения напряжения на $R_{\text{б}}$. Та-ким образом, снижение напряжения $U_{\text{п}}$ приводит почти к такому же снижению напряжения на балластном сопротивлении и лишь к незначительному снижению стабилизируемого напряжения на нагрузке.

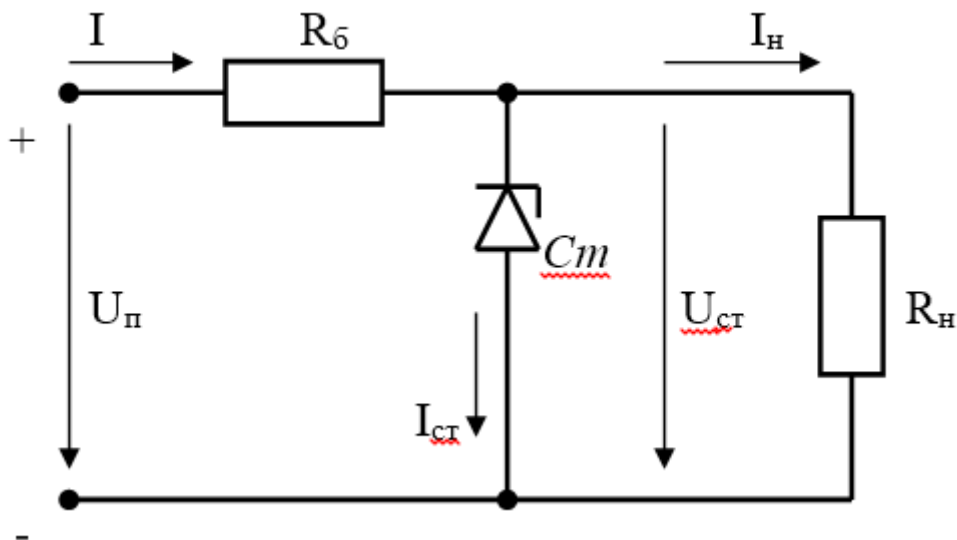


Рисунок 1.2

При повышении $U_{\text{п}}$ напряжение $U_{\text{ст}}$ увеличится незначительно, вследствие чего токи $I_{\text{ст}}$ и I возрастут настолько, что основная часть повышения напряжения распределится на $R_{\text{б}}$.

Для количественной оценки эффекта стабилизации характеристику стабилитрона в области рабочей полярности напряжения представим состоящей из двух прямых (рис. 1.1). До напряжения U_0 будем считать сопротивление стабилитрона бесконечно большим; при напряжениях, бóльших U_0 , наклон вольтамперной характеристики определяется динамическим сопротивлением

$$R_{\text{ст}} = \Delta U_{\text{ст}} / \Delta I_{\text{ст}},$$

на этом участке напряжение на стабилитроне

$$U_{\text{ст}} = U_0 + R_{\text{ст}} I_{\text{ст}}.$$

При $U_{\text{ст}} < U_0$ стабилитрон закрыт, эффект стабилизации отсутствует и напряжение на нагрузке равно

$$U_{\text{н}} = U_{\text{п}} R_{\text{н}} / (R_{\text{б}} + R_{\text{н}}).$$

При $U_{\text{ст}} > U_0$ для схемы рис. 1.2 справедлива система уравнений:

$$U_{\text{ст}} = U_0 + R_{\text{ст}} I_{\text{ст}}$$

$$U_{\Pi} = I R_{\delta} + U_{\text{ст}}$$

$$I = I_{\text{ст}} + I_{\text{н}}$$

$$I_{\text{н}} = U_{\text{ст}} / R_{\text{н}}$$

При заданных напряжении источника питания, сопротивлении нагрузки и напряжении на стабилитроне (которое, конечно, должно быть в пределах рабочего участка его характеристики) система (1) позволяет найти выражение для вычисления необходимого балластного сопротивления:

$$R_{\delta} = R_{\text{ст}} R_{\text{н}} (U_{\Pi} - U_{\text{ст}}) / [U_{\text{ст}} R_{\text{ст}} + R_{\text{н}} (U_{\text{ст}} - U_0)] \quad (2)$$

Наименьшее напряжение питания, при котором будет сохраняться стабилизация, как следует из (1),

$$U_{\Pi \text{ min}} = U_0 (R_{\delta} / R_{\text{н}} + 1)$$

при этом

$$U_{\text{ст}} = U_0, \quad I_{\text{ст}} = 0, \quad I = I_{\text{н}} = U_0 / R_{\text{н}} = U_{\Pi} / (R_{\text{н}} + R_{\delta}).$$

Из (3) следует, что R_{δ} желательно иметь как можно меньше, чтобы расширить диапазон возможного снижения напряжения питания, поэтому при вычислении R_{δ} в (2) необходимо принять $U_{\Pi} = U_{\Pi \text{ min}}$, а значение $U_{\text{ст}}$, учитывая нелинейность вольтамперной характеристики, принять несколько больше U_0 (в начале линейной части рабочего участка характеристики).

Используя систему уравнений (1), можно также найти значение стабилизированного напряжения, соответствующее значению U_{Π} , при принятом R_{δ} :

$$U_{\text{ст}} = R_{\text{н}} (R_{\text{ст}} U_{\Pi} + R_{\delta} U_0) / [R_{\text{н}} R_{\delta} + R_{\text{ст}} (R_{\text{н}} + R_{\delta})]$$

Приращению U_{Π} будет соответствовать приращение $U_{\text{ст}}$:

$$\Delta U_{\text{ст}} = \Delta U_{\Pi} R_{\text{н}} R_{\text{ст}} / [R_{\text{н}} R_{\delta} + R_{\text{ст}} (R_{\text{н}} + R_{\delta})]$$

Эффект стабилизации напряжения определяется отношением:

$$\Delta U_{\text{ст}} / \Delta U_{\Pi} = R_{\text{н}} R_{\text{ст}} / [R_{\text{н}} R_{\delta} + R_{\text{ст}} (R_{\text{н}} + R_{\delta})]$$

Чем меньше это отношение, тем выше эффект стабилизации. Из (6) следует, что $\Delta U_{\text{ст}} / \Delta U_{\Pi}$ тем меньше, чем больше R_{δ} . Таким образом, при расширении нижнего диапазона изменения U_{Π} за счёт уменьшения R_{δ} эффект стабилизации уменьшается, поэтому величину балластного сопротивления необходимо выбирать таким образом, чтобы удовлетворить оба требования: и в отношении качества стабилизации, и в отношении нижнего порога напряжения питания. Кроме того, ток стабилитрона не должен превышать ток, допустимый по условиям нагрева. Из (1) следует:

$$I_{\text{ст}} = (U_{\Pi} - U_0 - I_{\text{н}} R_{\delta}) / (R_{\delta} + R_{\text{ст}}),$$

Наибольшее значение $I_{\text{ст}}$ принимает при отсутствии нагрузки и при максимальном ожидаемом напряжении питания:

$$I_{\text{ст max}} = (U_{\text{п max}} - U_0) / (R_6 + R_{\text{ст}}) < I_{\text{ст доп}}$$

После расчёта балластного сопротивления по формуле (2) необходимо проверить выполнение условия (7). Если последнее условие не выполняется, то необходимо либо увеличить R_6 , либо выбрать более мощный стабилизатор.

В некоторых случаях возникает необходимость стабилизации напряжения питания при изменении сопротивления нагрузки. При $R_{\text{н}}=0$ всё приложенное напряжение падает на сопротивлении R_6 . Минимальное сопротивление нагрузки, при котором начинается эффект стабилизации, может быть найден из выражения (3):

$$R_{\text{н min}} = R_6 U_0 / (U_{\text{п}} - U_0)$$

при этом $R_{\text{н}}$ напряжение $U_{\text{ст}} = U_0$. С увеличением $R_{\text{н}}$ напряжение на стабилизаторе будет расти, и при отсутствии нагрузки ($R_{\text{н}} = \infty$) примет наибольшее значение:

$$U_{\text{ст max}} = (U_{\text{п}} R_{\text{ст}} + U_0 R_6) / (R_{\text{ст}} + R_6)$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо выполнить следующее:

- снять вольтамперную характеристику стабилизатора;
- определить параметры рабочего участка характеристики: U_0 и $R_{\text{ст}}$;
- вычислить значение балластного сопротивления при заданных сопротивлении нагрузки и минимальном напряжении источника питания;
- определить зависимость стабилизируемого напряжения от напряжения источника питания при постоянном $R_{\text{н}}$;
- определить зависимость стабилизируемого напряжения от сопротивления нагрузки при постоянном $U_{\text{п}}$.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Собрать схему, изображённую на рис. 1.3.
3. Не подключая сопротивления нагрузки и меняя напряжение питания в соответствии со значениями, записанными в таблице 1.1, снять вольт-амперную характеристику стабилизатора при прямой и обратной полярности напряжения.

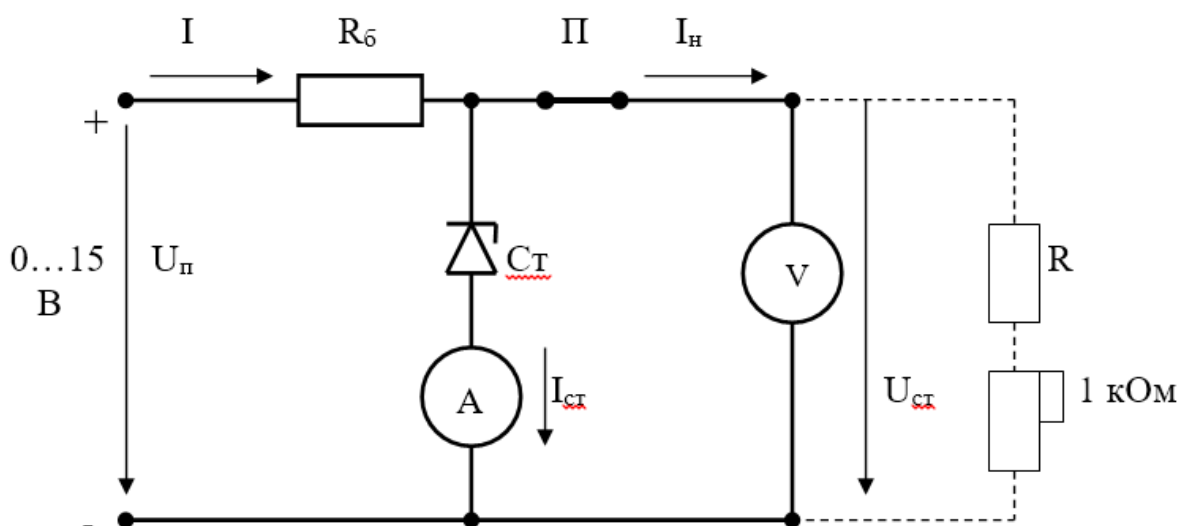


Рисунок 1.3

4. По данным таблицы 1.1 построить вольтамперную характеристику стабилитрона, определить значения U_0 и $R_{ст}$

Таблица 1.1.

$U_{ст}, В$	Положительная полярность							Отрицательная полярность						
	0,4	0,55	0,6	0,67	0,7	0,74	0,77	6	8	9	9,5	9,6	9,7	9,8
$I_{ст}, мА$														

5. Для $U_{п \min}$ и $R_{н}$, заданных преподавателем, вычислить $R_{б}$ и выбрать из имеющихся ближайшее большее.

6. Установить в схеме заданное $R_{н}$ и принятое $R_{б}$, проверить при заданном $U_{п \min}$ значение $U_{ст}$, записать его и сравнить со значением, принятым при вычислении $R_{б}$.

7. Задавая значения напряжения питания, указанные в таблице 1.2, при постоянном $R_{н}$, заданном преподавателем, записать в таблицу полученные значения стабилизированного напряжения.

Таблица 1.2.

$U_{п}, В$	10	11	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
$U_{ст}, В$									

8. Построить график зависимости $U_{ст} = f(U_{п})$.
9. По формуле (8) вычислить минимальное сопротивление нагрузки, при котором происходит стабилизация напряжения. В схеме рис. 1.3 амперметр и переключку «П» поменять местами. Плавно уменьшая переменным резистором 1 кОм сопротивление нагрузки, при $U_{п} = 15В$ установить токи в цепи нагрузки, указанные в таблице 1.3, и записать соответствующие этим токам напряжения на нагрузке. Вычислить по записанным в таблице формулам напряжение на балластном сопротивлении, ток, потребляемый от источника питания, ток через стабилитрон и сопротивление нагрузки. Отметить сопротивление нагрузки, при котором стабилитрон запирается, сравнить его с вычисленным. По данным таблицы построить график зависимости $U_{ст} = f(I_{н})$.

Таблица 1.3.

$I_{н}, \text{мА}$	6	7	8	9	10	12	15	18
$U_{ст}, \text{В}$								
$U_{б} = U_{п} - U_{ст}$								
$I = U_{б} / R_{б}$								
$I_{ст} = I - I_{н}$								
$R_{н} = U_{ст} / I_{н}$								

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите вольтамперную характеристику стабилитрона.
2. Поясните принцип работы параметрического стабилизатора напряжения.
3. Как, пользуясь вольтамперной характеристикой стабилитрона, рассчитать его динамическое сопротивление?

4. От чего зависит нижний порог стабилизируемого напряжения?
5. Как величина балластного сопротивления влияет на качество стабилизации напряжения?
6. Чем ограничивается минимальное значение балластного сопротивления?
7. Как сопротивление нагрузки влияет на качество работы стабилизатора напряжения?

Лабораторная работа № 2. Биполярные транзисторы. Характеристики биполярного транзистора.

Цель работы: Освоить методику получения входных и выходных характеристик транзистора, а также определения его динамических параметров.

Основы теории:

При выполнении расчётов схем с биполярными транзисторами используют их входные и выходные характеристики.

Входными характеристиками называют зависимость тока базы i_b от напряжения эмиттер-база $U_{эб}$ при постоянном напряжении коллектор-эмиттер $U_{кэ}$. Вид этих характеристик представлен на рис. 2.1.

Следует заметить, что входные характеристики, полученные при различных напряжениях $U_{кэ}$, отличных от нуля, практически совпадают.

По входным характеристикам определяют такие динамические характеристики транзистора, как входное динамическое сопротивление

$$h_{11} = \Delta U_{эб} / \Delta i_b$$

представляющее собой отношение приращения напряжения $U_{эб}$ к соответствующему приращению тока базы при постоянном напряжении коллектор-эмиттер, и коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12} = \Delta U_{эб} / \Delta U_{кэ}$$

представляющий собой отношение соответствующих друг другу приращений напряжений эмиттер-база и коллектор-эмиттер при постоянном токе базы.

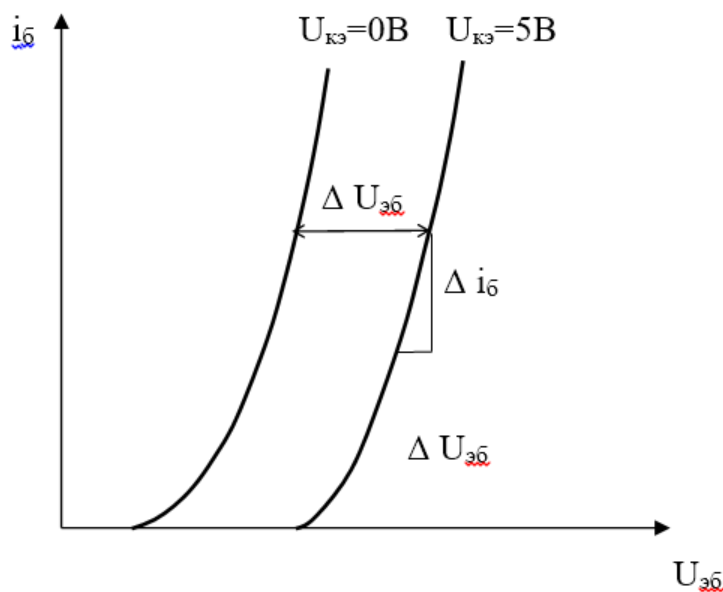


Рисунок 2.1

Выходные характеристики отражают зависимость тока коллектора I_K от напряжения коллектор-эмиттер при различных токах базы, их вид представлен на рис. 2.2. По выходным характеристикам определяют такие параметры, как коэффициент усиления тока базы

$$h_{21} = \Delta I_K / \Delta i_6$$

представляющий собой отношение приращения тока коллектора к соответствующему приращению тока базы при постоянном напряжении коллектор-эмиттер, и выходная динамическая проводимость

$$h_{22} = \Delta I_K / \Delta U_{KЭ}$$

представляющая собой отношение приращения тока коллектора к соответствующему приращению напряжения коллектор-эмиттер при постоянном токе базы.

Вследствие нелинейности как входных, так и выходных характеристик все перечисленные параметры имеют различные значения для различных рабочих точек.

Область выходных характеристик, в которой они практически линейны и в которой ток коллектора мало зависит от напряжения коллектор-эмиттер, а определяется током базы, называют активной зоной. При увеличении тока коллектора и напряжения $U_{KЭ}$ растёт мощность тепловых потерь в транзисторе. Эти потери не должны превышать допустимого для данного транзистора значения $p_{K \text{ доп}}$:

$$p_K = U_{KЭ} I_K < p_{K \text{ доп}}$$

Линия допустимых потерь на рис. 2.2 проведена пунктиром.

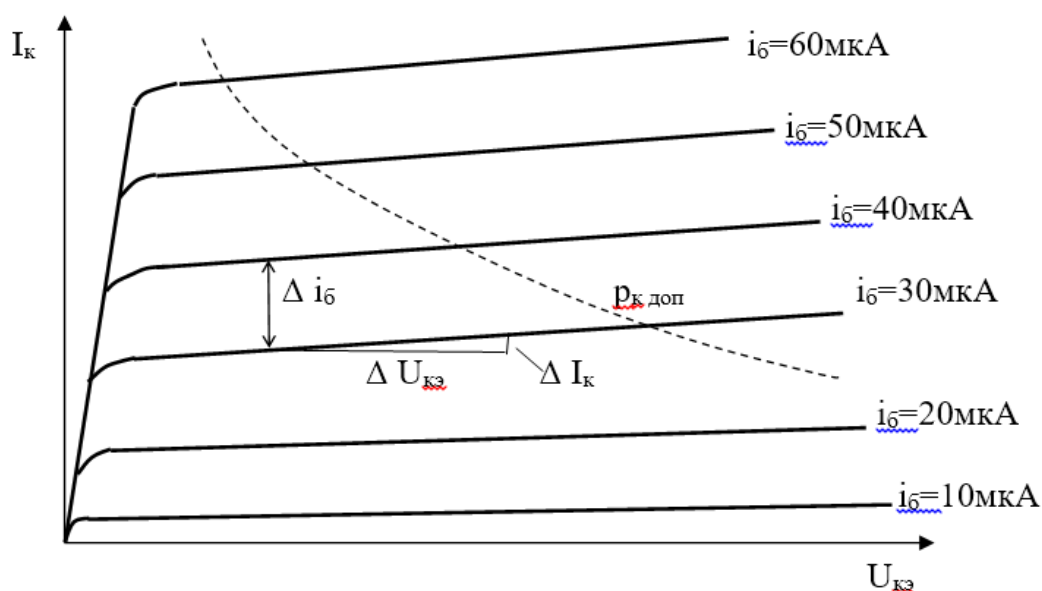


Рисунок 2.2

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо получить входные и выходные характеристики транзистора и вычислить значения динамических параметров.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Изучить основные теоретические положения.

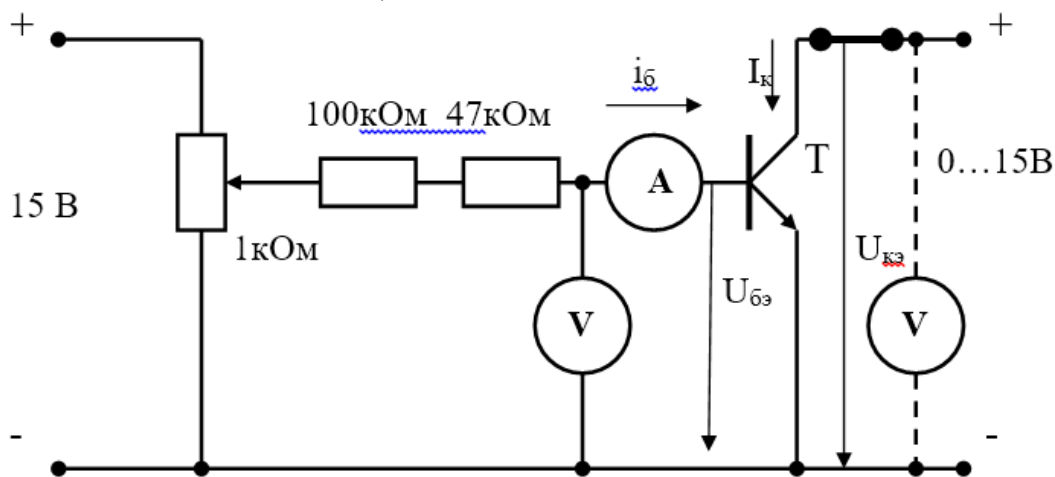


Рисунок 2.3

2. Собрать схему, изображённую на рис. 2.3. В схеме обязательно предусмотреть перемычку «П», необходимую для изменения места включения миллиамперметра.

3. Установить напряжение $U_{кэ}=0$. При токах базы, указанных в таблице 2.1, измерить значения напряжения $U_{бэ}$ и записать их в таблицу. Повторить опыт при $U_{кэ} = 2,5$ В и 10 В.

Таблица 2.1.

i_b , мкА		0	5	10	20	50	80
$U_{бэ}$, В	при $U_{кэ}=0$						
	при $U_{кэ}=2,5$ В						
	при $U_{кэ}=10$ В						

4. Установить ток базы 20 мкА. Переключить миллиамперметр в цепь коллектора, изменить предел измерения тока до 20 мА. Устанавливая значения напряжения в цепи коллектор-эмиттер, указанные в таблице 2.2, записать в таблицу соответствующие этим напряжениям значения тока коллектора. Измерения повторить при токах базы 40, 60 и 80 мкА.

Таблица 2.2.

$U_{кэ}, В$		0	0,2	0,5	1	2	5	10	15
$I_{к},$ мА	при $i_б=20\text{мкА}$								
	при $i_б=40\text{мкА}$								
	при $i_б=60\text{мкА}$								
	при $i_б=80\text{мкА}$								

5. По данным таблиц 2.1 и 2.2 построить входные и выходные характеристики транзистора.

6. В рабочих точках, указанных преподавателем, определить динамические параметры транзистора.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что представляют собой входные и выходные характеристики транзистора?
2. Расскажите о порядке получения входных и выходных характеристик транзистора.
3. Перечислите динамические параметры биполярного транзистора. Как их получают?
4. Чем ограничена активная зона выходных характеристик транзистора?

Лабораторная работа №3. Полевые транзисторы. Характеристики полевого транзистора.

Цель работы: Изучение особенностей работы полевого транзистора с управляемым переходом, освоение методики получения его стокозатворной и выходных характеристик.

Основы теории:

В данной лабораторной работе рассматривается полевой транзистор с управляемым переходом. Транзисторы такого типа могут иметь n-канал, в котором носителями зарядов являются электроны, либо p-канал, в котором носителями зарядов являются дырки. Схема конструкции транзистора с n-каналом представлена на рис. 3.1.

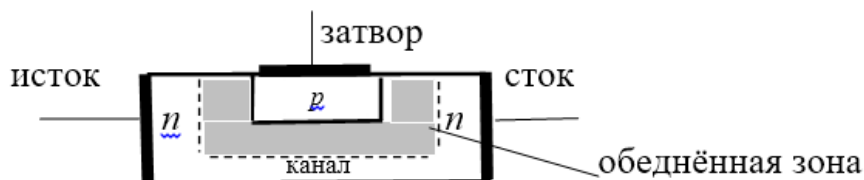


Рисунок 3.1

В кристалл полупроводника n-типа, имеющего малую концентрацию примеси, впаян кристалл p-типа с высокой концентрацией примеси. Вследствие диффузии электронов из n-полупроводника и дырок из p-полупроводника на границе кристаллов образуется обеднённая зона, лишённая носителей зарядов и поэтому имеющая очень высокое сопротивление. Из-за разности концентраций примесей обеднённая зона занимает почти весь объём n-полупроводника, оставляя со стороны, противоположной p-полупроводнику, узкий канал. У транзистора имеется три металлических электрода, один из которых, называемый затвором, соединён с p-полупроводником, два других, называемых истоком и стоком, соединены с кристаллом n-типа с противоположных сторон, так что канал находится между этими электродами. Затвор является управляющим электродом. Если между стоком и истоком приложить разность потенциалов при отсутствии потенциала на затворе, то через канал потечёт ток. При подаче на затвор отрицательного относительно истока потенциала обеднённая зона расширится, толщина канала уменьшится, и сопротивление цепи сток-исток увеличится, вследствие чего ток стока уменьшится. При этом следует заметить, что ток через затвор будет отсутствовать, т.к. напряжение по цепи затвор-исток подано в непроводящем

направлении. При подаче положительного потенциала на затвор по цепи затвор-исток потечёт ток, толщина канала увеличится, и даже при небольшом токе затвора ток стока резко возрастёт.

Графическое изображение транзисторов с управляемым переходом представлено на рис.3.2.



Рисунок 3.2

Для полевых транзисторов используют такие характеристики, как стоко-затворная, представляющая собой зависимость тока стока от напряжения затвор-исток при постоянном напряжении сток-исток, и выходные, представляющие зависимость тока стока от напряжения сток-исток при фиксированных значениях напряжения затвор-исток.

Динамическими параметрами полевых транзисторов являются следующие:

- крутизна стокзатворной характеристики

$$S = di_c / du_{зи} \text{ при постоянном } u_{ис} \text{ и заданном } u_{зи};$$

- внутреннее дифференциальное сопротивление

$$R_{ис \text{ диф}} = du_{ис} / di_c ,$$

которое определяют по выходным характеристикам для заданных $u_{ис}$ и $u_{зи}$;

- коэффициент усиления напряжения

$$M = du_{ис} / du_{зи} \text{ при постоянном } i_c \text{ и заданном } u_{зи}.$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы необходимо получить стоко-затворную и выходные характеристики полевого транзистора с каналом n-типа, определить крутизну стокзатворной характеристики и внутреннее дифференциальное сопротивление.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Собрать схему рис.3.3 для снятия стокзатворной характеристики.

Изменяя напряжение $u_{зи}$ от $-2,5$ В до нуля, убедиться, что ток в цепи затвора отсутствует. Записать в таблицу 3.1 значения тока затвора при указанных в таблице положительных напряжениях $u_{зи}$.

3. Амперметр и перемычку «П» поменять местами. При указанных в таблице 3.1 напряжениях затвор-исток записать в таблицу значения тока стока. Построить график сток-затворной характеристики.

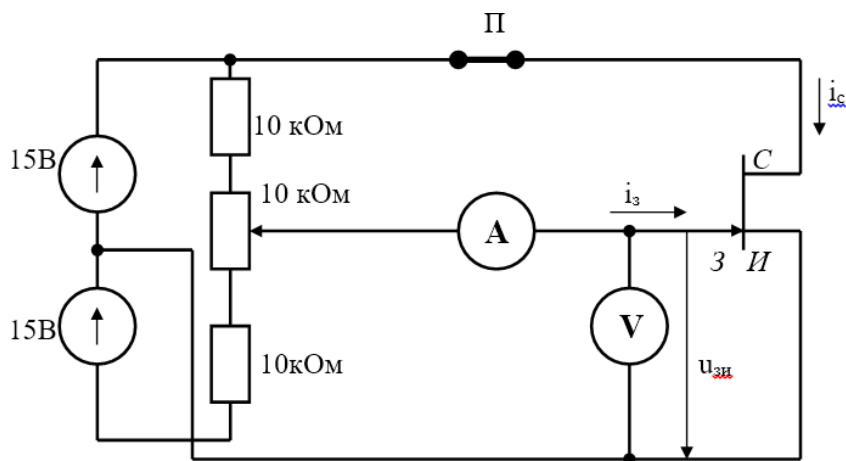


Рисунок 3.3

Таблица 3.1.

$u_{зи}, \text{В}$	-2,5	-2	-1,5	-1	-0,5	0	+0,2	+0,4	+0,6
$i_c, \text{мА}$									
$i_3, \text{мА}$									

4. Собрать схему рис. 3.4 для снятия выходных характеристик транзистора.

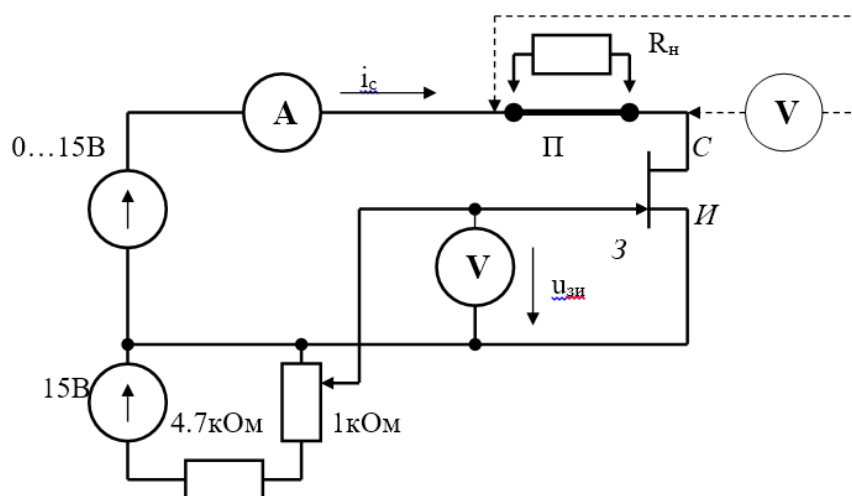


Рисунок 3.4

Установить напряжение затвор-исток $-1,5\text{ В}$ с помощью потенциометра 1 кОм . Устанавливая напряжения сток-исток, указанные в таблице 3.2, замерить и записать в таблицу соответствующие значения тока стока. Повторить опыт при указанных в таблице напряжениях $u_{зи}$, для установки положительного значения которого изменить полярность напряжения, снимаемого с нерегулируемого источника питания 15 В .

Таблица 3.2.

$U_{си}, \text{ В}$		0	0,5	1	1,5	2	3	4	6	8	10	12	15
$i_c,$ мА	при $u_{зи} = -1,5\text{ В}$												
	при $u_{зи} = -1\text{ В}$												
	при $u_{зи} = -0,5\text{ В}$												
	при $u_{зи} = 0\text{ В}$												
	при $u_{зи} = +0,5\text{ В}$												

5. Построить семейство выходных характеристик $i_c = f(U_{си})$.
6. Вычислить крутизну стокзатворной характеристики и внутреннее дифференциальное сопротивление для точек на характеристиках, указанных преподавателем.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите конструкцию полевого транзистора с управляемым переходом.
2. Почему обеднённая зона р-п-перехода располагается в основном в зоне истока-стока?
3. Что называют каналом полевого транзистора?
4. Какие носители зарядов имеются в канале полевого транзистора?

5. В результате чего изменяется сопротивление канала полевого транзистора?
6. В каких случаях при работе полевого транзистора отсутствует ток затвора?
7. Что представляет собой стокзатворная характеристика? Как её получают?
8. Что представляют собой выходные характеристики полевого транзистора? Как их получают?
9. Какие Вам известны динамические параметры полевого транзистора? Как их вычисляют?

Лабораторная работа №4. Неуправляемые выпрямители с активной нагрузкой.

Неуправляемые выпрямители.

Цель работы: Изучение схем однофазных и трёхфазных выпрямителей, сравнение теоретических и экспериментальных значений выпрямленного напряжения, ознакомление с формами кривых выпрямленного напряжения.

Основы теории:

Основная часть электроэнергии вырабатывается и передаётся от генераторов к потребителям в виде энергии переменного тока. Для питания потребителей постоянного тока используют выпрямители, которые выполняют, в основном, с использованием полупроводниковых приборов. В схемах неуправляемых выпрямителей используют диоды. В зависимости от мощности нагрузки и требований к качеству выпрямленного напряжения применяют различные схемы выпрямления.

Наиболее простой является схема однофазного однополупериодного выпрямления (рис. 4.1), используемая для потребителей малой мощности, до-пускающих значительный уровень пульсаций выпрямленного напряжения. Форма кривой выпрямленного таким выпрямителем напряжения (жирная линия) представлена на рис. 4.2. Для сглаживания пульсаций напряжения параллельно нагрузке обычно включают электролитический конденсатор большой ёмкости.

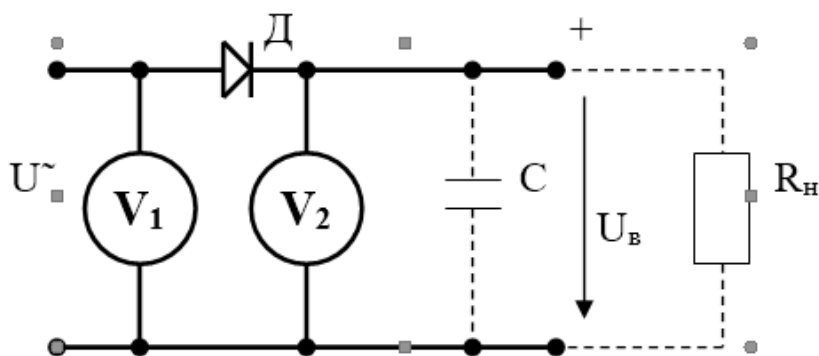


Рисунок 4.1

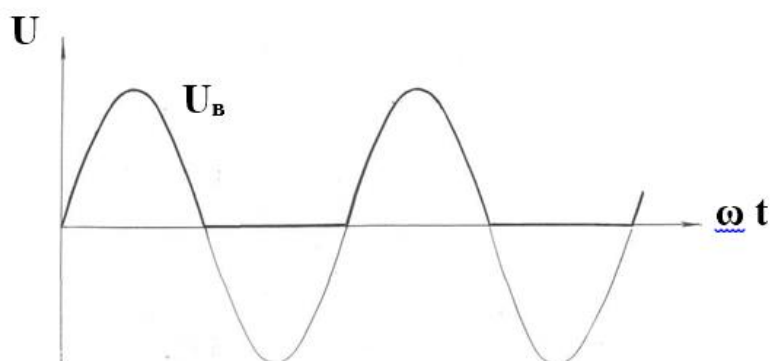


Рисунок 4.2

При питании от однофазной цепи чаще применяют схемы двухполупери-одного выпрямления, имеющие значительно меньший уровень пульсаций выпрямленного напряжения. Существует два вида таких схем: со средней точкой (рис. 4.3) и мостовая (рис.4.4). На схемах направление тока показано сплошными стрелками при одной полярности питающего напряжения и пунктирными – при противоположной. Достоинством мостовой схемы является отсутствие трансформатора со средней точкой вторичной обмотки. Вместе с тем, в этой схеме ток одновременно проходит через два диода, а не через один, как в схеме со средней точкой, поэтому падение напряжения на диодах в этой схеме будет в два раза больше. В связи с отмеченным обстоятельством схему со средней точкой предпочтительнее использовать при больших токах.

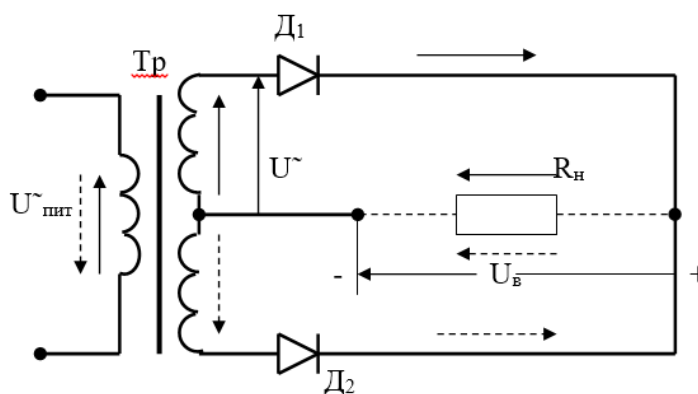


Рисунок 4.3

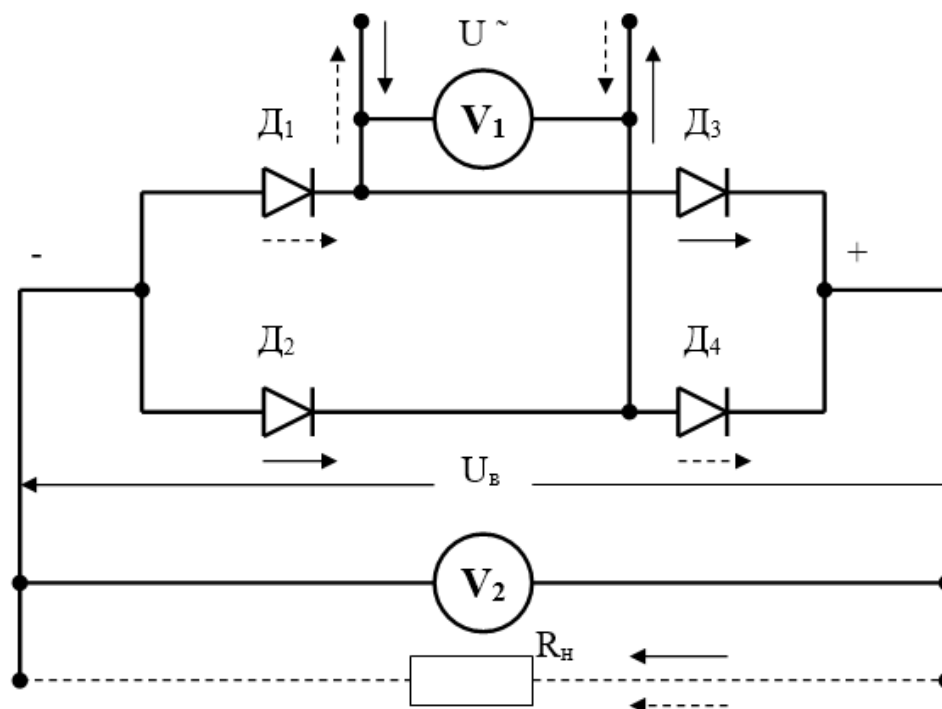


Рисунок 4.4

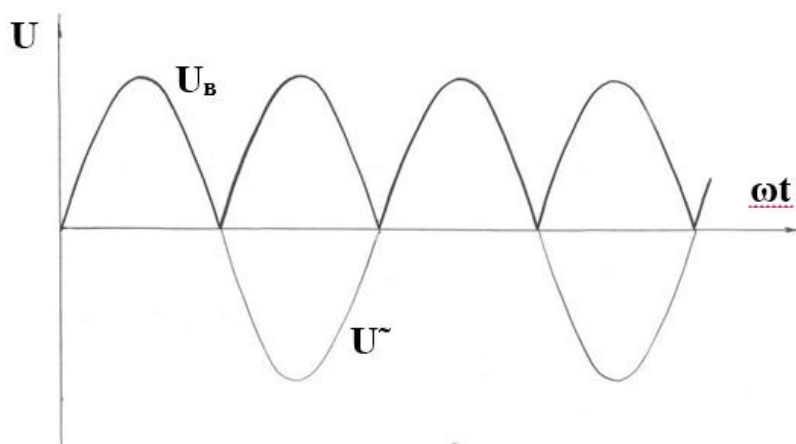


Рисунок 4.5

Кривая выпрямленного напряжения для обеих схем выглядит одинаково, она представлена на рис. 4.5.

Потребители постоянного тока большой мощности обычно питаются через выпрямители от трёхфазных цепей. Трёхфазные схемы выпрямления, как и однофазные, бывают однополупериодными (рис. 4.6) и двухполупериодными (рис. 4.8).

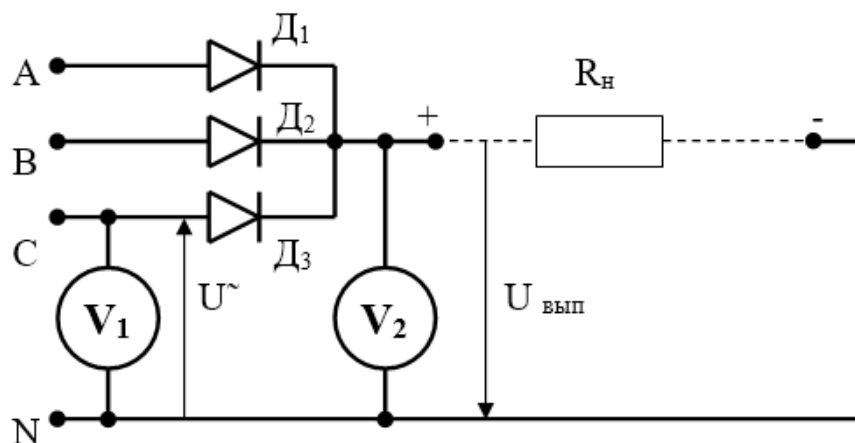


Рисунок 4.6

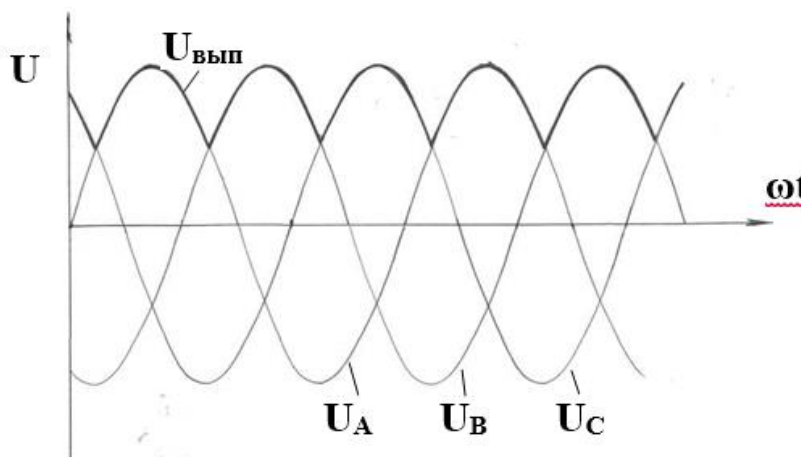


Рисунок 4.7

Форма кривой выпрямленного напряжения при использовании этих схем представляет собой огибающую вершины синусоид трёхфазного напряжения. В схеме рис. 4.6 одновременно может быть открыт только один диод, на аноде которого в данный момент времени напряжение наибольшее, два другие на этом интервале времени будут закрыты, т.к. потенциал на их катодах будет выше потенциалов на анодах. Таким образом, диоды Д1, Д2, Д3 открываются поочерёдно, и выпрямленный ток поочерёдно протекает по цепям фаз А, В, С. Кривая выпрямленного напряжения на рис. 4.7 изображена жирной линией.

В мостовой трёхфазной схеме (рис. 4.8) одновременно открыты два диода, расположенные между теми фазами, линейное напряжение между которыми в данный момент времени наибольшее. Остальные диоды будут закрыты, т.к. потенциалы на их катодах будут выше потенциалов анодов. На рис. 4.9 изображены синусоиды линейных напряжений трёхфазной системы.

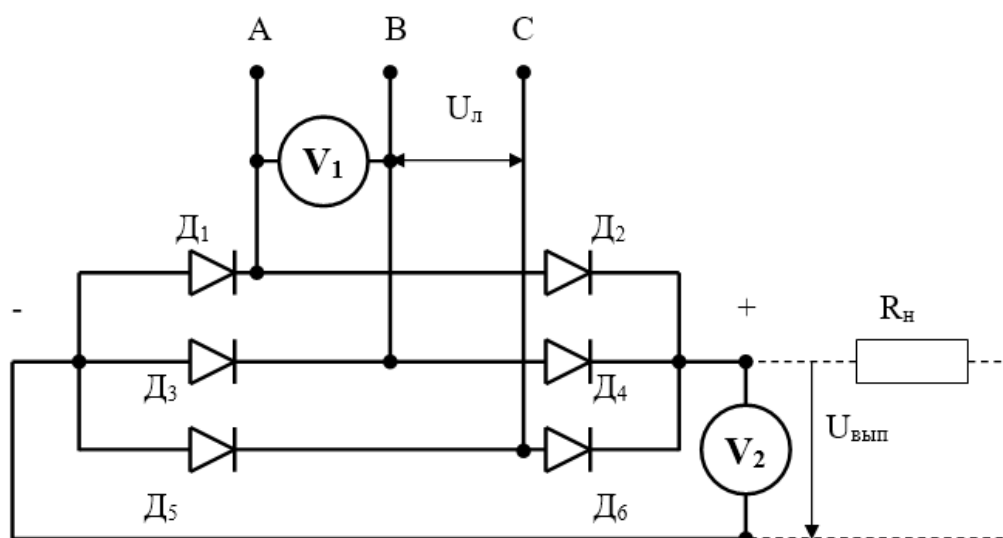


Рисунок 4.8

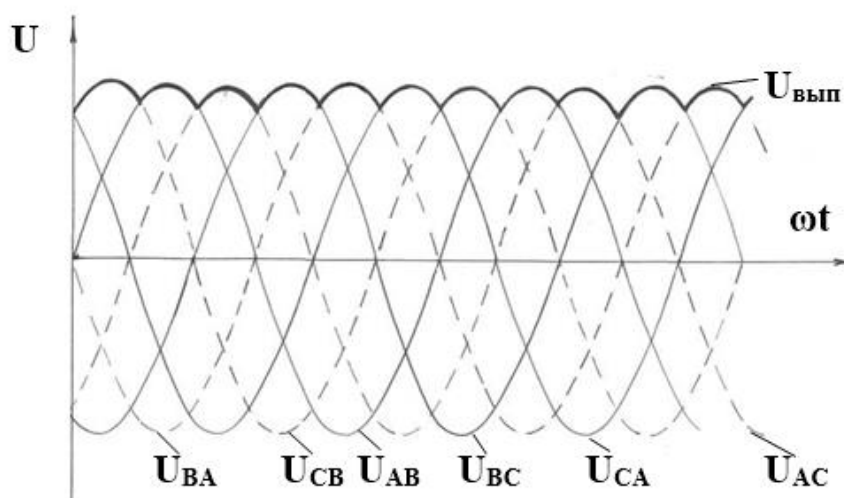


Рисунок 4.8

На промежутке $0 < \omega t < 30^\circ$ наибольшая разность потенциалов между фазами С и В, поэтому открытыми будут диоды Д₆ и Д₃; на промежутке $30^\circ < \omega t < 90^\circ$ потенциал фазы А станет больше потенциала фазы С, поэтому диод Д₆ закроется, а Д₂ – откроется. В последующие интервалы будут поочерёдно открыты: $90^\circ < \omega t < 150^\circ$ – Д₂, Д₅; $150^\circ < \omega t < 210^\circ$ – Д₄, Д₅; $210^\circ < \omega t < 270^\circ$ – Д₄, Д₁; $270^\circ < \omega t < 330^\circ$ – Д₆, Д₁; $330^\circ < \omega t < 360^\circ$ – снова Д₆, Д₃, и т.д. Таким образом, между катодной и анодной группами диодов постоянно будет напряжение, равное наибольшему по абсолютному значению линейному напряжению. Кривая выпрямленного напряжения на рис. 4.9 показана жирной линией.

Среднее значение выпрямленного напряжения U_{cp} для схемы однофазного однополупериодного выпрямления определяется выражением:

$$U_{cp} = U_m / \pi = \sqrt{2} U / \pi \approx 0.45 U,$$

где U – действующее значение переменного синусоидального напряжения,

U_m – амплитудное значение переменного напряжения.

Для остальных схем выпрямления

$$U_{cp} = (m / \pi) \sin(m / \pi) U_m = \sqrt{2} (m / \pi) \sin(m / \pi) U,$$

где m – число фаз выпрямляемого напряжения.

Для схемы рис. 4.3 и рис. 4.4 $m = 2$, $U_{cp} = 0,637 U_m = 0,9 U$,

для схемы рис. 4.6 $m = 3$, $U_{cp} = 0,827 U_m = 1,17 U_\phi$,

для схемы рис. 4.8 $m = 6$, $U_{cp} = 0,955 U_m = 1,35 U_\phi$.

В записанных выше выражениях средние значения выпрямленного напряжения указаны без учёта падения напряжения на диодах, которое составляет от 0,5 до 2 В.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы студенты должны собрать схемы однофазных и трёхфазных выпрямителей, сравнить действующие значения напряжения переменного тока со средними значениями выпрямленного напряжения, с помощью осциллографа снять кривые выпрямленного напряжения.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Изучить основные теоретические положения.

2. Собрать схему рис. 4.1. Подать напряжение от источника переменного напряжения 7В. Измерить величину переменного и выпрямленного напряжений, вычислить величину падения напряжения на диоде. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 4.1.

3. Подать сигнал выпрямленного напряжения на осциллограф, зарисовать форму кривой напряжения.

4. Выполнить аналогичные замеры, вычисления, наблюдения и рисунки, собрав схемы, изображённые на рис. 4.3, 4.4, 4.6 и 4.8.

Таблица 4.1.

Схема выпрямления	U , В	$U_{\text{ср}}$, теоретическое	$U_{\text{ср}}$, экспериментальное	Падение напряжения на диодах
Однофазная однополупериодная				
Однофазная со средней точкой				
Однофазная мостовая				
Трёхфазная со средней точкой				
Трёхфазная мостовая				

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Нарисуйте схемы выпрямителей и укажите путь прохождения тока при изменении полярности питающего напряжения.

2. Объясните, почему при выпрямлении трёхфазного тока в схеме с нулевой точкой может быть открыт только один диод, а в мостовой схеме – только два диода.
3. Объясните последовательность открытия диодов в трёхфазной мостовой схеме.
4. По какой формуле можно вычислить значение среднего выпрямленного напряжения?
5. Почему фактическое выпрямленное напряжение несколько ниже теоретически вычисленного?

Лабораторная работа №5. Транзисторные усилители. Каскад усилителя переменного тока на биполярном транзисторе.

Цель работы: Изучить схему каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером, практически освоить методику установки начальной рабочей точки транзистора в режиме А, методику получения амплитудной и частотной характеристик усилителя, определения его входного и выходного сопротивлений, проанализировать влияние на коэффициент усиления значений параметров отдельных элементов схемы.

Основы теории:

Схема каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером представлена на рис.

5.1.

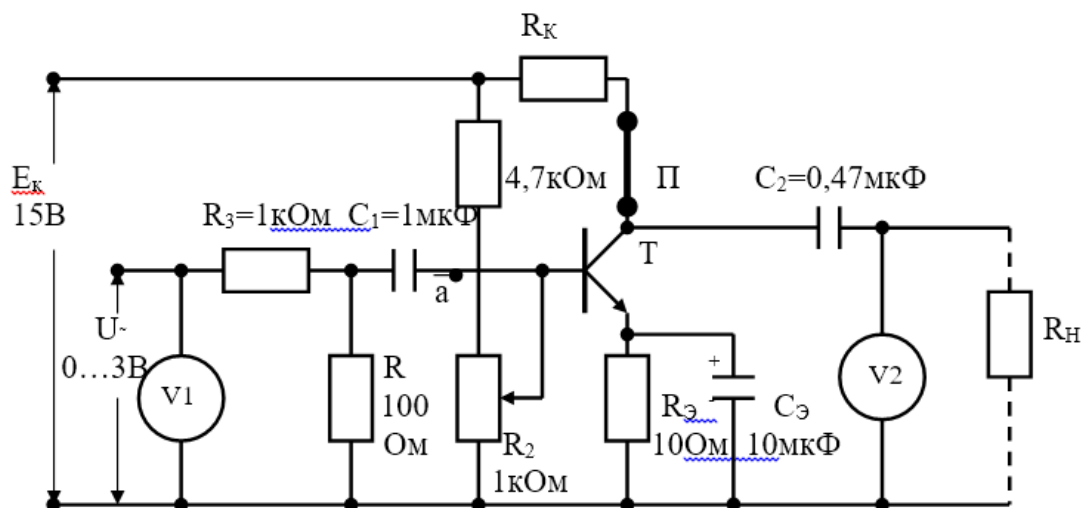


Рисунок 5.1

Питание усилителя осуществляется от источника постоянного напряжения 15В. Входной сигнал подаётся от источника синусоидального напряжения через делитель R_3R_4 , который предназначен для более плавного изменения амплитуды входного сигнала и к схеме усилителя не относится.

Режим усилителя по постоянному току обеспечивается делителем напряжения R_1R_2 и сопротивлением в цепи эмиттера $R_э$. Делителем R_1R_2 настраивается положение начальной рабочей точки (НРТ), т.е. напряжение на коллекторе и ток коллектора при отсутствии входного сигнала. Положение НРТ показано на семействе выходных характеристик транзистора (рис. 5.2), оно определяет режим работы транзистора. Если НРТ находится в центре активной зоны выходных характеристик, то транзистор работает в режиме А, усиливая как положительные, так и отрицательные полуволны входного сигнала. Если положительное

смещение на базе отсутствует, то транзистор работает в режиме В (точка В на рис. 5.2), усиливая только положительные волны входного сигнала. Для уменьшения нелинейных искажений, которые особенно заметны при малых токах базы, на базу транзистора подают небольшое положительное смещение (точка АВ на рис 5.2), в этом случае транзистор усиливает положительные полуволны входного сигнала и частично – отрицательные. Режимы В и АВ используют в схемах двухтактных усилителей, в которых отрицательные и положительные полуволны усиливаются двумя разными транзисторами. В усилителе, используемом в данной лабораторной работе, транзистор работает в режиме А. Небольшое сопротивление в цепи эмиттера $R_Э$ предназначено для стабилизации положения начальной рабочей точки, которая осуществляется следующим образом.

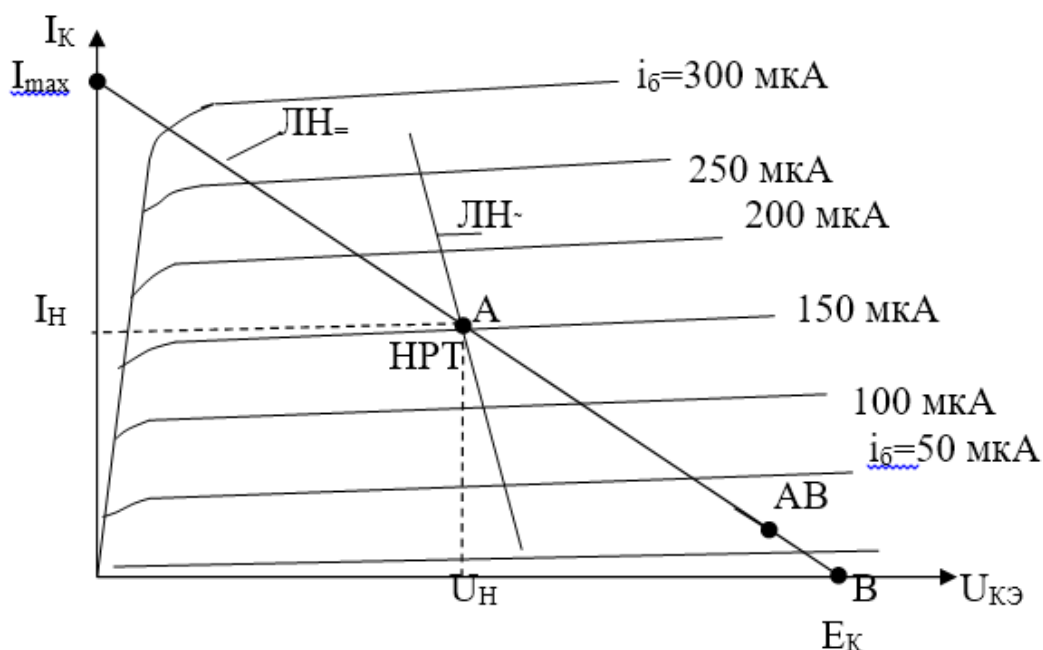


Рисунок 5.2

Ток в цепи базы определяется разностью потенциалов между базой и эмиттером, которая равна (см. рис. 5.1)

$$U_{бэ} = U_{вх} + U_{см} - U_{ос},$$

Где $U_{ос}$ равно произведению постоянной составляющей тока эмиттера на сопротивление $R_Э$. Переменная составляющая тока эмиттера на величину $U_{ос}$ влияния не оказывает, т.к. она протекает в основном через конденсатор $C_Э$, сопротивление которого для переменной составляющей намного меньше $R_Э$. Если по каким-либо причинам постоянная составляющая тока в цепи коллектор – эмиттер возрастет, то соответственно возрастет напряжение $U_{ос}$, а напряжение $U_{бэ}$ понизится, что приведет к снижению тока базы и стабилизации НРТ. При снижении постоянной составляющей тока цепи коллектор – эмиттер происходит обратный процесс.

Наличие конденсатора $C_Э$ исключает отрицательную обратную связь по переменной составляющей и тем самым исключает уменьшение коэффициента усиления усилителя, которое имело бы место при наличии этой связи.

Выходное напряжение усилителя в цепь нагрузки R_H снимается с коллектора транзистора. При положительной полуволне входного напряжения сопротивление транзистора уменьшается и потенциал на коллекторе снижается. При отрицательной полуволне входного усиливаемого сигнала сопротивление транзистора увеличивается и потенциал на базе повышается. Таким образом, фаза напряжения на выходе усилителя противоположна фазе входного сигнала.

Конденсаторы C_1 и C_2 являются разделительными, препятствующими протеканию постоянного тока от источника питания во входной цепи и в цепи нагрузки, их сопротивление для токов усиливаемых частот должно быть незначительным.

Итак, режим работы транзистора по постоянному току определяется напряжением источника питания, величиной сопротивления цепи коллектор – эмиттер и током базы. При отсутствии тока базы транзистор полностью закрыт, т.е. ток коллектора близок к нулю и всё напряжение питания падает на сопротивлении транзистора (точка В на рис. 5.2). Если предположить, что транзистор полностью открыт (т.е. его сопротивление равно нулю), то всё напряжение источника питания будет падать на сопротивлениях R_K и $R_Э$, а ток в цепи коллектора будет:

$$I_K = I_{\max} = E_K / (R_K + R_Э).$$

При изменении постоянной составляющей тока базы режим работы по постоянному току будет определяться линией, соединяющей точки В и $I_{\max}$. Эту линию называют линией нагрузки по постоянному току (см. рис. 5.2).

Цепь, по которой в усилителе замыкается переменный ток, отличается от цепи постоянного тока. Во-первых, из цепи переменного тока практически исключается сопротивление $R_Э$, т.к. оно шунтировано конденсатором $C_Э$; во-вторых, ёмкости конденсаторов $C_Э$ и C_2 принимают настолько большими, что их сопротивления оказываются пренебрежимо малыми по сравнению с сопротивлениями R_K и R_H . Сопротивление источника питания обычно также на 2 – 3 порядка ниже последних двух сопротивлений. В связи с отмеченными обстоятельствами схема замещения цепи переменного тока выглядит так, как представлено на рис. 5.3а.

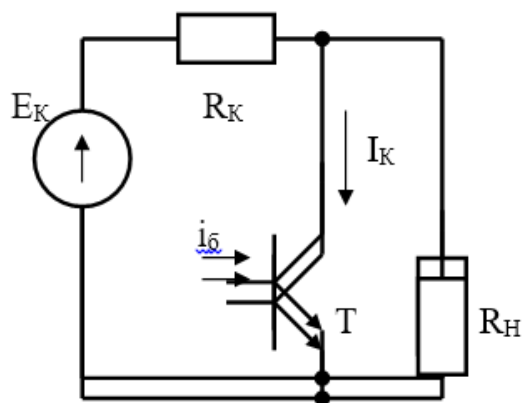


Рисунок 5.3а

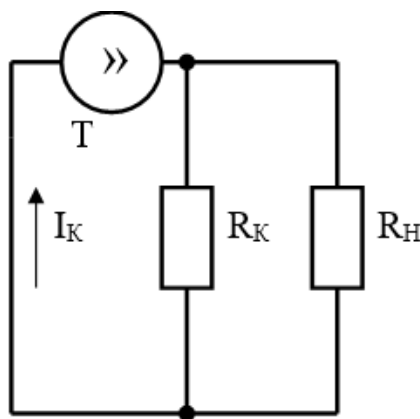


Рисунок 5.3б

Обратим внимание на то, что выходные характеристики транзистора в активной зоне практически горизонтальны, т.е. ток через транзистор не зависит от напряжения коллектор – эмиттер, а определяется только током базы, поэтому транзистор в этой зоне можно рассматривать как источник тока, управляемый током базы $I_K = \beta \cdot i_B$, где β – коэффициент усиления базового тока. В этом случае, с учётом того, что сопротивлением источника питания можно пренебречь, схема замещения примет вид, изображённый на рис. 5.3б. В этой схеме сопротивления R_K и R_H включены параллельно, поэтому переменная составляющая тока коллектора и, соответственно, наклон линии нагрузки по переменному току определяются сопротивлением

$$R_K R_H / (R_K + R_H).$$

Т.к. это сопротивление всегда меньше, чем сопротивление $R_K + R_H$, то и линия нагрузки по переменному току для данного усилителя имеет больший наклон, чем по постоянному.

Одними из основных параметров усилителей являются коэффициенты усиления. Каскад по схеме с общим эмиттером усиливает как напряжение, так и ток. Под коэффициентом усиления по напряжению понимают отношение амплитуды напряжения на нагрузке к амплитуде напряжения входного сигнала:

$$K_U = U_{Hm}/U_{Bx\ m}.$$

Амплитуда напряжения на нагрузке (см. рис. 5.3б):

$$U_{Hm}=I_{Km} R_K R_H/(R_K+ R_H)=\beta I_{bm} R_K R_H/(R_K+ R_H).$$

Амплитуда напряжения входного сигнала также может быть выражена через амплитуду тока базы I_{bm} :

$$U_{Bx\ m}= I_{bm}r_b+I_{em}r_e,$$

где r_b и r_e - , соответственно, сопротивления базы и эмиттера транзистора,

I_{em} – амплитуда тока эмиттера.

Но $I_{em}=I_{bm}(1+\beta)$, поэтому

$$U_{Bx\ m}= I_{bm}r_b+I_{bm}r_e(1+\beta) = I_{bm}[r_b+r_e(1+\beta)] = I_{bm}h_{11},$$

где $h_{11}= r_b+r_e(1+\beta)$ – динамическое входное сопротивление транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером.

Таким образом, коэффициент усиления каскада по напряжению

$$K_U = U_{Hm}/U_{Bx\ m} = (\beta/h_{11})[R_K R_H/(R_K+ R_H)].$$

Как следует из полученного выражения, коэффициент усиления зависит как от параметров транзистора, так и от сопротивлений R_K и R_H .

Коэффициент усиления по току определяется как отношение амплитуд тока в цепи нагрузки и в цепи базы:

$$K_i= I_{Hm}/ I_{bm}.$$

$$I_{Hm}=U_{Hm}/R_H= \beta I_{bm} R_K /(R_K+ R_H),$$

$$K_i= \beta R_K /(R_K+ R_H).$$

Качество работы усилителей и область их применения определяются такими характеристиками, как амплитудная, амплитудно-частотная и фазо-частотная.

Амплитудная характеристика отражает зависимость выходного сигнала (напряжения или тока) от амплитуды входного. Вид амплитудной характеристики представлен на рис. 5.4. Точка 1 соответствует напряжению шумов, измеряемому при $U_{Bx} = 0$. Точка 2 характеризует минимальное значение входного сигнала, различимое на фоне шумов. Между точками 2 и 3 расположен рабочий диапазон усилителя. После точки 3 происходят существенные нелинейные искажения входного сигнала. Величина $D = U_{Bx\ max}/ U_{Bx\ min}$ носит название динамического диапазона усилителя.

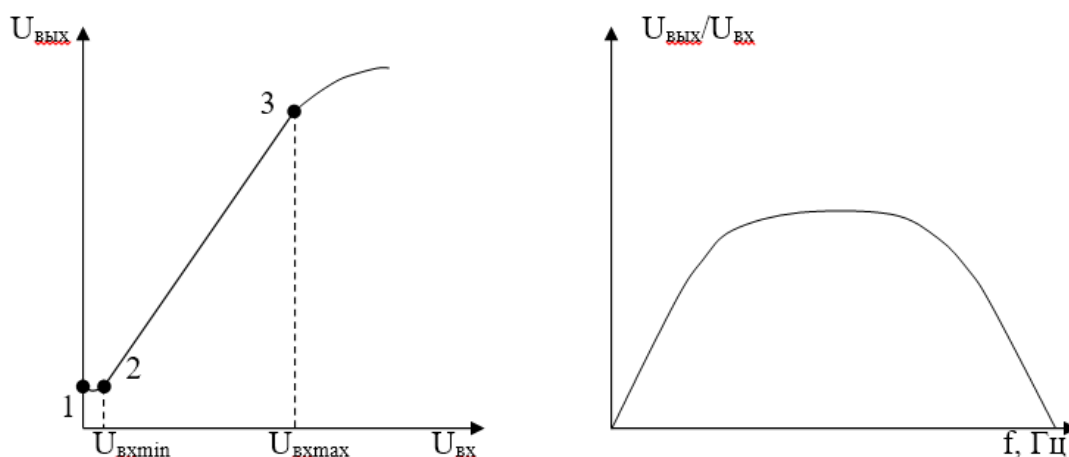


Рисунок 5.4

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) представляет зависимость отношения амплитуд выходного и входного сигналов от частоты усиливаемого сигнала. Для рассматриваемой схемы усилительного каскада она имеет вид, изображённый на рис. 5.5. Фазо-частотная характеристика отражает зависимость фазового сдвига между выходным и входным синусоидальными сигналами от частоты.

В ряде случаев важное значение имеют такие параметры усилителя, как входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивления. Эти сопротивления для собранного каскада нетрудно определить опытным путём.

Напряжение на выходе усилителя определяется через напряжение на входе и коэффициент усиления:

$$U_{ВЫХ1} = K_U U_{ВХ}$$

при этом

$$I_6 = U_{ВХ}/R_{ВХ}.$$

Если, не изменяя входного напряжения, в цепь базы включить добавочное сопротивление $R_{доб}$, то ток базы будет:

$$I_6 = U_{ВХ}/(R_{ВХ} + R_{доб}),$$

а напряжение в цепи эмиттер – база (исключая добавочное сопротивление) будет равно:

$$I_6 R_{ВХ} = U_{ВХ} R_{ВХ}/(R_{ВХ} + R_{доб}),$$

при этом напряжение на выходе усилителя уменьшится и станет равным

$$U_{ВЫХ2} = K_U U_{ВХ} R_{ВХ}/(R_{ВХ} + R_{доб})$$

Разделив (5.1) на (5.2), получим:

$$U_{ВЫХ1}/U_{ВЫХ2} = (R_{ВХ} + R_{доб})/R_{ВХ}, \text{ откуда}$$

$$R_{вх} = R_{доб} U_{вых2} / (U_{вых1} - U_{вых2}) \quad (5.3).$$

Таким образом, включив в разрыв цепи входного сигнала (точка «а» на рис.5.1) добавочное сопротивление и измерив напряжения на выходе усилителя до и после его включения при неизменном входном сигнале, входное сопротивление можно вычислить по формуле (3).

Для определения выходного сопротивления необходимо при некотором входном сигнале измерить напряжение $U_{вых1}$ при отсутствии нагрузки. Это напряжение:

$$U_{вых1} = K_U U_{вх} \quad (5.4).$$

Затем, не изменяя входного сигнала, на выход усилителя включить сопротивление нагрузки R_n . При этом напряжение на выходе уменьшится и станет равным $U_{вых2} = K_U U_{вх} - I_{вых} R_{вых}$, но $I_{вых} = U_{вых2} / R_n$, поэтому

$$U_{вых2} = K_U U_{вх} - U_{вых2} R_{вых} / R_n, \text{ далее, используя (5.4), имеем:}$$

$$U_{вых2} = U_{вых1} - U_{вых2} R_{вых} / R_n, \text{ откуда}$$

$$R_{вых} = R_n (U_{вых1} / U_{вых2} - 1) \quad (5.5).$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо выполнить следующее:

- собрав схему усилителя, установить начальную рабочую точку;
- снять амплитудную характеристику каскада, определить его коэффициент усиления по напряжению и динамический диапазон;
- проанализировать влияние на амплитудную характеристику и, соответственно, на коэффициент усиления по напряжению наличия конденсатора в цепи эмиттера и величины сопротивления в цепи коллектора при неизменном сопротивлении нагрузки;
- определить входное и выходное сопротивления каскада;
- снять амплитудно-частотную характеристику каскада.

Порядок выполнения работы следующий:

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Собрать схему, изображенную на рис. 5.1, приняв $R_K = 470 \text{ Ом}$.
3. На выходе генератора синусоидального напряжения установить частоту $2 \dots 5 \text{ кГц}$ (по указанию преподавателя) и напряжение 2 В , при этом напряжение на входе усилителя

будет 0,2 В. Потенциометром смещения напряжения на базе установить максимальное выходное напряжение усилителя. Сигнал выходного напряжения подать на осциллограф и дополнительной настройкой смещения добиться формы выходного сигнала, наиболее близкой к синусоидальной. В дальнейшем, при выполнении лабораторной работы положение потенциометра смещения не изменять.

4. Отключить напряжение входного сигнала. Одним из мультиметров измерить постоянное напряжение между коллектором и эмиттером и ток в цепи коллектора, включив амперметр вместо перемычки «П». Координаты полученной рабочей точки нанести на график выходных характеристик транзистора, полученный при выполнении предыдущей лабораторной работы и провести линию нагрузки по постоянному току.

5. В цепь нагрузки включить сопротивление 470 Ом. Не подавая входного сигнала, измерить напряжение на нагрузке. Подать входной сигнал, и при постоянной частоте, изменяя его амплитуду, записать в таблицу 5.1 значения выходного напряжения. Вычислить значения коэффициента усиления по напряжению.

Таблица 5.1.

$U_{вх}, В$		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
С конденсатором C_3	$U_{вых}, В$								
	K_U								
Без конденсатора C_3	$U_{вых}, В$								
	K_U								

По результатам замеров построить амплитудную характеристику и определить динамический диапазон усиления.

6. Убрать из схемы конденсатор C_3 и повторить испытания аналогично п.5.

7. Конденсатор C_3 установить на прежнее место, на вход усилителя подать напряжение 0.2 В. Устанавливая значения сопротивления R_k , указанные в таблице 5.2, записать в таблицу значения выходного напряжения, вычислить и также записать в таблицу значения K_U .

Таблица 5.2.

$R_k, \text{ Ом}$	150	220	330	470	660	1000
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$						
K_U						

8. Установить входное напряжение 0.2 В. Устанавливая значения частоты входного сигнала, указанные в таблице 5.3, и не меняя амплитуду входного напряжения, записать в таблицу значения выходного напряжения. По результатам замеров построить АЧХ.

Таблица 5.3.

$f, \text{ кГц}$	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,8	12	15	20
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$									
$U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$									

9. При $R_n = 0$ и входном напряжении 0,2 В измерить напряжение $U_{\text{вых1}}$. В цепь базы (точка «а» на рис. 5.1) включить добавочное сопротивление 330 Ом, при том же значении входного напряжения измерить $U_{\text{вых2}}$. По формуле (3) вычислить входное сопротивление усилителя.

10. Исключить добавочное сопротивление из цепи базы. Измерить выходное напряжение усилителя $U_{\text{вых1}}$ при отсутствии нагрузки на его выходе. Включив сопротивление нагрузки 470 Ом при $R_k = 470 \text{ Ом}$ и при прежнем входном сигнале измерить $U_{\text{вых2}}$. По формуле (5) вычислить входное сопротивление усилителя.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под начальной рабочей точкой усилителя?
2. Как зависит режим работы усилителя от положения НРТ?
3. Чем обеспечивается положение НРТ в рассматриваемом усилителе?
4. Какую роль выполняет сопротивление в цепи эмиттера?
5. Для чего сопротивление в цепи эмиттера шунтируют конденсатором?
6. Какую роль выполняют конденсаторы в цепи базы и на выходе усилителя?
7. Как построить линию нагрузки усилителя по постоянному току?
8. Объясните схему замещения усилителя по переменному току.
9. Каким сопротивлением определяется наклон линии нагрузки усилителя по переменному току?
10. Что понимают под амплитудной характеристикой усилителя?
11. Что представляют собой амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики усилителя?
12. Что называют динамическим диапазоном усилителя?
13. От чего зависит величина коэффициентов усиления усилителя?
14. Как опытным путём определить величину входного и выходного сопротивлений усилителя?
15. Как изменится коэффициент усиления усилителя, если сопротивление в цепи эмиттера не шунтировать конденсатором?
16. Как коэффициент усиления усилителя зависит от сопротивления в цепи коллектора?
17. Объясните, почему выходной сигнал усилителя отличается от входного по фазе на 180° ?

Лабораторная работа №6. Транзисторные усилители. Усилитель на полевом транзисторе.

Цель работы: Исследовать работу усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком, снять его амплитудную и амплитудно-частотную характеристики, определить входное и выходное сопротивления.

Основы теории:

Схема каскада усилителя с общим истоком изображена на рис. 6.1.

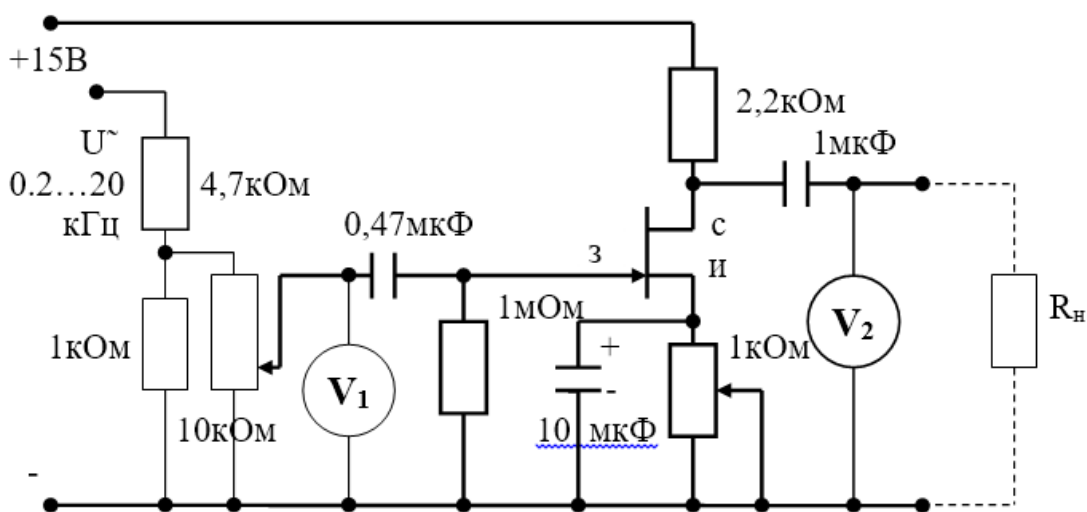


Рисунок 6.1

Питание усилителя осуществляется от источника постоянного напряжения 15В. Входной усиливаемый сигнал подаётся от генератора синусоидального напряжения переменной частоты. Для более плавного изменения амплитуды входного сигнала служит делитель напряжения, состоящий из постоянных резисторов 4,7 и 1 кОм и переменного резистора 10 кОм. Разделительные конденсаторы 0,47 мкФ и 1 мкФ препятствуют прохождению постоянного тока в цепь источника входного сигнала и в цепь нагрузки, в качестве которой в лабораторной работе используется резистор R_n . Для установки начальной рабочей точки транзистора служит сопротивление, включённое в цепь истока, напряжение с которого подаётся на затвор через резистор 1 мОм. Начальная рабочая точка устанавливается в средней части линейного участка стокзатворной характеристики, в этом случае усиливаются как положительные, так и отрицательные полуволны входного сигнала при минимальных нелинейных искажениях. Конденсатор в цепи истока исключает отрицательную обратную связь по переменной составляющей сигнала.

Основными характеристиками усилителя с полевым транзистором, как и с биполярным, являются амплитудная, амплитудно-частотная и фазо-частотная. Ввиду того, что во входной цепи полевого транзистора ток практически отсутствует, коэффициенты усиления по току и по мощности каскада с полевым транзистором обычно не используются, а используется только коэффициент усиления по напряжению. Из параметров усилителя используются также входное и выходное сопротивления, которые определяют опытным путём по той же методике, что и для усилителей с биполярными транзисторами.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы студенты должны собрать схему каскада усилителя на полевым транзисторе с общим истоком, снять амплитудную характеристику в режиме холостого хода и под нагрузкой, вычислить коэффициент усиления по напряжению, снять амплитудно-частотную характеристику, определить входное и выходное сопротивления усилителя.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Собрать схему усилителя (рис. 6.1).
2. На выход усилителя включить осциллограф. При частоте входного сигнала 2 кГц и напряжении 0,5 В изменением сопротивления в цепи истока добиться минимального искажения выходного сигнала.
3. При частоте входного сигнала, заданной преподавателем, снять амплитудную характеристику в режиме холостого хода. При значениях входного напряжения, указанных в таблице 6.1, замерить и внести в таблицу величину выходного напряжения и вычисленные значения коэффициента усиления по напряжению.
4. То же проделать, включив на выход усилителя сопротивление нагрузки, заданное преподавателем.

Таблица 6.1.

$U_{вх}, В$		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
При $R_n=0$	$U_{вых}$													
	K_U													

При	$U_{\text{ВЫХ}}$													
$R_{\text{н}}=$	K_U													

5. Снять амплитудно-частотную характеристику при напряжении входного сигнала 0,5 В и при частотах, указанных в таблице 6.2, замеренные значения выходного напряжения и вычисленные значения коэффициента усиления занести в таблицу.

Таблица 6.2.

f, кГц	0.2	0.4	0.8	1	2	4	8	12	15	18	20
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$											
K_U											

6. Для определения входного сопротивления замерить выходное напряжение U_1 в режиме холостого хода при заданной преподавателем частоте и при напряжении входного сигнала 0,5 В. Во входную цепь последовательно с разделительным конденсатором включить сопротивление $R_{\text{доб}}=10 \text{ кОм}$ и замерить напряжение на выходе U_2 . Входное сопротивление вычислить по формуле:

$$R_{\text{вх}} = R_{\text{доб}} / (U_1 / U_2 - 1).$$

7. Исключить из схемы добавочное сопротивление. Включить сопротивление нагрузки 10 кОм, и при тех же значениях частоты и входного напряжения измерить напряжение U_3 на выходе усилителя. Выходное сопротивление усилителя вычислить по формуле:

$$R_{\text{вых}} = R_{\text{н}}(U_1 / U_3 - 1).$$

8. Построить графики амплитудных и амплитудно-частотной характеристик.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение элементов каскада усилителя.
2. Как установить положение начальной рабочей точки, чтобы получить минимальные нелинейные искажения усиливаемого сигнала?
3. Что представляет собой амплитудная характеристика усилителя? Как её получить?
4. Как амплитудная характеристика усилителя зависит от нагрузки?
5. Что представляет собой амплитудно-частотная характеристика усилителя? Как её получить?
6. Как определяют входное сопротивление усилителя?
7. Как определяют выходное сопротивление усилителя?

Лабораторная работа №7. Тиристоры. Тиристор.

Цель работы: Исследовать процессы отпирания и запираания тиристора, снять статические вольтамперные характеристики цепи управления и анодной цепи.

Основы теории:

Тиристор – это полупроводниковый прибор, имеющий четырёхслойную структуру и три рп-перехода. У тиристора имеется три электрода, два из которых подсоединены к крайним слоям – это анод и катод, третий электрод подсоединён к одному из средних слоёв – это управляющий электрод.

Если при отключённом управляющем электроде между анодом и катодом подать напряжение и его постепенно увеличивать, то до некоторого его значения сопротивление тиристора будет оставаться очень высоким и ток через него будет практически отсутствовать, затем сопротивление тиристора резко упадёт, и падение напряжения на нём составит не более двух вольт, тиристор откроется. Однако открывания тиристора повышением анодного напряжения следует избегать, т.к. при этом может произойти его разрушение. Открывают тиристор подачей напряжения на управляющий электрод. После снятия напряжения с управляющего электрода тиристор остаётся в открытом состоянии. Чтобы тиристор закрылся, анодное напряжение необходимо кратковременно снять, либо, увеличивая сопротивление в цепи анод-катод, снизить ток ниже так называемого тока удержания.

Описанные свойства тиристора используют в таких устройствах, как управляемые выпрямители, инверторы, частотные преобразователи, пусковые аппараты и др.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

Данная лабораторная работа включает в себя снятие вольтамперной характеристики цепи управления, определение тока удержания тиристора и испытание способа отключения тиристора шунтированием цепи анод-катод ёмкостью.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями.
2. Собрать схему, изображённую на рис. 7.1.

3. На мультиметрах установить предел измерения тока 2 мА и напряжения 20 В. Увеличивая потенциометром напряжение $U_{ук}$, измерить и занести в таблицу 7.1 значения тока управления I_y . Заметить ток, при котором тиристор открывается (при открывании тиристора загорается лампочка).

4. Постепенно снижая напряжение $U_{ук}$ до нуля, измерить и занести в таблицу значения тока I_y . Убедиться, что при снижении тока управления до нуля тиристор остаётся открытым.

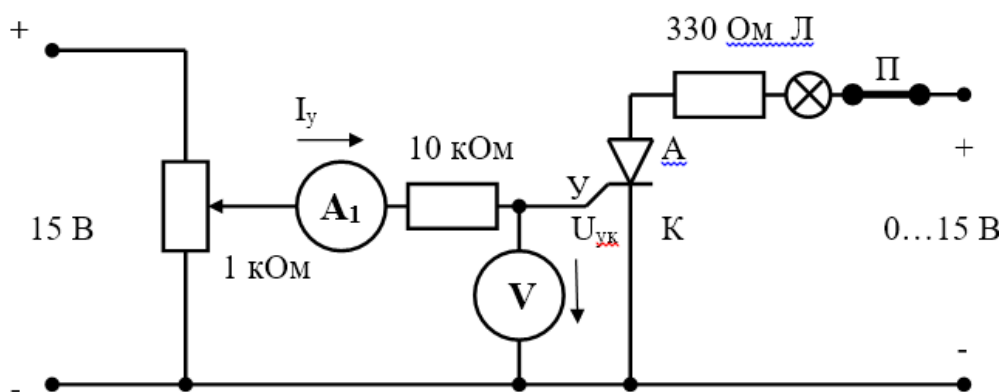


Рисунок 7.1

Таблица 7.1.

$U_{ук}, В$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
$I_y \uparrow$, мА								
$I_y \downarrow$, мА								

5. Построить график зависимости $I_y = f(U_{ук})$.

6. Для определения тока удержания переключку П и амперметр поменять местами, переключить шкалу амперметра на 200 мА. Увеличив ток управления, открыть тиристор. Плавное уменьшение напряжения в анодной цепи до тех пор, пока ток скачком не упадёт до нуля. Последнее наименьшее значение тока и есть ток удержания. Запишите его значение.

7. Отключить источники питания, собранную схему дополнить схемой, изображённой на рис. 7.2 жирными линиями.

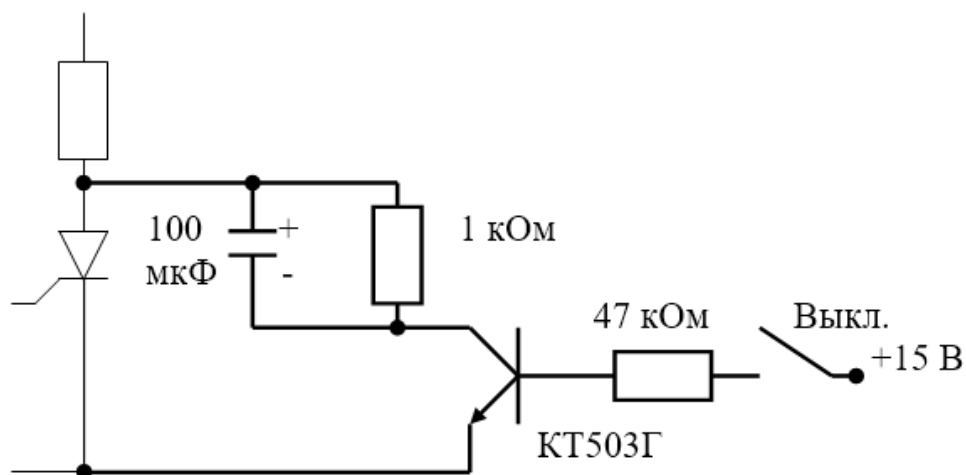


Рисунок 7.2

8. Подать на схему напряжение питания, в анодной цепи тиристора установить наибольшее напряжение, увеличивая ток управления, открыть тиристор. Уменьшить ток управления до нуля, при этом тиристор останется открытым. Кратковременно замкнуть выключатель, убедиться в том, что при включении выключателя тиристор отключается. Описанные действия повторить 2 – 3 раза. При замыкании выключателя сопротивление транзистора уменьшается до незначительной величины, в результате чего тиристор оказывается шунтированным конденсатором, напряжение на котором (а, следовательно, и на тиристоре) согласно законам коммутации в первый момент после замыкания цепи равно нулю. Этого кратковременного падения напряжения на тиристоре достаточно для его запираания.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите в общих чертах конструкцию тиристора.
2. Какими способами можно открыть тиристор?
3. Что произойдет с режимом работы тиристора, если после его открывания ток управления уменьшить до нуля?

4. Какими способами можно закрыть тиристор?
5. Что понимают под током удержания тиристора?
6. Поясните работу схемы запираания тиристора путём его шунтирования конденсатором.

Часть 2. Тиристорный регулятор тока

Цель работы: Исследовать работу тиристорного регулятора выпрямленного тока с фазным управлением.

Основы теории:

Схема тиристорного регулятора выпрямленного тока с фазным способом управления представлена на рис. 8.1.

Переменное напряжение частотой 50 Гц, выпрямленное диодным мостиком Д1 – Д4, подаётся на зажимы цепи, состоящей из лампочки Л, нагрузочного сопротивления 220 Ом и тиристора Т. Остальные элементы представляют схему генератора импульсов, предназначенного для фазового управления тиристором. При фазовом способе управления на управляющий электрод тиристора подаются короткие импульсы напряжения, отпирающие тиристор в определённой точке приложенного напряжения. Запирается тиристор при снижении полуволны выпрямленного напряжения до нуля. Среднее значение тока, протекающего через нагрузочное сопротивление, определяется положением отпирающего импульса относительно начала полуволны выпрямленного напряжения, иначе – углом фазового сдвига отпирающего импульса.

Генератор импульсов выполнен на однопереходном транзисторе ТО. При подаче полуволны напряжения на анод запёртого тиристора Т конденсатор заряжается через сопротивления R1, Rп и R2. Как только напряжение заряда достигнет величины, достаточной для отпирания транзистора ТО, транзистор отпирается и конденсатор разряжается по цепи эмиттер – база – управляющий электрод тиристора.

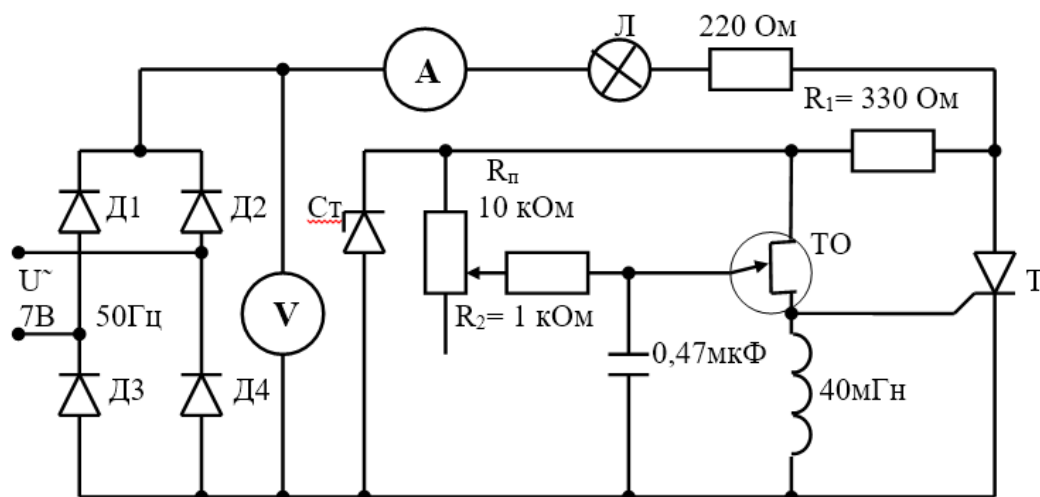


Рисунок 8.1

Тиристор отпирается, создаёт цепь для протекания тока через нагрузку и одновременно шунтирует генератор импульсов. Таким образом, пока тиристор открыт, конденсатор остаётся разряженным. В конце полуволны выпрямленного напряжения тиристор закрывается. Скорость заряда конденсатора и, следовательно, задержка подачи отпирающего импульса по отношению к моменту подачи положительного напряжения на анод тиристора регулируется потенциометром R_p . Индуктивность в цепи базы транзистора предназначена для более чёткого его запираения.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В процессе выполнения данной лабораторной работы необходимо собрать схему тиристорного регулятора тока, опробовать её работу при разных углах отпирания, пронаблюдать на осциллографе кривую изменения напряжения на сопротивлении нагрузки.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Соберите схему, изображённую на рис. 8.1. Установите на мультиметрах предел изменения напряжения 20 В и предел тока – 200 мА, род тока – постоянный. Подайте напряжение питания 7 В, 50 Гц.
2. Вращая рукоятку потенциометра, зафиксируйте минимальное и максимальное значения тока в цепи нагрузки.
3. Замените конденсатор ёмкостью 0,47 мкФ на конденсатор 0,1 мкФ. Зафиксируйте новые значения минимального и максимального напряжений.

4. Подключите на зажимы сопротивления нагрузки осциллограф, пронаблюдайте и зарисуйте кривые изменения напряжения на нагрузке при разных углах отпирания тиристора.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как выглядит фазовый способ управления тиристором?
2. В результате чего запирается тиристор в схеме регулирования величины выпрямленного тока?
3. От чего зависит время задержки управляющего импульса?
4. Опишите работу генератора импульсов.
5. Что называют углом отпирания тиристора?
6. Как изменяется ток в цепи нагрузки при увеличении угла отпирания тиристора?

Часть 3. Тиристорный регулятор напряжения

Цель работы: Изучить принципы регулирования напряжения с использованием полупроводниковых приборов; снять регулировочную и нагрузочную характеристики регулятора напряжения.

Основы теории:

Для управления многими технологическими процессами требуется изменять величину напряжения, подводимого к электроустановке. Такими электроустановками могут быть электронагреватели, двигатели и др. Для регулирования величины напряжения широко применяют тиристоры и симисторы, к.п.д. которых очень высок благодаря тому, что в процессе работы они находятся либо в полностью открытом, либо в полностью закрытом

со-стоянии. Регулирование величины напряжения переменного тока с помощью тиристоров или симисторов можно производить двумя методами. Первый метод – метод фазового управления, при котором величина управляющего сигнала определяет фазу открытия полупроводникового прибора (см. рис. 1). Второй метод – метод, при котором величина управляющего сигнала определяет число пропускаемых в единицу времени к нагрузке целых полупериодов напряжения (рис. 2).

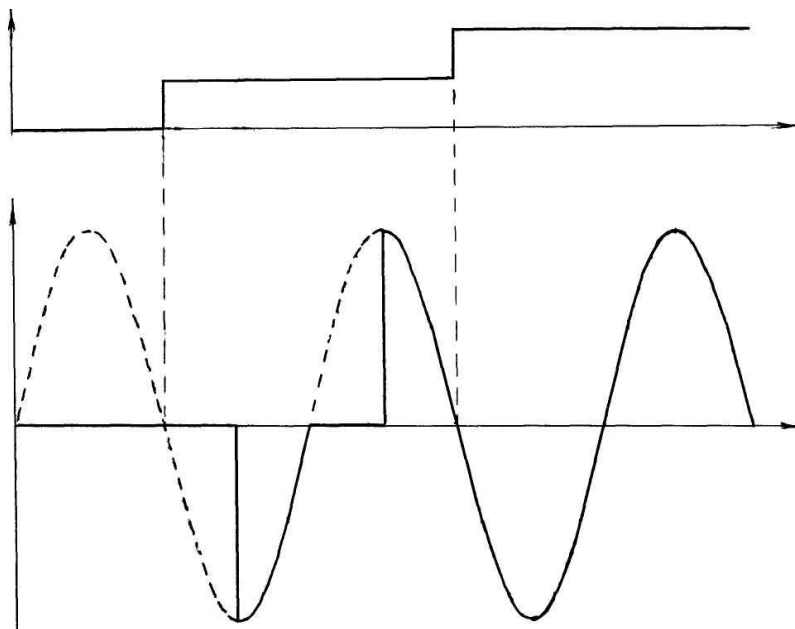


Рисунок 9.1

В данной лабораторной работе используется блок управления, позволяющий осуществлять оба метода изменения напряжения.

При использовании обоих методов действующее и среднее значения выходного напряжения пропорциональны управляющему сигналу.

При использовании фазного метода пульсации напряжения на выходе преобразователя значительно ниже, чем при втором методе. Вместе с тем, при фазном методе управления регулятор напряжения является источником высших гармоник тока, которые отрицательно сказываются на работе систем электроснабжения. В связи с этим при значительных мощностях желательно, там где это возможно, использовать метод регулирования напряжения изменением числа проводящих полупериодов в единицу времени.

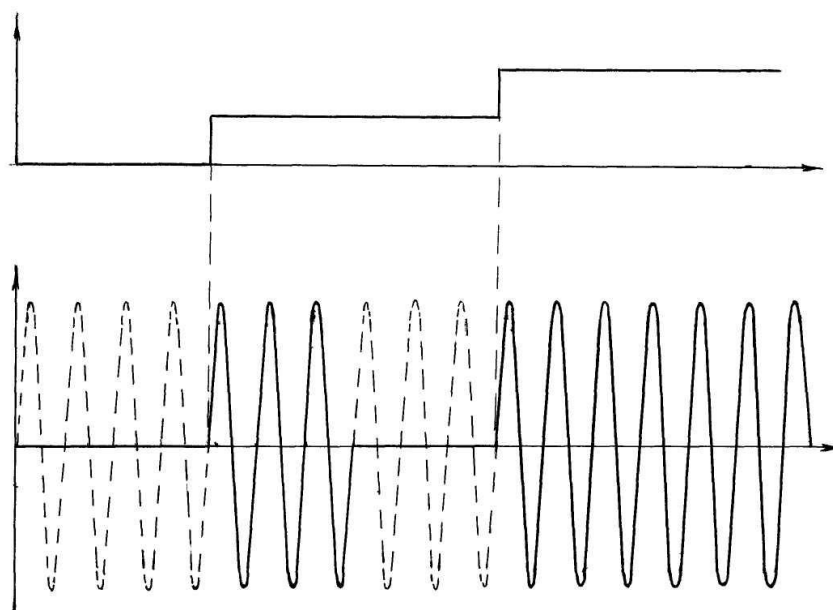


Рисунок 9.2

В лабораторной работе необходимо снять две характеристики:

- регулировочную, представляющую собой зависимость выходного напряжения регулятора от управляющего напряжения при постоянной нагрузке;
- нагрузочную, представляющую собой зависимость напряжения на нагрузке от тока нагрузки при постоянном управляющем сигнале.

Лабораторная установка состоит из блока управления тиристорами (БУСТ), тиристоров, включенных встречно-параллельно в цепь нагрузки каждой фазы, нагрузочного устройства, состоящего из ламп накаливания и задающего потенциометра. Схема лабораторной установки представлена на рис. 3.

Напряжение управления U_u устанавливается с помощью потенциометра 10кОм, подключенного к клеммам 13, 14 и 16 клеммника X1. Трехфазное напряжение 380/220В через автоматический выключатель АВ подается на клеммы 1, 3, 5 клеммника X1, 10, 6, 2 клеммника X2 и на тиристоры. Нагрузкой фазы А является группа ламп накаливания. В цепи фаз В и С в данной лабораторной работе нагрузка отсутствует. Отсутствуют также трансформаторы тока ТТА, ТТВ и ТТС, которые включают при использовании ограничения токовой нагрузки, величина ограничения тока устанавливается резистором 100кОм. Режим работы БУСТ устанавливают с помощью перемычек S1...S6.

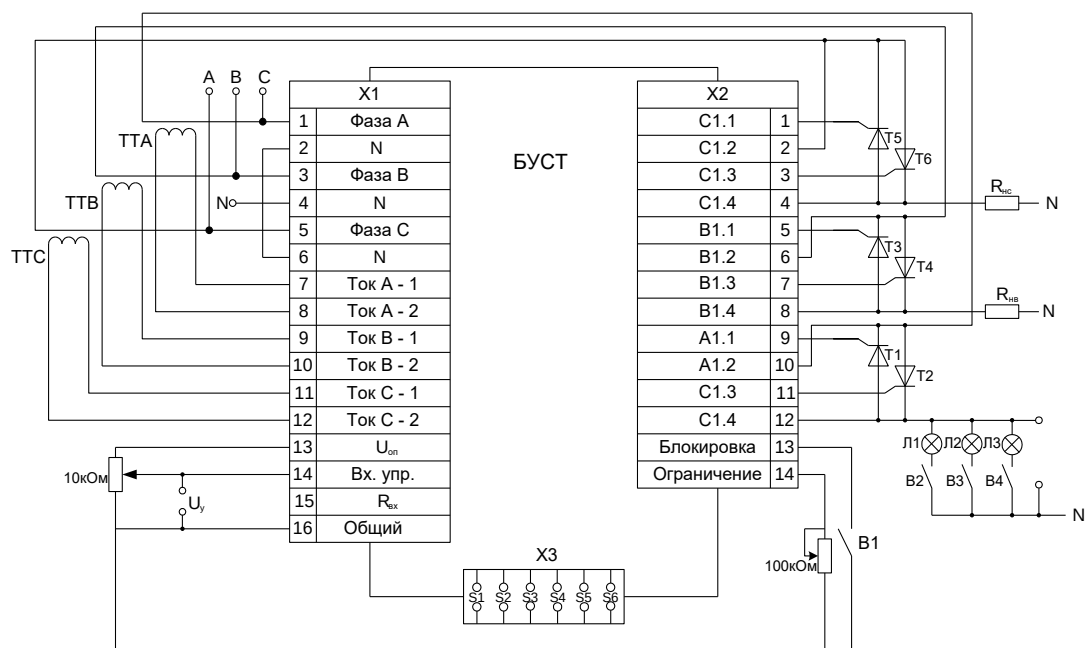


Рисунок 9.3 – Схема лабораторной установки

При установленной перемычке S1 регулирование осуществляется по числу полупериодов, при снятой – фазный способ управления.

Перемычку S2 устанавливают при наличии контроля тока с помощью трансформаторов тока.

Перемычку S3 устанавливают при использовании блока управления в режиме «работа».

Перемычки S4 и S5 устанавливают при использовании фаз В и С.

Перемычку S6 устанавливают при использовании входного управляющего сигнала 4...20мА, при остальных управляющих сигналах ее необходимо снять.

Для индикации уровня управляющего сигнала в приборе имеется десять светодиодов.

Блок управления обеспечивает плавный выход на заданный уровень мощности примерно за 5 секунд.

Уровень токовой защиты настраивается переменным резистором 100кОм, включенным между клеммами 16X1 и 14X2.

Выключателем В1 запрещают запуск формирователя импульсов, при его замкнутом состоянии напряжение на выходе регулятора отсутствует.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1. На клеммы задающего потенциометра 10кОм подключить вольтметр постоянного тока, установив предел изменения 20В.
2. В цепь нагрузки (фаза А на выходе регулятора – лампы накаливания) включить амперметр переменного тока с пределом измерения 2А.
3. На клеммы нагрузки (фаза А на выходе регулятора – клемма нейтрального провода N) подключить вольтметр переменного тока с верхним пределом измерения не менее 300В.
4. Снять перемычку S1. Подключить часть или всю нагрузку. После проверки подключения приборов преподавателем подать напряжение, включив автоматический выключатель по фазе А.
5. Устанавливая задающим потенциометром 5 – 6 значений напряжения на входе регулятора, снять показания вольтметра, подключенного на выход регулятора напряжения. Значения напряжений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

U _y , В								
U _{вых} , В	без перемычки S ₁							
	с перемычкой S ₁							

6. Установить перемычку S1. Повторить испытания п.5.
7. При снятой перемычке S1 и при отсутствии нагрузки задающим потенциометром установить напряжение на выходе в пределах 100...200В. Не изменяя задающего напряжения, включением ламп установить несколько значений нагрузки вплоть до максимальной. При каждом значении нагрузки показания амперметра и вольтметра, подключенного к лампам, занести в таблицу 2.

Таблица 2.

I _н , А								
U _{вых} , В	без перемычки S ₁							
	с перемычкой S ₁							

8. Испытания, описанные в п.7, повторить при установленной перемычке S1.
9. Снять напряжение, отключив автоматический выключатель. После проверки преподавателем результатов измерения отключить измерительные приборы.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Чем объясняются малые потери мощности при регулировании напряжения с помощью тиристоров и симисторов?
2. Опишите два способа регулирования напряжения с помощью тиристоров.
3. Каковы достоинства и недостатки фазового способа регулирования напряжения?
4. Каковы достоинства и недостатки регулирования напряжения числом открываемых периодов?
5. Что понимают под регулировочной характеристикой регулятора напряжения?
6. Что понимают под нагрузочной характеристикой регулятора напряжения?
7. Как изменить способ регулирования напряжения на БУСТ?
8. Какие изменения в схеме БУСТ необходимо выполнить при подключении трехфазной нагрузки?
9. Какие входные устройства и сигналы можно использовать для регулирования напряжения с помощью БУСТ?

Лабораторная работа №8. Интегральные операционные усилители. Операционный усилитель.

Цель работы: Изучить основные свойства операционного усилителя, познакомиться с некоторыми функциями, выполняемыми с помощью операционных усилителей и соответствующими схемами их включения.

Основы теории:

Операционный усилитель (ОУ) – это дифференциальный усилитель постоянного тока с коэффициентом усиления по напряжению $K_U = 10^4 \dots 10^6$. Отличительной особенностью операционных усилителей является их очень высокое входное сопротивление, в связи с чем входной ток усилителей в расчётах обычно принимают равным нулю. Выходное сопротивление операционных усилителей мало, поэтому напряжение на их выходе практически не зависит от нагрузки. В качестве источников питания ОУ используют источники постоянного напряжения обычно со средней точкой. В настоящей лабораторной работе ОУ подключается к источнику питания $\pm 15\text{В}$. Дифференциальный усилитель имеет два входа: прямой, напряжение на котором будем обозначать U^+ , и инверсный, напряжение на котором будем обозначать U^- . Напряжение на выходе ОУ определяется напряжениями на его входах:

$$U_{\text{вых}} = K_U(U^+ - U^-).$$

Ввиду того, что коэффициент усиления имеет очень большую величину, при разности напряжений на входах, составляющей даже десятые и сотые доли вольта ОУ находится в режиме насыщения, т.е. на его выходе устанавливается максимально возможное напряжение, близкое к напряжению источника питания. Если же усилитель не находится в состоянии насыщения, то разность $U^+ - U^- = U_{\text{вых}} / K_U$ близка к нулю, и в этом случае в расчётах обычно принимают $U^+ = U^-$.

ОУ используют для выполнения целого ряда функций: как компаратор, как усилитель, имеющий строго постоянный коэффициент усиления, не зависящий от нагрузки, как алгебраический сумматор с одинаковыми или разными весовыми коэффициентами, как интегратор и т.д.

В качестве компаратора ОУ работает при отсутствии обратных связей. В этом случае происходит сравнение напряжений на его входах, и выходное напряжение принимает знак «+», если $U^+ > U^-$, и знак «-», если $U^+ < U^-$. Такое сравнение напряжений используют в схемах стабилизаторов напряжения и тока, в усилителях переменного тока для существенного снижения нелинейных искажений и в ряде других случаев. Схема компаратора представлена на рис.10.1.

Чтобы ОУ работал как усилитель с заданным постоянным коэффициентом усиления, необходимо использовать отрицательную обратную связь по напряжению, т.е. часть напряжения с выхода усилителя подать на его инверсный вход. При этом в зависимости от способа подключения входного усиливаемого сигнала усилитель может быть неинвертирующим или инвертирующим.

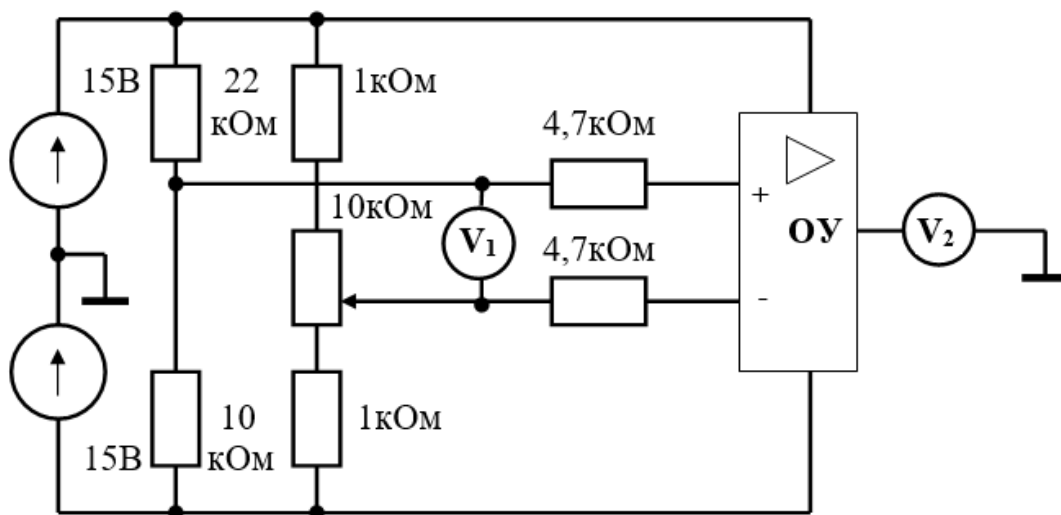


Рисунок 10.1 – Схема компаратора

Схема неинвертирующего усилителя представлена на рис. 10.2.

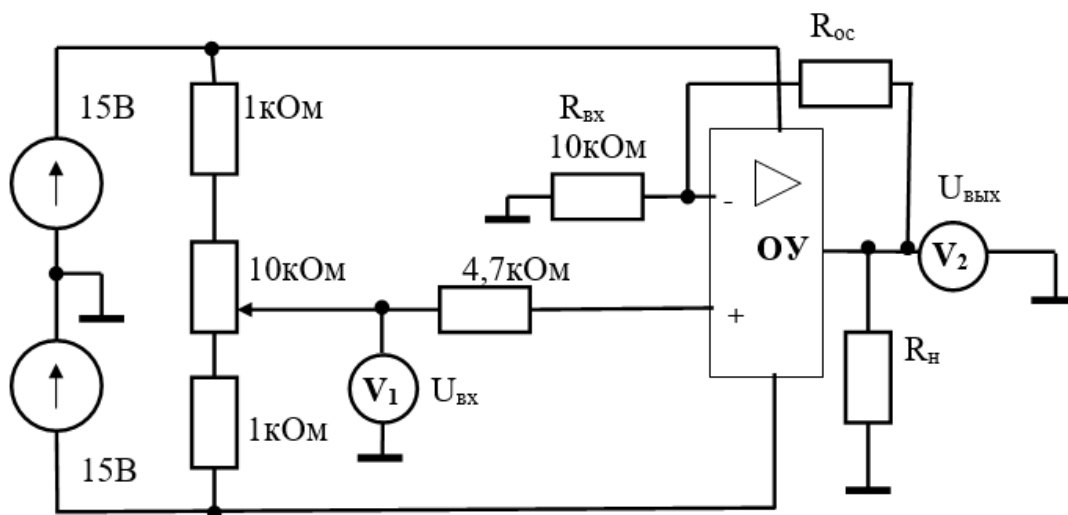


Рисунок 10.2 – Схема неинвертирующего усилителя

Схема инвертирующего усилителя представлена на рис. 9.3. Этот усилитель преобразует входное напряжение в напряжение противоположной полярности на выходе ОУ. Если на вход усилителя подать синусоидальный сигнал, то напряжение на выходе по отношению к входному будет сдвинуто по фазе на 180° . В данной схеме на неинверсный вход ОУ подан нулевой потенциал. Сигнал усиливаемого напряжения через сопротивление $R_{вх}$

подаётся на инверсный вход, на этот же вход через сопротивление R_{oc} подаётся напряжение с выхода ОУ, таким образом, на этом входе суммируются токи.

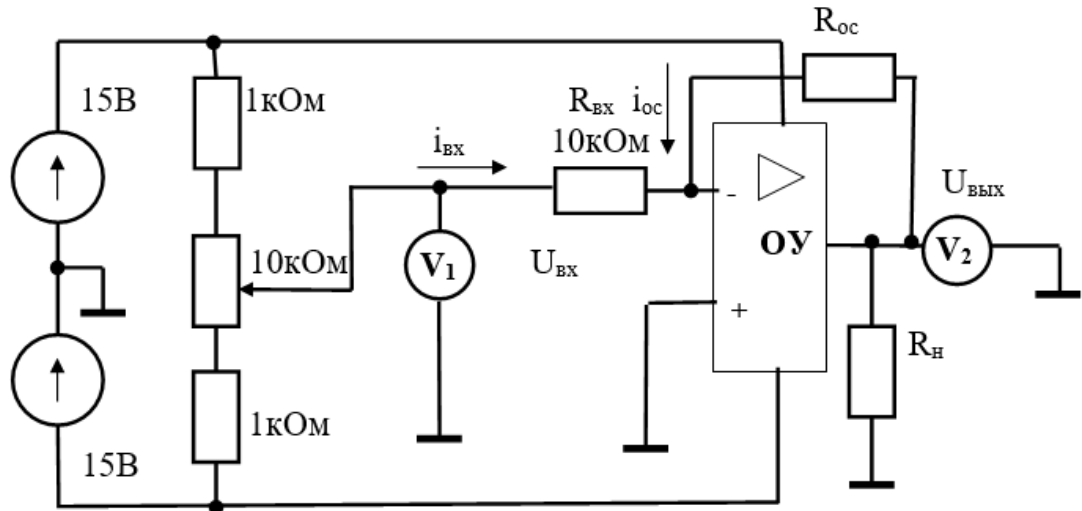


Рисунок 10.3 – Схема инвертирующего усилителя

Как было отмечено выше, входной ток ОУ пренебрежимо мал, поэтому

$$i_{BX} + i_{oc} = 0,$$

но $i_{BX} = U_{BX} / R_{BX}$ и $i_{oc} = U_{ВЫХ} / R_{oc}$, поэтому $U_{ВЫХ} / R_{oc} = - U_{BX} / R_{BX}$, откуда

$$U_{ВЫХ} = - (R_{oc} / R_{BX}) U_{BX} \quad (9.2).$$

Следует коэффициент усиления как неинвертирующего, так и инвертирующего усилителя не зависит от коэффициента усиления ОУ (который при изменении температуры и величины питающего напряжения меняется в широких пределах, оставаясь очень высоким), а определяется сопротивлениями резисторов, включённых во входной цепи и в цепи обратной связи. Резисторы же обладают достаточно стабильными параметрами, поэтому коэффициенты усиления рассмотренных усилителей также достаточно стабильны. Следует также заметить, что выражения справедливы, пока $U_{ВЫХ}$ меньше напряжения насыщения.

Если в схеме, изображённой на рис. 10.3 на инверсный вход ОУ подать через сопротивления не одно, а несколько напряжений, причём, любой полярности, то будет выполнена операция алгебраического суммирования этих напряжений с умножением на коэффициенты, равные отношению сопротивления обратной связи к входным сопротивлениям. В этом случае

$$i_{BX1} + i_{BX2} + \dots + i_{BXn} + i_{oc} = 0, \text{ или}$$

$$U_{BX1} / R_{BX1} + U_{BX2} / R_{BX2} + \dots + U_{BXn} / R_{BXn} + U_{ВЫХ} / R_{oc} = 0, \text{ откуда}$$

$$U_{ВЫХ} = - [(R_{oc} / R_{BX1}) U_{BX1} + (R_{oc} / R_{BX2}) U_{BX2} + \dots + (R_{oc} / R_{BXn}) U_{BXn}] \quad (9.3)$$

Схема алгебраического суммирования двух напряжений с инверсией изображена на рис. 10.4. В этой схеме суммирование осуществляется с одинаковыми весовыми коэффициентами; одно из суммируемых напряжений подаётся от регулируемого источника $0 \dots 15$ В, его полярность остаётся постоянной, второе – с делителя напряжения, его можно изменять как по величине, так и по знаку.

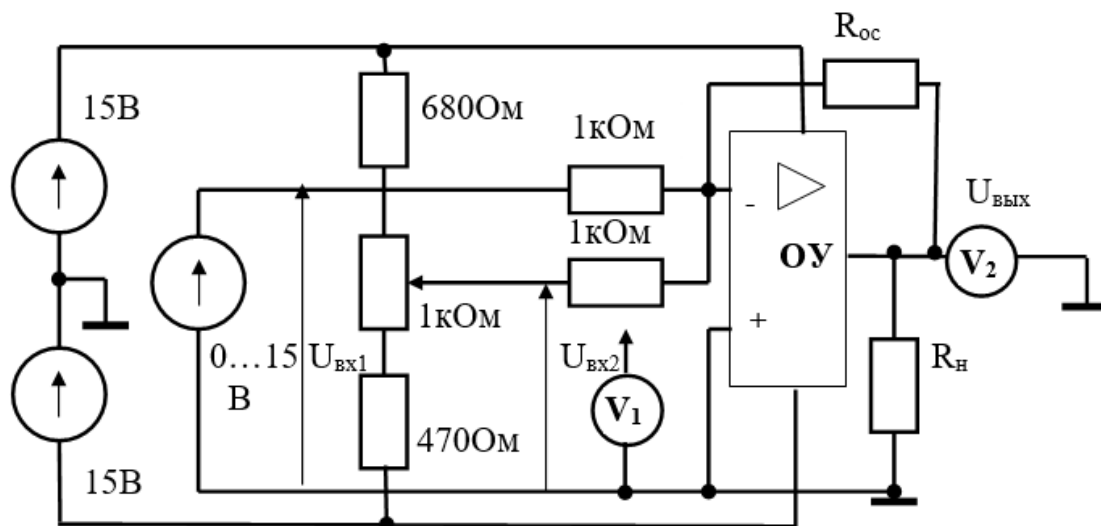


Рисунок 10.4 – Схема алгебраического суммирования

Чтобы ОУ выполнял операцию интегрирования, в цепь отрицательной обратной связи необходимо включить конденсатор, а входное напряжение подать через сопротивление на инверсный вход; второй вход, как и в предыдущей схеме, необходимо подключить к средней точке источника питания. Схема интегрирующего усилителя представлена на рис. 10.5.

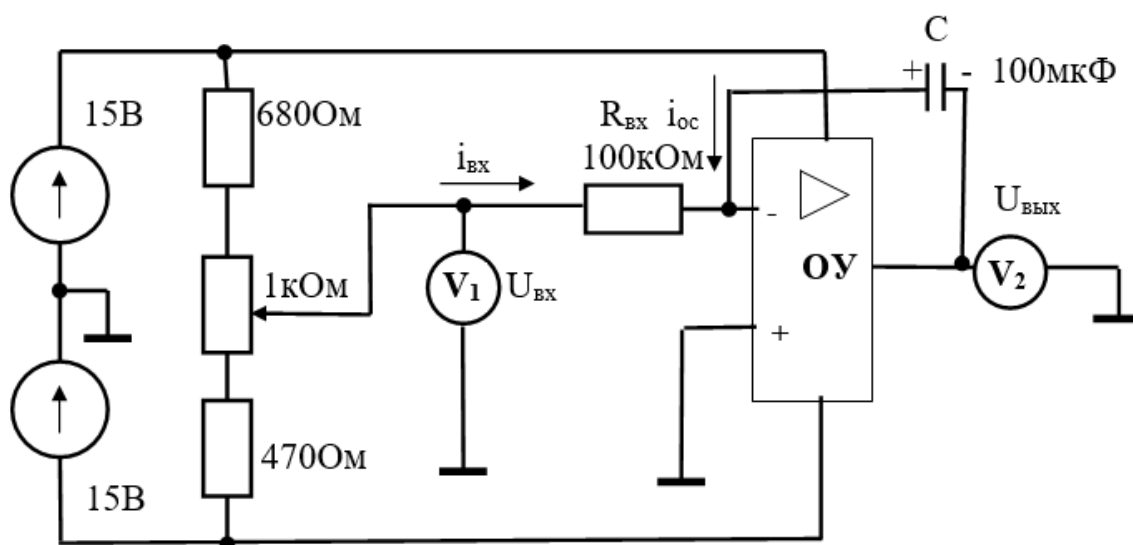


Рисунок 10.5 – Схема интегрирующего усилителя

Усилитель, собранный по схеме рис. 9.5, может выполнять и другие математические операции, вид которых определяется комплексными сопротивлениями входной цепи $Z_{вх}(p)$ и цепи обратной связи $Z_{ос}(p)$. В общем случае входное и выходное напряжения в данной схеме связаны зависимостью:

$$U_{вых}(p) = -[Z_{ос}(p)/Z_{вх}(p)] U_{вх}(p)$$

В частном случае, при интегрировании, $Z_{вх}(p) = R_{вх}$, $Z_{ос}(p) = 1/(Cp)$,

$$U_{вых}(p) = -U_{вх}(p)/(C R_{вх} p),$$

или, если перейти от операторной формы записи к классической,

$$U_{вых} = -1/(C R_{вх}) \int U_{вх} dt$$

Из последнего выражения следует, что скорость интегрирования определяется произведением $CR_{вх}$, которое называют постоянной времени интегрирования и обозначают обычно буквой τ . Если в данном произведении ёмкость выразить в фарадах, а сопротивление в Омах, то постоянная времени получится в секундах.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении лабораторной работы необходимо опробовать работу операционного усилителя в следующих режимах: компаратора, неинвертирующего или инвертирующего усилителя, сумматора и интегратора; проверить зависимость коэффициента усиления усилителя от нагрузки, снять амплитудную характеристику усилителя.

Порядок выполнения работы следующий.

1. Изучить основные теоретические положения.

2. Собрать схему компаратора (рис. 10.1). Подать напряжение питания, изменением положения рукоятки потенциометра установить нулевое напряжение между входами ОУ. Подавая незначительное напряжение между входами ОУ перемещением рукоятки потенциометра, убедиться, что при изменении его знака напряжение на выходе усилителя тоже меняет знак, принимая при этом максимально возможные значения, близкие к напряжению питания.

Собрать по указанию преподавателя схему инвертирующего или неинвертирующего усилителя (рис. 10.2 или рис. 10.3). Снять амплитудные характеристики усилителя при двух значениях сопротивления в цепи обратной связи. Значения сопротивлений и напряжений

на входе усилителя указаны в таблице 10.1, в эту же таблицу внести значения выходного напряжения

Таблица 10.1

R _{oc} 22 кОм	U _{вх} , В	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
	U _{вых} , В											
R _{oc} 100 кОм	U _{вх} , В	-1,2	-1	-0,8	-0,6	-0,4	0	0,4	0,6	0,8	1	1,2
	U _{вых} , В											

Вычислить коэффициенты усиления и сравнить их с теоретическими значениями, вычисленными в соответствии с формулами. Включить и выключить на выходе усилителя нагрузку 3.3 или 4.7 кОм, убедиться, что при этом напряжение на выходе усилителя не меняется.

4. Собрать схему алгебраического суммирования двух напряжений (рис.10.4). Установив напряжения на входах, указанные в таблице 10.2, записать в таблицу напряжения на выходе усилителя.

Таблица 10.2.

U _{вх1} , В	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
U _{вх2} , В	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
U _{вых} , В												

5. Собрать схему рис. 10.5. Вычислить постоянную времени интегрирования. Подать напряжение питания, установить на входе усилителя напряжение +1В, убедиться в том, что выходное напряжение изменяется со скоростью, соответствующей вычисленному значению постоянной времени. Поворотом рукоятки потенциометра изменить полярность входного напряжения, убедиться в том, что выходное напряжение после этого уменьшается с постоянной скоростью. Сняв напряжение, заменить конденсатор ёмкостью 100 мкФ на конденсатор 10 мкФ, подав напряжение, убедиться, что напряжение на выходе стало меняться в 10 раз быстрее. При испытаниях интегратора следить за тем, чтобы напряжение на выходе усилителя было всё время отрицательным, это необходимо потому, что в схеме используются электролитические конденсаторы.

6. Закончив эксперименты, построить амплитудные характеристики усилителя.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите основные свойства операционных усилителей.
2. Опишите работу компаратора.
3. Поясните работу инвертирующего и неинвертирующего усилителей.
4. Чем определяются коэффициенты усиления усилителей, собранных на базе операционного усилителя?
5. Как с помощью ОУ осуществляют суммирование напряжений?
6. Как построить схему интегратора на базе ОУ? Чем определяется скорость интегрирования?
7. Чем в общем случае определяется динамический режим ОУ с отрицательной обратной связью?
8. Как напряжение на выходе ОУ зависит от нагрузки?

Лабораторная работа №9. Генераторы. Генератор прямоугольных импульсов.

Цель работы: Изучить принципиальную схему, назначение отдельных её элементов и работу генератора прямоугольных импульсов на базе операционного усилителя.

Основы теории:

Генераторы прямоугольных импульсов широко используются в различных устройствах электронной техники: в электронно-вычислительных машинах, системах связи, системах автоматизации производственных процессов, в бытовой технике и т.д. Существует ряд схем генераторов, которые собирают, используя в качестве базовых элементов либо логические элементы, либо триггеры, либо операционные усилители, либо отдельные транзисторы. Промышленность выпускает генераторы в виде микросхем, они также входят как составные элементы в целый ряд больших интегральных схем.

В настоящей лабораторной работе рассматривается схема автогенератора прямоугольных импульсов, построенная на базе операционного усилителя. Достоинствами такого генератора являются: крутой фронт импульсов, простота регулирования частоты и скважности, отсутствие обратных выбросов. Принципиальная электрическая схема генератора представлена на рис.11.1.

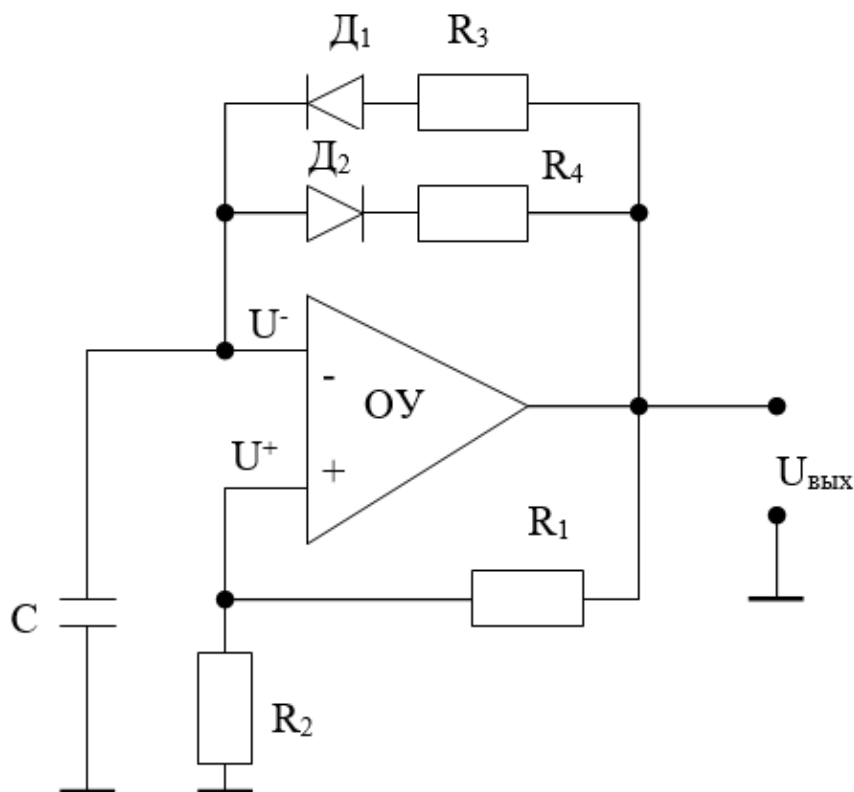


Рисунок 11.1 – Схема генератора прямоугольных импульсов

Операционный усилитель имеет безынерционную положительную обратную связь, которая обеспечивается делителем R_1R_2 и инерционную отрицательную, выполненную резисторами R_3 и R_4 и конденсатором C .

Рассмотрим режим автоколебаний этого генератора, приняв $R_3 = R_4$.

Пусть в момент времени $t = 0$ (рис. 11.2) включается источник питания ОУ и выходное напряжение начинает возрастать, тогда через делитель R_1R_2 увеличивается напряжение U^+ , напряжение U^- вследствие наличия конденсатора в цепи обратной связи растет постепенно. Вследствие увеличения U^+ нарастание напряжения U протекает лавинообразно, оно скачкообразно возрастает до напряжения насыщения E , а входное U^+ до

$$U_R = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \gamma E$$

Напряжение U^- в процессе заряда конденсатора растет по экспоненте, стремясь к значению E , но как только оно незначительно превысит U_R , напряжение на выходе ОУ скачкообразно изменится до значения $-E$, после чего конденсатор начнет перезаряжаться, то есть напряжение U^- станет уменьшаться по экспоненте, стремясь к значению $-E$, а напряжение U^+ в процессе перезаряда конденсатора будет оставаться постоянным, равным $-\gamma E$. Как только U^- станет по абсолютному значению больше U^+ , напряжение на выходе ОУ скачком изменится до $+E$. Далее процесс будет периодически повторяться.

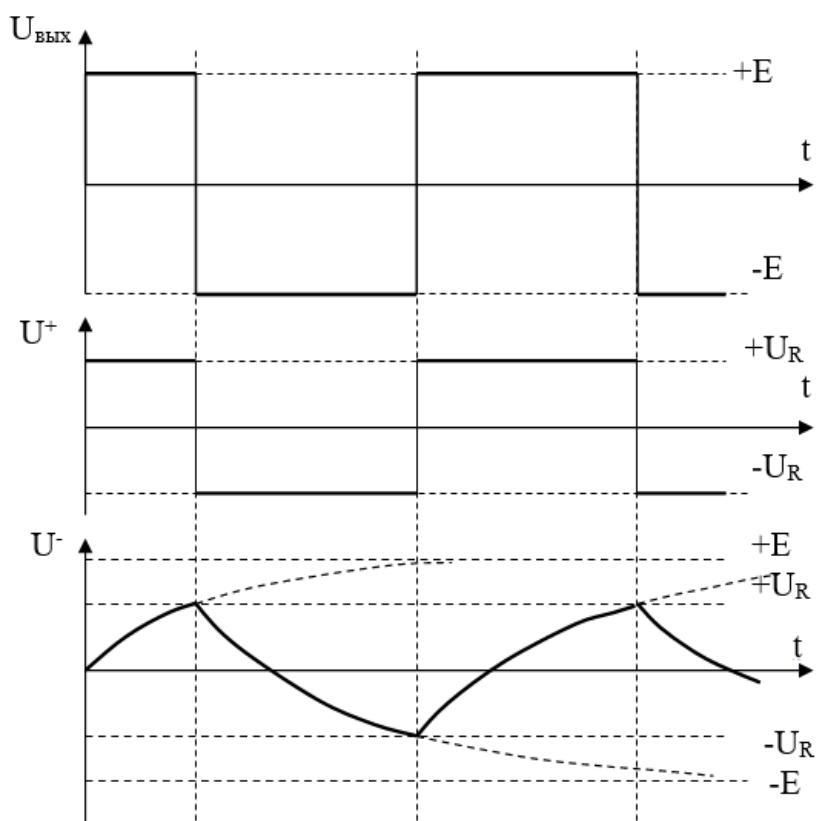


Рисунок 11.2 – Осциллограмма генератора прямоугольных импульсов

Первый импульс будет иметь меньшую длительность, поскольку он формируется при заряде конденсатора от 0 до U_R .

$$U^-(t) = E \left(1 - e^{-t/\tau} \right)$$

где $\tau = R_3 C$, в момент переключения $U^-(t) = U_R = \gamma E$, то есть при $t = t_1$.

$$\gamma E = E \left(1 - e^{-t_{u1}/\tau} \right),$$

Откуда длительность первого импульса

$$t_{u1} = \tau \ln \frac{1}{1 - \gamma}.$$

При генерации последующих импульсов конденсатор перезаряжается от напряжения $U_R = \gamma E$ одной полярности, стремясь зарядиться до напряжения E противоположной полярности, то есть процесс перезарядки протекает по закону:

$$U^-(t) = (E + \gamma E) \left(1 - e^{-t/\tau} \right) - \gamma E,$$

процесс перезарядки прекращается при $U^-(t) = \gamma E$, откуда длительность последующих импульсов будет

$$t_u = \tau \ln \frac{1 + \gamma}{1 - \gamma},$$

период следования импульсов $T = 2t_u$.

Скважность сигнала

$$\frac{T}{t_u} = 2.$$

Для получения скважности q , отличной от 2, необходимо принять соответствующие различные значения R_3 и R_4 :

$$R_4 = R_3 (q - 1).$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1. Собрать схему генератора, изображенную на рис. 10.1, приняв следующие значения параметров элементов:

$$R_1=4,7\text{кОм}, R_2=1\text{кОм}, R_3= R_4=1\text{Мом}, C=0,01\text{мкФ}.$$

(Преподавателем могут быть заданы другие значения параметров).

Для питания операционного усилителя использовать два источника постоянного тока 15В, включив их так, как показано на рис. 11.3.

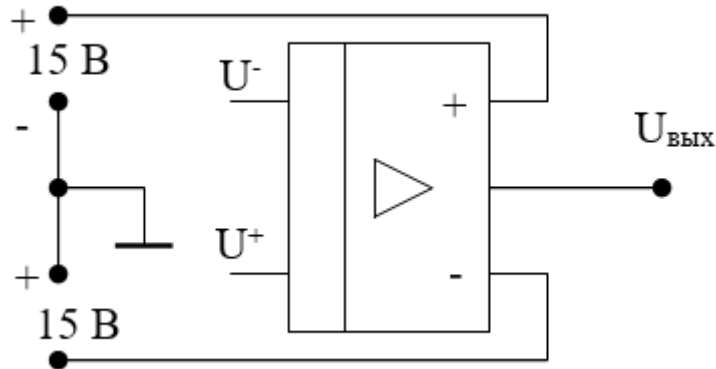


Рисунок 11.3 – Принципиальная схема испытания генератора прямоугольных импульсов

Выходное напряжение генератора подать на вход осциллографа.

2. После проверки собранной схемы преподавателем подать напряжение на осциллограф и на источники питания. Наблюдая на экране осциллографа форму выходного напряжения генератора, убедиться, что она имеет прямоугольную форму, причём, длительность положительного импульса равна длительности отрицательного.

3. В цепи отрицательной обратной связи резистор R_3 сопротивлением 1 Мом заменить резистором 100 кОм. Убедиться, что длительность положительного импульса стала в 10 раз короче длительности отрицательного.

4. В цепи положительной обратной связи параллельно резистору R_2 сопротивлением 1 кОм включить второй такой же резистор. При этом коэффициент делителя напряжения уменьшится и станет равным

$$\gamma_1=0,5/(4,7+0,5)=0,0961,$$

до включения второго резистора его значение было

$$\gamma=1/(4,7+1)=0,175.$$

Частота периодического сигнала изменилась в n раз, где

$$n=[\ln(1+\gamma)/(1-\gamma)]/[\ln(1+\gamma_1)/(1-\gamma_1)]=1.834.$$

Наблюдая сигнал выходного напряжения на экране осциллографа, убедиться в увеличении его частоты.

5. С помощью осциллографа пронаблюдать форму напряжения U .

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какое электронное устройство называют автогенератором?
2. Опишите работу автогенератора прямоугольных импульсов на базе операционного усилителя.
3. Какими способами можно изменить частоту сигнала, рассматриваемого в данной работе генератора?
4. Как изменить скважность сигнала генератора?
5. Объясните роль положительной обратной связи в формировании фронта сигналов генератора.
6. Как изменится частота сигнала генератора при увеличении сопротивления R_1 делителя напряжения?

Лабораторная работа №10. Аналоговые электроизмерительные приборы. Аналоговые электромеханические измерительные приборы

Цель работы: Измерение тока, напряжения, мощности, $\cos \varphi$ электромеханическими измерительными приборами.

Основы теории:

Как известно, аналоговыми измерительными приборами называют приборы, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины. Эти приборы отличаются относительной простотой, дешевизной, высокой надёжностью, разнообразием применения и выпускаются до класса точности 0,05.

Электромеханические приборы принадлежат к классу аналоговых и состоят из двух основных частей: измерительной цепи и измерительного механизма.

Измерительная цепь служит для преобразования измеряемой величины в другую, непосредственно воздействующую на измерительный механизм.

В измерительном механизме электрическая энергия преобразуется в механическую энергию перемещения подвижной части.

Момент, возникающий в приборе под действием измеряемой величины и поворачивающий подвижную часть в сторону возрастающих показаний однозначно должен определяться измеряемой величиной x и в общем случае должен зависеть от угла поворота α подвижной части:

$$M = F(x, \alpha).$$

Для электромеханических приборов может быть написано общее выражение вращающего момента, вытекающее из уравнений Лагранжа второго рода, являющихся общими уравнениями динамики системы:

$$M = \frac{dW_e}{d\alpha},$$

где W_e - энергия электромагнитного поля, сосредоточенная в измерительном механизме.

По способу создания вращающего момента электромеханические приборы подразделяются на следующие основные группы: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические и др.

Чтобы угол отклонения α зависел от измеряемой величины, в приборе при повороте подвижной части создаётся противодействующий момент

$$M_{\alpha} = W \cdot \alpha,$$

где W зависит только от свойств упругого элемента (спиральных пружин или тонких нитей).

Зависимость между углом отклонения и током:

-для **магнитоэлектрических приборов** может быть представлена выражением

$$W \cdot \alpha = B \cdot s \cdot w \cdot I; \text{ откуда } \alpha = \frac{B \cdot s \cdot w}{W},$$

-для **электромагнитных приборов**:

$$W \cdot \alpha = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}; \text{ откуда } \alpha = \frac{1}{2W} I^2 \frac{dL}{d\alpha},$$

-для **электродинамических приборов**:

$$W \cdot \alpha = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{1 \leftrightarrow 2}}{d\alpha}; \text{ откуда } \alpha = \frac{1}{W} I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM_{1 \leftrightarrow 2}}{d\alpha}.$$

На основании вышеизложенного не представляет труда составить принципиальные измерительные схемы для измерения:

- тока и напряжения прямым методом (Рис. 1.1),
- электрического сопротивления косвенным методом (Рис. 1.1),
- активной мощности прямым методом (Рис. 1.2),
- $\cos \varphi$ прямым методом (Рис.1.3),
- $\cos \varphi$ косвенным методом (Рис. 1.4).

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо:

- произвести измерение силы постоянного тока, протекающего через нагрузку, в схеме, представленной на Рис. 1.1 а);
- произвести измерение напряжения переменного тока на нагрузке (между точками «а» и «в») в схемах, представленных на Рис. 1.1 б);
- произвести измерение сопротивления нагрузки косвенным методом в схемах, представленных на Рис. 1.1а) и Рис. 1.1б);
- произвести измерение активной мощности нагрузки в схеме, представленной на Рис. 1.2;

– произвести измерение $\cos \varphi$, создаваемого нагрузкой, в схемах, представленных на Рис. 1.3 и Рис. 1.4.

Порядок выполнения работы:

Изучить основные теоретические положения.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 а) без подключения вольтметра на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве источника постоянного напряжения использовать источник «=12В»; $R_H=30...150$ Ом. Выполнить не менее 10 измерений, при различных значениях R_H . Результаты измерений занести в таблицу.

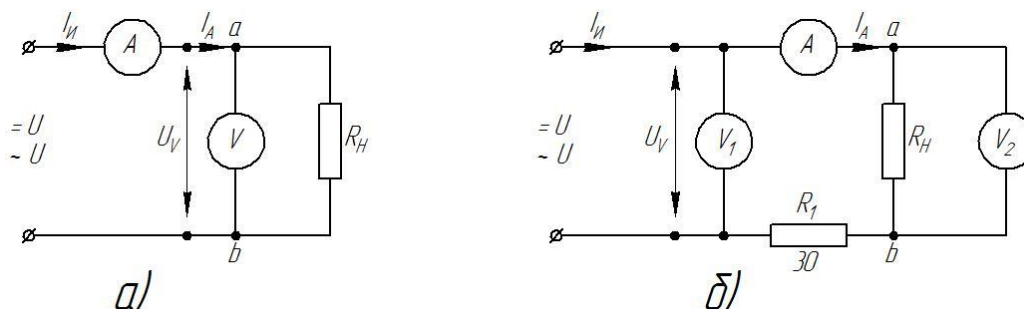


Рисунок 1.1. Схемы электрические принципиальные для измерения силы тока, протекающего через нагрузку; напряжения на нагрузке и измерения сопротивления нагрузки косвенным методом.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 а) без подключения вольтметра на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве амперметра использовать переносной прибор М253, в качестве источника постоянного напряжения использовать источник «=12В»; $R_H=30...150$ Ом. Выполнить не менее 10 измерений, правильно выбирая предел в соответствии с результатами, полученными в п. 1.2.2. Результаты занести в таблицу с указанием выбранного предела измерений.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 б) без подключения вольтметра V_1 и амперметра на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве источника переменного напряжения использовать вторичное линейное напряжение трансформаторного блока; $R_1=30$ Ом; $R_H=5...100$ Ом. Выполнить не менее 10 измерений. Результаты занести в таблицу.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 б) без подключения вольтметра V_1 и амперметра на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве вольтметра V_2 использовать переносной прибор Э515, в качестве источника переменного напряжения использовать вторичное линейное напряжение трансформаторного блока; $R_1=30$ Ом; $R_H=5...100$ Ом. Выполнить не менее 10 измерений, правильно выбирая предел в соответствии с результатами, полученными в п. 1.2.4. Результаты занести в таблицу с указанием выбранного предела измерений.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 а) на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве источника постоянного напряжения использовать источник «=12В»; $R_n=30...50$ Ом, известное с точностью до второго знака. Измерить сопротивление нагрузки косвенным методом. Результаты занести в таблицу.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 а) на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве источника постоянного напряжения использовать источник «=12В»; $R_n=50...100$ кОм, известное с точностью до второго знака. Измерить сопротивление нагрузки косвенным методом. Результаты занести в таблицу.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 б) без подключения вольтметра V_2 и сопротивления R_1 на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве источника постоянного напряжения использовать источник «=12В»; $R_n=30...50$ Ом, известное с точностью до второго знака. Измерить сопротивление нагрузки косвенным методом. Результаты занести в таблицу.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.1 б) без подключения вольтметра V_2 и сопротивления R_1 на стенде «Электротехника и основы электроники». В качестве источника постоянного напряжения использовать источник «=12В»; $R_n=50...100$ кОм, известное с точностью до второго знака. Измерить сопротивление нагрузки косвенным методом. Результаты занести в таблицу.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.2 на стенде «Теоретические основы электротехники». В качестве источника постоянного напряжения использовать источник «=15В». Последовательно подключая в качестве нагрузки $R_n=100, 150, 220, 330$ Ом, произвести измерение активной мощности нагрузки. Результаты измерений занести в таблицу

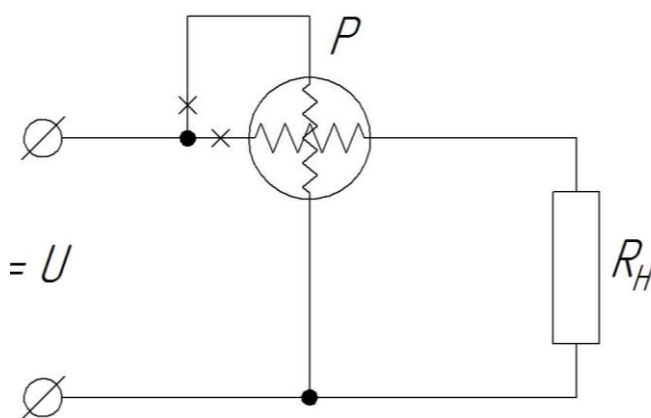


Рисунок 1.2. Схема электрическая принципиальная измерения активной мощности нагрузки.

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.3 на стенде «Теоретические основы электротехники». В качестве источника переменного напряжения использовать источник 23В; в качестве Z_n – последовательно соединённые $R=100$ Ом и $C_1=100$ мкФ, $C_2=20$ мкФ, C_3

$=10\text{мкФ}$. Последовательно меняя конденсаторы произвести измерения $\cos\varphi$ прямым методом. Результаты измерений занести в таблицу.

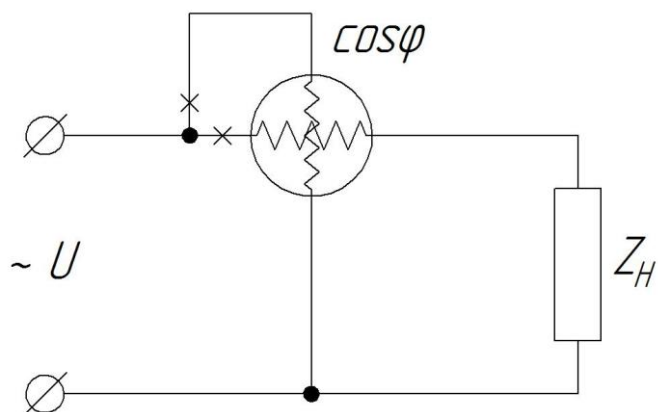


Рисунок 1.3. Схема электрическая принципиальная измерения $\cos\varphi$ прямым методом

Собрать схему, приведённую на Рис. 1.4 на стенде «Теоретические основы электротехники». В качестве источника переменного напряжения использовать источник 23В; в качестве Z_H – последовательно соединённые $R=100\text{ Ом}$ и $C_1=100\text{мкФ}$, $C_2=20\text{мкФ}$, $C_3=10\text{мкФ}$. Последовательно меняя конденсаторы произвести измерения $\cos\varphi$ косвенным методом. Результаты измерений занести в таблицу.

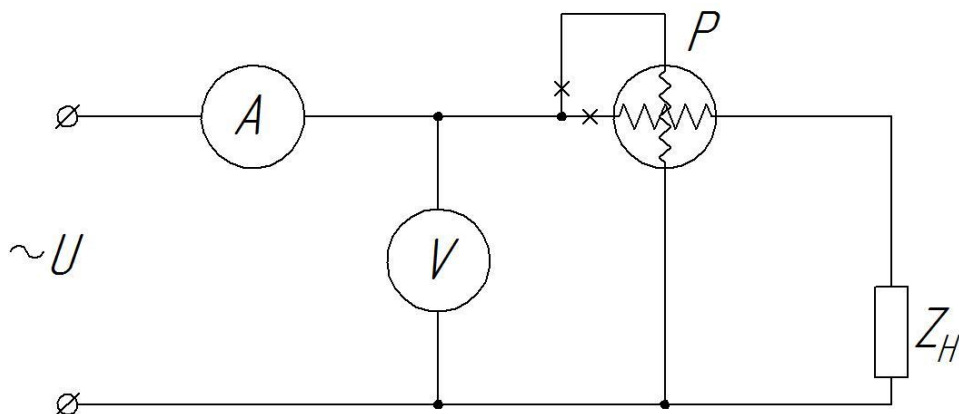


Рис.1.4. Схема электрическая принципиальная измерения $\cos\varphi$ косвенным методом.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;

5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие измерительные приборы относятся к классу аналоговых.
2. Поясните принцип работы измерительных приборов магнитоэлектрической системы.
3. Поясните принцип работы измерительных приборов электромагнитной системы.
4. Поясните принцип работы измерительных приборов электродинамической системы.
5. Опишите устройство измерительного прибора магнитоэлектрической системы.
6. Опишите устройство измерительного прибора электромагнитной системы.
7. Опишите устройство измерительного прибора электродинамической системы.
8. Какие физические величины позволяют измерять приборы соответственно магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической системы.
9. Что означает значок (*) на клеммах ваттметра электродинамической системы.
10. Что означает значок ($\cong$) на шкале прибора электромагнитной системы.

Лабораторная работа №11. Общая теория мостовых схем. Потенциометры и измерительные мосты

Цель работы: Измерение активного сопротивления 4-х плечным мостом постоянного тока.

Основы теории:

Мостовые схемы широко применяются в электроизмерительной технике для измерения сопротивления, индуктивности, ёмкости, добротности катушек, взаимной индуктивности, угла потерь конденсаторов, частоты.

На основе мостовых схем строятся приборы для измерения неэлектрических величин – температуры, малых перемещений и т.д.

Схема одинарного моста приведена на Рис. 2.1. В диагональ «б-г», называемую выходной, включается нагрузка (гальванометр или, в общем случае, нуль-индикатор) с сопротивлением Z_0 .

Ток в диагонали моста наиболее рационально можно рассчитать методом эквивалентного генератора:

$$I_{б-г} = I_0 = \frac{\dot{U}_{б-г\text{ эх}}}{Z_{бх} + Z_0}$$

Напряжение между точками «б» и «г» моста $U_{б-г\text{ эх}}$ при разомкнутой диагонали можно определить на основании второго закона Кирхгофа:

$$\dot{U}_{б-г\text{ эх}} = \dot{U} \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4} \right) = \dot{U} \left(\frac{Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3}{(Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4)} \right)$$

Входное сопротивление моста $Z_{бх}$ при разомкнутых ЭДС относительно точек «б» и «г» определяется выражением:

$$Z_{б-г} = Z_{бх} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} + \frac{Z_3 \cdot Z_4}{Z_3 + Z_4} = \frac{(Z_1 \cdot Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_3 \cdot Z_4) \cdot (Z_1 + Z_2)}{(Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4)}$$
$$Z_{бх} + Z_0 = \dot{U} \frac{Z_0 \cdot (Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_1 \cdot Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_3 \cdot Z_4) \cdot (Z_1 + Z_2)}{Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3}$$

Таким образом:

$$I_0 = \dot{U} \frac{Z_1 \cdot Z_4 - Z_2 \cdot Z_3}{Z_0 \cdot (Z_1 + Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_1 \cdot Z_2) \cdot (Z_3 + Z_4) + (Z_3 \cdot Z_4) \cdot (Z_1 + Z_2)}$$

Равновесие моста имеет место при подборе плеч таким образом, чтобы $\dot{I}_0 = 0$, а это возможно лишь при $Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$.

Т.к. $Z_1 = R_1 + jX_1$; $Z_2 = R_2 + jX_2$; $Z_3 = R_3 + jX_3$; $Z_4 = R_4 + jX_4$, то, подставив выражения комплексных сопротивлений в уравнение равновесия моста, получим два равенства для мнимых и вещественных членов:

$$\begin{aligned} R_1 \cdot R_4 - X_1 \cdot X_4 &= R_2 \cdot R_3 - X_2 \cdot X_3 \\ R_1 \cdot jX_4 + R_4 \cdot jX_1 &= R_2 \cdot jX_3 + R_3 \cdot jX_2 \end{aligned}$$

Наличие двух уравнений равновесия свидетельствует о необходимости регулирования не менее двух параметров моста переменного тока для достижения его равновесия.

Комплексные сопротивления плеч моста могут быть представлены и в показательной форме:

$$Z_1 = z_1 \cdot e^{j\varphi_1}; Z_2 = z_2 \cdot e^{j\varphi_2}; Z_3 = z_3 \cdot e^{j\varphi_3}; Z_4 = z_4 \cdot e^{j\varphi_4}.$$

Тогда равновесие моста возможно при

$$z_1 \cdot e^{j\varphi_1} \cdot z_4 \cdot e^{j\varphi_4} = z_2 \cdot e^{j\varphi_2} \cdot z_3 \cdot e^{j\varphi_3}$$

$$\begin{aligned} \text{или} \quad z_1 \cdot z_4 &= z_2 \cdot z_3, \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3 \end{aligned}$$

Последнее условие ($\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$) указывает при каком расположении плеч, в зависимости от их характера, можно уравновесить мост. Если смежные плечи, например третье и четвёртое, имеют чисто активные сопротивления R_3 и R_4 , т.е. $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$, то два других смежных плеча (первое и второе) должны иметь – одно индуктивный, а другое ёмкостный характер. Если противоположные плечи имеют чисто активный характер, то одно из двух противоположных должно иметь индуктивный характер, а другое – ёмкостный.

Эти требования и определяют различные схемы для измерения физических величин, перечень которых приведён в начале основных теоретических положений к данной лабораторной работе.

При измерении активного сопротивления уравнение равновесия приобретает вид:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3,$$

откуда:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}.$$

Если R_1 – измеряемое сопротивление R_x , то:

$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}.$$

Принято называть и, соответственно, использовать R_3 и R_4 в качестве плеч отношений, а R_2 в качестве плеча сравнения.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо:

- произвести измерение активного сопротивления с помощью мостовой схемы, собранной на стенде,
- получить практический опыт работы с универсальным мостом Винстона.

Порядок выполнения работы:

Изучить основные теоретические положения.

Собрать на стенде «Теоретические основы электротехники» схему Рис.2.1., где: R_1 – измеряемое сопротивление (например 500 Ом), R_2 – магазин сопротивлений Р 33, R_3 и R_4 – магазины сопротивлений Р 34, G - измерительный прибор МУ-62, U – регулируемый источник напряжения 0...15В блока «Генератора постоянных напряжений».

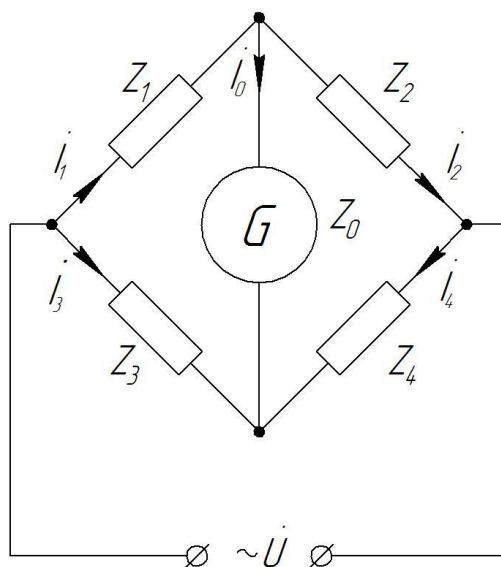


Рисунок 2.1. Схема электрическая принципиальная одинарного моста

Установить:

$R_3 = R_4 = 200 \text{ Ом}$,

R_2 – установлен произвольно,

МУ-62 -200мА,

U – плавно повышать напряжение до регистрации измерительным прибором тока $I_0 = 50 \dots 75$ мА.

Балансируем мостовую схему, вращая курбелли магазина R_2 :

если при увеличении номинала сопротивлений ток I_0 возрастает, то номинал сопротивлений уменьшаем, пока ток через прибор станет равным нулю;

если при уменьшении номинала сопротивлений ток I_0 возрастает, то номинал сопротивлений увеличиваем, пока ток через прибор станет равным нулю;

при нулевых показаниях прибора убеждаемся, что $R_x = R_2$.

Установить:

$R_3 = 400$ Ом,

убеждаемся, что $R_x = 0,5 R_2$.

Установить:

$R_4 = 400$ Ом,

Мост Винстона представляет собой переносной лабораторный прибор, предназначенный для определения повреждений в воздушных электролиниях и кабельных сетях, а также для измерения сопротивлений.

Все измерения проводятся на постоянном токе по нулевому методу путём уравнивания моста при помощи плеч сопротивления с использованием в качестве нуль-индикатора чувствительного стрелочного гальванометра с нулём в середине шкалы. Метод моста применяется главным образом при лабораторных измерениях, где требуется высокая точность.

Балансировка осуществляется следующим образом:

на плечах отношений R_3 и R_4 подбираются сопротивления с десятичными соотношениями (1:10; 1:100; 1:1000 или другие),

на плече сравнения R_2 подбирается для начала сопротивление, предположительно равное измеряемому, разделённое на отношение R_3/R_4 ,

замыкается ключ батареи и, кратковременно нажимая ключ гальванометра, наблюдают за стрелкой гальванометра,

если стрелка гальванометра обнаруживает резко выраженное стремление отклониться от нулевой отметки шкалы – это значит, что взятое в магазине R_2 сопротивление значительно отличается от измеряемого,

изменяя сопротивление магазина R_2 и меняя отношение R_3/R_4 , постепенно добиваются такого распределения токов в схеме, при котором ток в диагонали моста, содержащем

гальванометр, станет равным нулю. В этом случае при замыкании ключей батареи и гальванометра стрелка гальванометра не отклоняется.

когда условия распределения тока в схеме будут достигнуты, значение измеряемого сопротивления определится по известной формуле моста.

Подключить к мосту Винстона отрезок медного провода диаметром 0,1мм и длиной приблизительно 10см. Произвести измерение сопротивления медного провода балансировкой моста.

Подключить к мосту Винстона последовательно ряд сопротивлений: 150Ом; 4,6кОм; 22кОм; 122кОм. Произвести измерение этих сопротивлений балансировкой моста.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

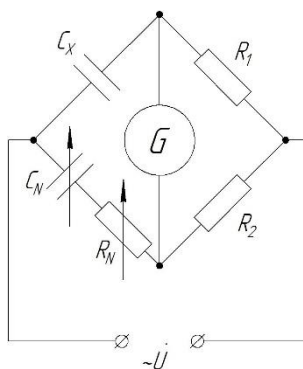
1. Приведите основное уравнение мостовой измерительной схемы.
2. Назовите ряд чисел, как результат деления R_3/R_4 , наиболее приемлемых в процессе измерения сопротивлений мостовым методом.
3. Можно ли при измерении активных сопротивлений питать мостовую схему переменным током.
4. Изложите порядок балансировки мостовой схемы.
5. Изложите порядок балансировки одинарного измерительного моста.
6. Что ограничивает верхний номинал сопротивлений, измеряемых мостовым методом.
7. Что ограничивает нижний номинал сопротивлений, измеряемых мостовым методом.

Лабораторная работа №12. Мосты переменного тока для измерения ёмкости и угла потерь конденсаторов, индуктивности и добротности катушек и частоты. Потенциометры и измерительные мосты

Цель работы: Измерение индуктивности и добротности катушек и ёмкости конденсаторов 4-х плечным мостом переменного тока.

Основы теории:

Схема моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями:



-характер плеч:

$$Z_1 = R_x + j \frac{1}{\omega \cdot C_x}, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = R_N + j \frac{1}{\omega \cdot C_N}, \quad Z_4 = R_2,$$

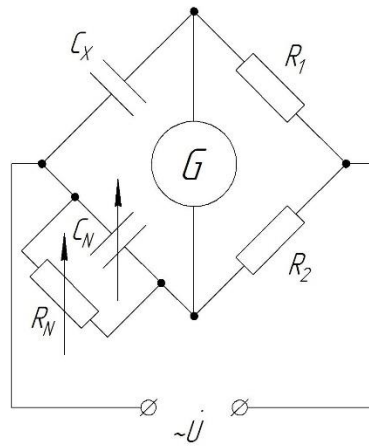
-условие равновесия:

$$\left(R_x + j \frac{1}{\omega \cdot C_x} \right) \cdot R_2 = \left(R_N + j \frac{1}{\omega \cdot C_N} \right) \cdot R_1,$$

-определение измеряемых величин:

$$R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2}, \quad C_x = C_N \cdot \frac{R_2}{R_1}, \quad \operatorname{tg} \Delta = \omega \cdot R_x \cdot C_x = \omega \cdot R_N \cdot C_N.$$

Схема моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего большими потерями:



-характер плеч:

$$Z_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j\omega \cdot C_x}, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_N} + j\omega \cdot C_N}, \quad Z_4 = R_2,$$

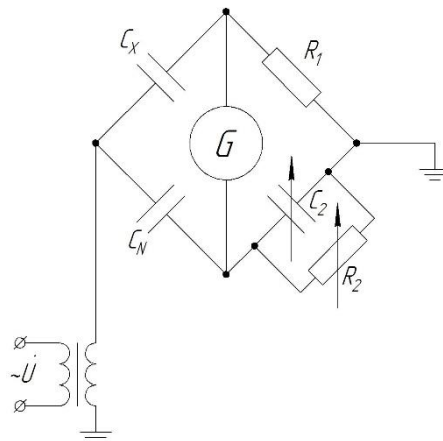
-условие равновесия:

$$\frac{R_2}{\frac{1}{R_x} + j\omega \cdot C_x} = \frac{R_1}{\frac{1}{R_N} + j\omega \cdot C_N},$$

-определение измеряемых величин:

$$R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2}, \quad C_x = C_N \cdot \frac{R_2}{R_1}, \quad \operatorname{tg} \Delta = \frac{1}{\omega \cdot R_x \cdot C_x} = \frac{1}{\omega \cdot R_N \cdot C_N}.$$

3.1.3. Схема моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике:



-характер плеч:

$$Z_1 = R_x + j \frac{1}{\omega \cdot C_x}, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = j \frac{1}{\omega \cdot C_N}, \quad Z_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega \cdot C_2},$$

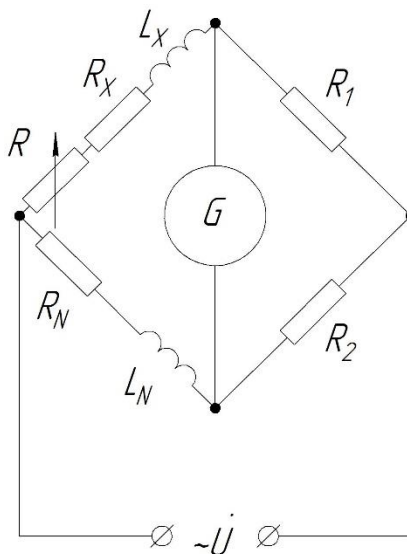
-условие равновесия:

$$\cdot \frac{R_x + \frac{1}{j\omega \cdot C_x}}{R_1} = \frac{1}{j\omega \cdot C_N} \left(\frac{1}{R_2} + j\omega \cdot C_2 \right),$$

-определение измеряемых величин:

$$R_x = R_1 \cdot \frac{C_2}{C_N}, \quad C_x = C_N \cdot \frac{R_2}{R_1}, \quad \operatorname{tg} \Delta = \omega \cdot R_x \cdot C_x.$$

Схема моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением $R_x \ll R_N$



- характер плеч:

$$Z_1 = R + R_x + j\omega \cdot L_x, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = R_N + j\omega \cdot L_N, \quad Z_4 = R_2,$$

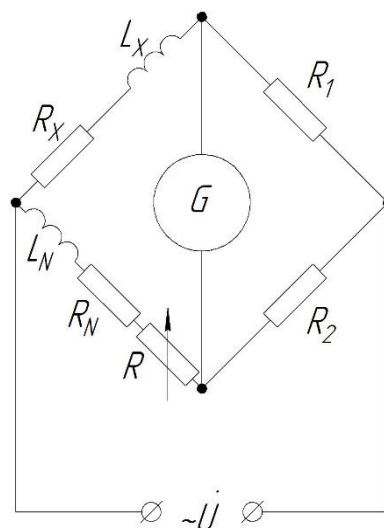
-условие равновесия:

$$(R + R_x + j\omega \cdot L_x) \cdot R_2 = (R_N + j\omega \cdot L_N) \cdot R_1,$$

-определение измеряемых величин:

$$R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2} - R, \quad L_x = L_N \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

Схема моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением $R_x \gg R_N$



- характер плеч:

$$Z_1 = R_x + j\omega \cdot L_x, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = R + R_N + j\omega \cdot L_N, \quad Z_4 = R_2,$$

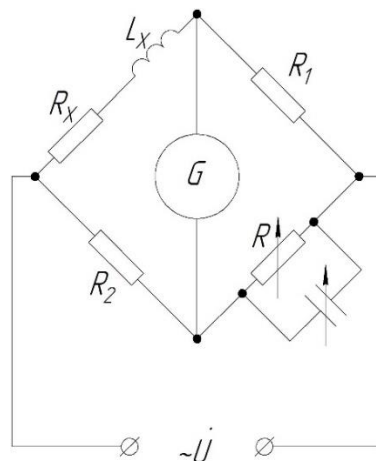
-условие равновесия:

$$(R_x + j\omega \cdot L_x) \cdot R_2 = (R + R_N + j\omega \cdot L_N) \cdot R_1,$$

-определение измеряемых величин:

$$R_x = (R_N + R) \cdot \frac{R_1}{R_2} - R, \quad L_x = L_N \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

Схема моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушек с использованием образцового конденсатора:



- характер плеч:

$$Z_1 = R_x + j\omega \cdot L_x, \quad Z_2 = R_1, \quad Z_3 = R_2, \quad Z_4 = \frac{R}{1 + j\omega \cdot C},$$

-условие равновесия:

$$\frac{(R_x + j\omega \cdot L_x) \cdot R}{1 + j\omega \cdot C \cdot R} = R_1 \cdot R_2,$$

-определение измеряемых величин:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R}, \quad L_x = C \cdot R_1 \cdot R_2.$$

По полученным значениям R_x и L_x или C и R определяют добротность катушки:

$$Q = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \omega \cdot C \cdot R,$$

На основании вышеизложенного перед непосредственным измерением следует произвести предварительные расчёты ожидаемых значений элементов моста переменного тока.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы необходимо получить навыки измерения параметров резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности с помощью измерителя иммитанса Е7-15.

Изучить основные теоретические положения.

Ознакомиться с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации ИЗМЕРИТЕЛЯ ИММИТАНСА Е7-15.

Измеритель иммитанса предназначен для измерения иммитансных параметров электроадиоконпонентов: резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности.

Прибор измеряет следующие параметры:

- ёмкость (C);
- индуктивность (L);
- сопротивление (R);
- проводимость (G);
- фактор потерь (D)
- добротность (Q).

Порядок выполнения работы:

Разместить прибор на лабораторном стенде, обеспечив удобство работы и условия естественной вентиляции.

Установить органы управления, настройки и подключения в исходное положение согласно «Техническому описанию и инструкции по эксплуатации 2.724.014 ТО»

Для проведения измерения достаточно подключить измеряемый объект к зажимам прибора и установить нужный режим измерения.

Подключить к зажимам прибора любой резистор из набора стенда «ТОЭ». Установить ПАРАМЕТР «R|G». Установить ПРЕДЕЛ «АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР». Прибор выдаст на дисплее значение сопротивления резистора.

Установить ПРЕДЕЛ «ФИКС». Изменяя номер предела, добиться условия, когда прибор выдаст на дисплее значение проводимости резистора. Сравнить полученные данные с номиналом резистора.

Подключить к зажимам прибора любую катушку индуктивности из набора стенда «ТОЭ». Установить ПАРАМЕТР «L|C». Установить ПРЕДЕЛ «АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР». Установить ЧАСТОТА «100Гц». Прибор выдаст на дисплее значение индуктивности катушки.

Установить ЧАСТОТА «1кГц». Прибор выдаст на дисплее значение индуктивности катушки. Убедиться, что значения индуктивностей одной и той же катушки на разных частотах различны.

Установить ПАРАМЕТР «D|Q». Прибор выдаст на дисплее значение добротности катушки. Сравнить полученные данные с номиналом катушки индуктивности.

3.2.3.4. Подключить к зажимам прибора любой конденсатор из набора стенда «ТОЭ». Установить ПАРАМЕТР «L|C». Установить ПРЕДЕЛ «АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР». Прибор выдаст на дисплее значение ёмкости конденсатора. Сравнить полученные данные с номиналом конденсатора.

Установить ПАРАМЕТР «D|Q». Прибор выдаст на дисплее значение тангенса угла потерь конденсатора. Если 0,02 то убедиться, что на дисплее высвечивается схема последовательного соединения. Если 0,02 то убедиться, что на дисплее высвечивается схема параллельного соединения.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Приведите векторную диаграмму конденсатора с малыми диэлектрическими потерями.
2. Приведите векторную диаграмму конденсатора с большими диэлектрическими потерями.
3. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями и формулы расчётных величин.
4. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего большими потерями и формулы расчётных величин.
5. Приведите схему моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике и формулы расчётных величин.
6. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
7. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
8. Приведите схему моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушек с использованием образцового конденсатора и формулы расчётных величин.

Лабораторная работа №13. Электронные измерительные приборы. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы

Цель работы: Измерение тока, напряжения, сопротивления, частоты электронными измерительными приборами.

Основы теории:

Цифровыми измерительными приборами (ЦИП) называются приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представляются в цифровой форме. В цифровых приборах в соответствии со значением измеряемой величины образуется код, а затем в соответствии с кодом измеряемая величина представляется на отсчётном устройстве в цифровой форме. Код выдаёт аналогоцифровой преобразователь (АЦП) в соответствии со значением измеряемой величины. Подаётся код в ЭВМ, автоматическое устройство или регистрирующее отсчётное устройство, которое отражает значение измеряемой величины в цифровой форме.

Для образования кода непрерывная измеряемая величина дискретизируется во времени и квантуется по уровню.

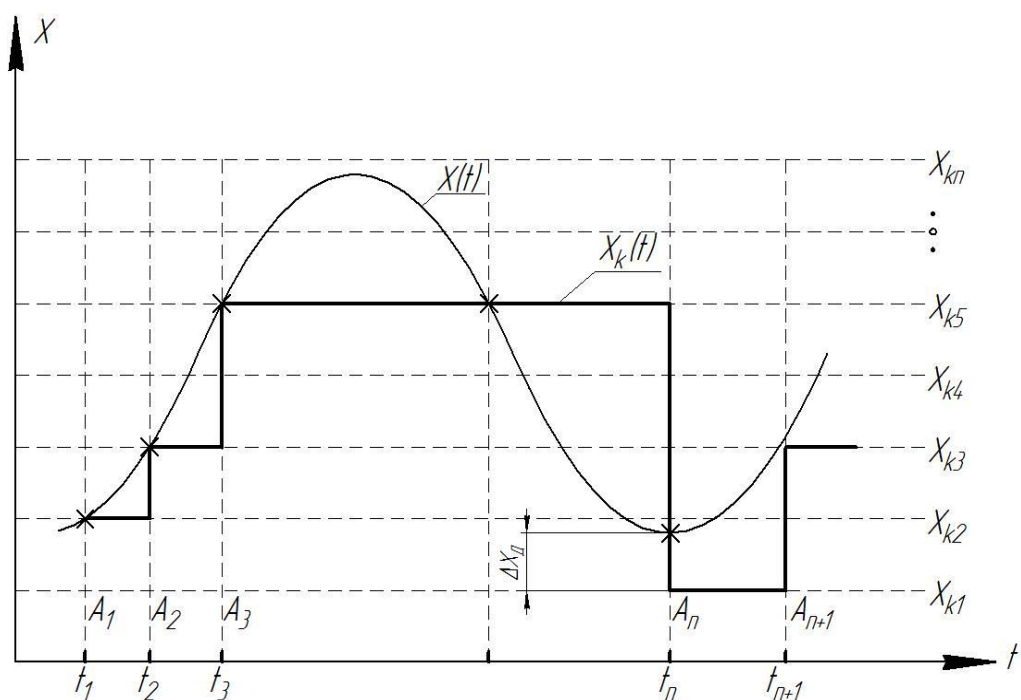
Дискретизацией непрерывной во времени величины $x(t)$ называется операция преобразования $x(t)$ в прерывную во времени, т.е. в величину, значения которой отличны от нуля и совпадают с соответствующими значениями $x(t)$ только в определённые моменты времени. Промежуток между двумя соседними моментами времени дискретизации называется шагом дискретизации.

Квантованием по уровню непрерывной величины $x(t)$ называется операция преобразования $x(t)$ в квантованную величину $x_k(t)$. Квантованная величина - величина, которая может принимать в заданном диапазоне определённое значение. Фиксированные значения квантованной величины называются уровнями квантования. Разность между двумя ближайшими уровнями называется ступенью, или шагом квантования.

Квантование непрерывной измеряемой величины по уровню и дискретизация во времени представлены на Рис. 4.1.

Как видно из рисунка в результате квантования измеряемой величины по уровню возникает погрешность дискретности, т.к. в большинстве случаев измерений имеется разность между показаниями ЦИП и значениями измеряемой величины в моменты измерений.

Иногда возникает необходимость восстановить все значения непрерывной измеряемой величины по ряду измеренных мгновенных значений. Практически это возможно, но с погрешностью, которая называется погрешностью аппроксимации.



Квантование непрерывной измеряемой величины по уровню и дискретизация во времени.

Если ЦИП и АЦП предназначены для получения результатов измерений, по которым будут восстанавливаться все промежуточные непрерывные значения измеряемой величины, то быстродействие таких приборов и преобразователей выбирается с учётом допустимой погрешности аппроксимации и характера изменения измеряемой величины.

Выбор ЦИП для измерения конкретной величины производится с учётом основных характеристик цифровых приборов:

- предел основной допускаемой погрешности:

где:

- x_k – верхний предел диапазона измерений;

- a_0 и b_0 – постоянные числа, которые для ЦИП нормируются и выбираются из определённого ряда по ГОСТ 13600-XX.

Класс точности ЦИП определяется совокупностью $a_0 \setminus b_0$.

- диапазон измерений** - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности прибора;

- порог чувствительности** - наименьшее изменение измеряемой величины, вызывающее изменение показаний прибора;

- разрешающая способность** – значение одной единицы младшего разряда отсчётного устройства;

-быстродействие – число измерений, выполняемых прибором с нормируемой погрешностью в единицу времени.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

При выполнении данной лабораторной работы необходимо получить навыки измерения электрических величин и параметров с помощью цифрового мультиметра АРРА - 505.

Изучить основные теоретические положения.

Ознакомиться с руководством по эксплуатации цифрового мультиметра АРРА - 505.

Цифровой мультиметр АРРА – 505 является многофункциональным прибором и предназначен для:

- измерения постоянного и переменного напряжения,
- измерения постоянного и переменного тока,
- измерения сопротивления,
- измерения ёмкости,
- измерения частоты,
- измерения температуры и т.д.

Цифровой мультиметр АРРА – 505 обладает следующими функциональными возможностями:

- испытание р-п переходов,
- звуковая прозвонка цепей,
- цифровая шкала,
- линейная шкала,
- авто и ручное переключение диапазонов и т.д.

Порядок выполнения работы:

Измерение напряжения

- измерительные провода соединить со входными гнездами СОМ/чёрный и V/красный,
- переключатель режимов установить в положение mV(меньше 200 мВ) или V,
- синей функциональной клавишей выбирать режим измерения: постоянное (DC) или переменное (AC),

- подключая щупы измерительных проводов параллельно источникам питания **«Блока постоянных и переменных напряжений»** стенда **«ТОЭ»** считывать результат с экрана ЖК-дисплея в аналоговой и цифровой форме.

Обратить внимание, что в режиме АС вычисляется среднеквадратическое значение и определяется частота сигнала.

Измерение силы тока:

-измерительные провода соединить со входными гнездами СОМ/чёрный и А или мА/красный,

-переключатель режимов установить в положение мА(меньше 200 мА) или А,

-синей функциональной клавишей выбрать режим измерения: постоянное (DC) или переменное (AC),

- подключая щупы измерительных проводов последовательно (в разрыв цепи) электрических схем, собранных от источников питания **«Блока постоянных и переменных напряжений»** стенда **«ТОЭ»** считывать результат с экрана ЖК-дисплея в аналоговой и цифровой форме.

Обратить внимание, что в режиме АС вычисляется среднеквадратическое значение и определяется частота сигнала.

Измерение сопротивления

-измерительные провода соединить со входными гнездами СОМ/чёрный и V/красный,

-переключатель режимов установить в положение Ω ,

-синей функциональной клавишей выбрать режим измерения Ω ,

-последовательно подключая щупы измерительных проводов параллельно выводам набора резисторов стенда **«ТОЭ»** считывать результат с экрана ЖК-дисплея в цифровой форме.

Измерение ёмкости

-измерительные провода соединить со входными гнездами СОМ/чёрный и V/красный,

-переключатель режимов установить в положение **C** ,

-последовательно подключая щупы измерительных проводов параллельно выводам набора конденсаторов стенда **«ТОЭ»** считывать результат с экрана ЖК-дисплея в цифровой форме.

Измерение частоты

-измерительные провода соединить со входными гнездами СОМ/чёрный и V/красный,

- переключатель режимов установить в положение Hz\DF,
- синей функциональной клавишей выбрать режим измерения Hz (частота), DF (коэфф. заполнения),

- последовательно подключая щупы измерительных проводов параллельно переменным источникам питания «Блока постоянных и переменных напряжений» стенда «ТОЭ» и, изменяя частоту сигнала, считывать результат с экрана ЖК-дисплея в цифровой форме.

Обратить внимание, что одновременно с измерением частоты определяется период следования сигнала.

Измерение температуры

- к входным гнездам подключить адаптер термопары: COM\ - и V \+. Через адаптер подключить термопару К-типа,

- переключатель режимов установить в положение C° / F° ,
- синей функциональной клавишей выбрать шкалу измерений: C° или F° ,
- датчик температуры поместить в измеряемую среду,
- считать результат с экрана ЖК-дисплея.

Испытание р-п переходов

- измерительные провода соединить со входными гнездами COM/чёрный и V/красный,

- переключатель режимов установить в положение ,
- синей функциональной клавишей выбирать режим измерения: ,
- подключить щупы измерительных проводов параллельно нагрузке,
- считать результат с экрана ЖК-дисплея:
- прямое включение р-п перехода: исправен при показаниях 0,4...0,9В; неисправен при показаниях 0 (короткое замыкание) или OL (обрыв);
- обратное включение р-п перехода: исправен при показаниях OL; неисправен при других показаниях.

Звуковой прозвон цепей

- измерительные провода соединить со входными гнездами COM/чёрный и V/красный,

- переключатель режимов установить в положение ,
- синей функциональной клавишей выбирать режим измерения: ,
- подключить щупы измерительных проводов параллельно нагрузке,
- если сопротивление цепи менее 50Ом, включается непрерывный звуковой сигнал.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Каковы принципиальные особенности построения ЦИП.
2. Объясните необходимость дискретизации непрерывной во времени измеряемой величины $x(t)$ для её дальнейшего преобразования в АЦП.
3. Объясните необходимость квантования по уровню непрерывной во времени измеряемой величины $x(t)$ для её дальнейшего преобразования в АЦП.
4. Чем определяется порог чувствительности ЦИП.
5. Приведите формулу основной допускаемой погрешности ЦИП.
6. Чем определяется быстродействие ЦИП.
7. Чем определяется разрешающая способность ЦИП.
8. Каковы основные преимущества ЦИП перед аналоговыми и электромеханическими измерительными приборами.

Лабораторная работа №14. Электронные измерительные приборы. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы.

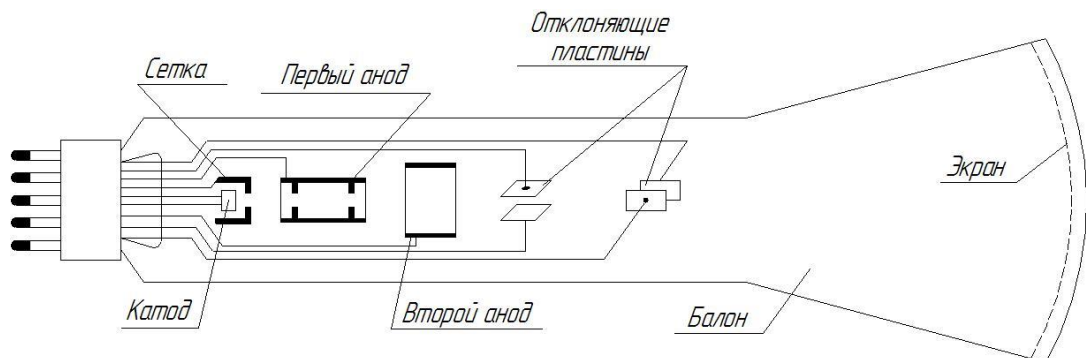
Цель работы: Исследование периодических процессов с помощью электронно-лучевого осциллографа.

Основы теории:

В основу работы электроннолучевого осциллографа положено управление движением пучка электронов воздействием на него исследуемым напряжением.

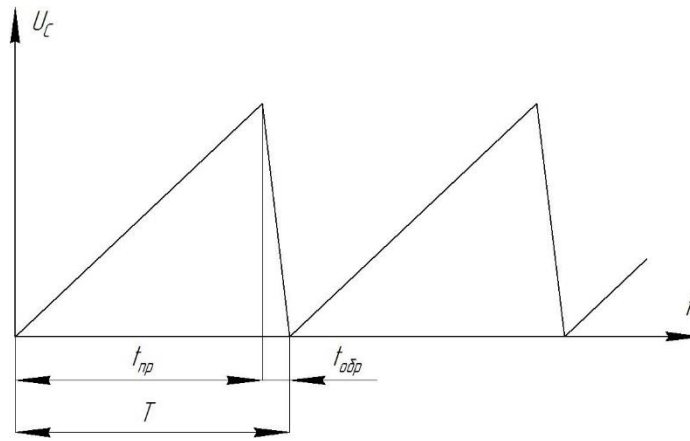
Для этого в его схеме предусматриваются устройства, обеспечивающие стабильность его характеристик, коррекцию амплитудных и фазовых погрешностей, периодическую калибровку чувствительности и масштаба времени и другие меры, улучшающие метрологические характеристики прибора.

Центральным измерительным узлом осциллографа является электроннолучевая трубка, преобразующая значение исследуемого напряжения в перемещение электронного луча. Устройство электроннолучевой трубки схематично представлено на Рис. 5.1.



Устройство электроннолучевой трубки.

Для наблюдения и фотографирования исследуемого напряжения во времени используют линейную временную развёртку, позволяющую непосредственно наблюдать на экране кривую исследуемого напряжения в прямоугольной системе координат. Для чего на горизонтально отклоняющую пару пластин подают линейно изменяющееся напряжение, график изменения которого представлен на Рис. 5.2. Меняя частоту генератора развёртки, добиваются синхронизации частот, т.е. такого соотношения частот развёртки и сигнала, при котором изображение получается неподвижным.



Линейно изменяющееся напряжение временной развёртки.

Электроннолучевой осциллограф является универсальным измерительным прибором с очень широкой областью применения.

В данной лабораторной работе будет рассмотрено его применение для измерения частоты и фазы при сравнении двух колебаний синусоидальной формы методом фигур Лиссажу.

Подавая на одну из пар пластин синусоидальное напряжение определённой частоты, а на другую – исследуемое напряжение, можно в ряде случаев по виду фигуры Лиссажу судить о частоте и сдвиге фазы неизвестного напряжения. На Рис. 5.3. показаны фигуры Лиссажу для нескольких простых случаев соотношения частот и углов сдвига фаз. Определение частоты этим способом основано на том, что любая фигура Лиссажу вписывается в прямоугольник, стороны которого соответственно равны удвоенным амплитудам складываемых колебаний. Отношение числа касаний неподвижной фигуры на экране с одной из вертикальных сторон прямоугольника n к числу касаний той же фигуры с одной из горизонтальных его сторон m характеризует кратность частот сравниваемых колебаний.

Если напряжение измеряемой частоты f_x подано на вход Y осциллографа, а напряжение неизвестной частоты f_0 – на вход X, то получим соотношение

$$\frac{f_x}{f_0} = \frac{m}{n}, \text{ из которого определяем частоту } f_x.$$

Иногда добиться неподвижности фигуры Лиссажу трудно вследствие нестабильности сравниваемых частот. Измерив частоту вращения фигуры Δf , можно внести поправку:

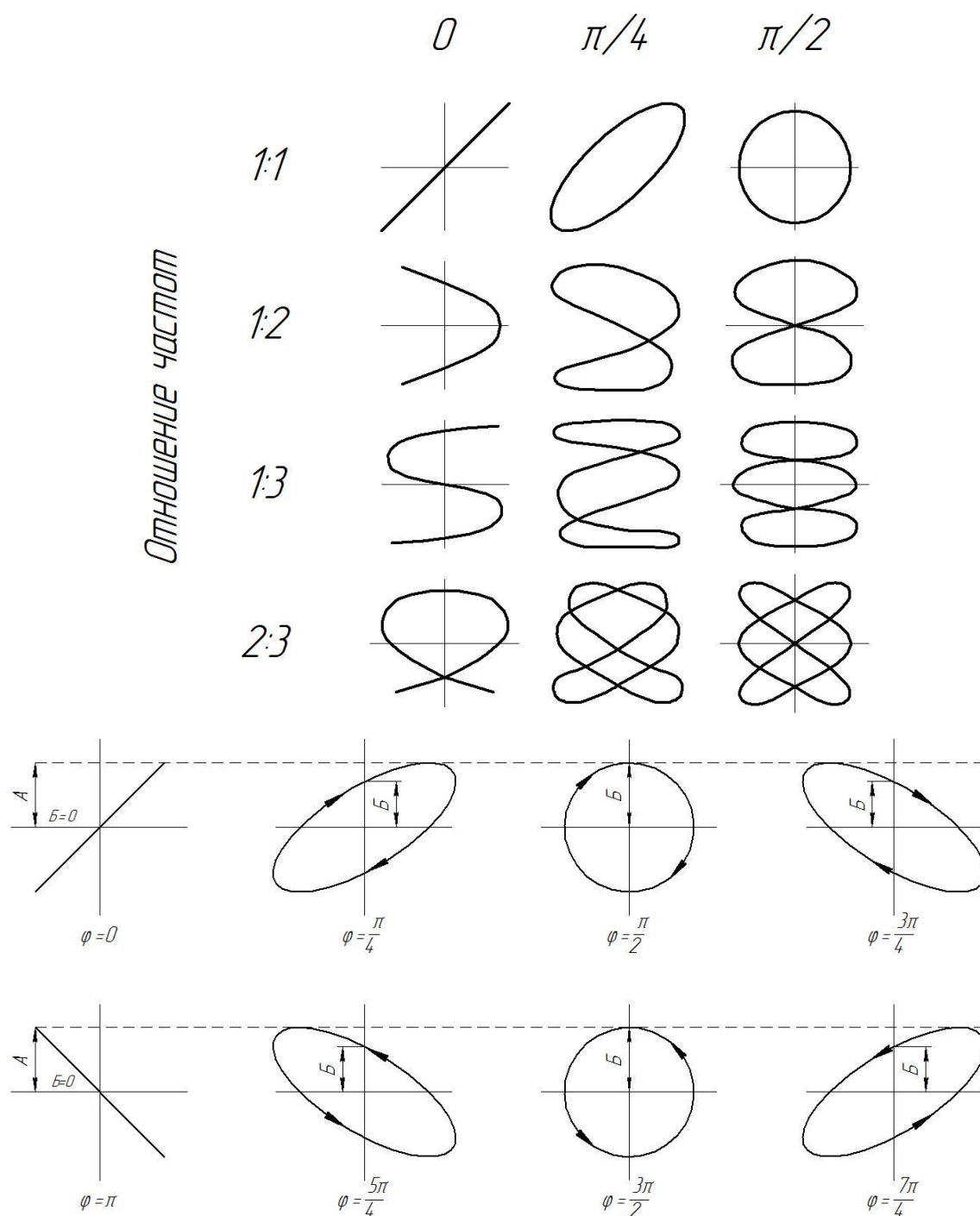
$$f_x = f_0 \frac{m}{n} \pm \Delta f.$$

Знак поправки зависит от направления вращения фигуры.

С помощью фигур Лиссажу можно измерить сдвиг фаз между двумя напряжениями. На Рис. 5.4. представлены фигуры Лиссажу, которые могут быть получены на экране осциллографа при подаче на два его входа двух синусоидальных колебаний одинаковой частоты и амплитуды, но отличающихся по фазе. Если на полученной осциллограмме построить оси, как это показано на Рис. 5.4., то искомый сдвиг фаз определится из соотношения:

$$\varphi = \arcsin \frac{B}{A}.$$

Сдвиг фаз



Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо:

Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации и получить навыки работы с электроннолучевым осциллографом GOS-620FG;

Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации и получить навыки работы с генератором сигналов низкочастотным ГЗ-112;

Определить частоту исследуемого синусоидального колебания;

Определить фазовый сдвиг между двумя подаваемыми на входы осциллографа синусоидальными напряжениями;

Порядок выполнения работы:

Изучить основные теоретические положения.

Подготовить осциллограф к работе:

-ручку «INTEN - Яркость» установить в крайнее левое положение,

-ручку «TIME/DIV - Развёртка» установить в положение «X-Y»,

-переключатель «SOURCE - Источник» установить в положение «LINE - синхронизация развёртки от сети»,

-переключатель «TRIGGER MODE – Выбор режима запуска развёртки» установить в положение «AUTO – автоколебательный режим»,

-переключатель «VERTIKAL MODE – Режим усилителя» установить в положение «DUAL – два сигнала на экране»,

-переключатель «AS-GND-DS – закрытый вход-вход отключён-открытый вход» установить в положение «AS» или «DS»,

-положение остальных ручек и переключателей выбирается в зависимости от цели и задач исследования.

Включить осциллограф, отрегулировать яркость и фокус лучей соответствующими ручками.

Подать на вход «X» синусоидальный сигнал «неизвестной» частоты от встроенного генератора GOS-620FG или от «Блока постоянных и переменных напряжений» стенда «ТОЭ».

Подать на вход «Y» синусоидальный сигнал «ожидаемой» частоты от генератора ГЗ-112 или от «Блока постоянных и переменных напряжений» стенда «ТОЭ».

Изменяя частоту сигнала, подаваемого на вход «Y» наблюдать на экране осциллографа фигуры Лиссажу.

По форме фигур Лиссажу, представленных на Рис.5.3. и наблюдаемых на экране осциллографа определить неизвестную частоту; сравнить её с показанием частотомера, если сигнал подавался от «Блока постоянных и переменных напряжений» стенда «ТОЭ».

Подать на входы «X» и «Y» осциллографа синусоидальные сигналы одинаковой амплитуды и частоты от «Блока постоянных и переменных напряжений» двух стендов «ТОЭ».

Наблюдать на экране осциллографа фигуры Лиссажу.

По форме фигур Лиссажу, представленных на Рис.5.4. и наблюдаемых на экране осциллографа определить фазовый сдвиг между двумя подаваемыми сигналами.

Для изменения фазового сдвига между двумя подаваемыми сигналами «качнуть» частоту одного из них (на короткое время незначительно изменить её, а затем установить прежнее её значение).

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите принцип работы электроннолучевого осциллографа.
2. Опишите принцип работы электроннолучевой трубки.
3. Что представляет собой процесс синхронизации осциллографа.
4. Как правильно выбрать масштаб развёртки и масштаб амплитуды исследуемого сигнала.
5. Что представляют собой фигуры Лиссажу.
6. Как получить изображение фигур Лиссажу на экране осциллографа.
7. Какая фигура наблюдается на экране осциллографа, если отношение частот напряжений, подаваемых на его входы, является иррациональным числом.

8. Какая фигура наблюдается на экране осциллографа, если напряжения, подаваемые на его входы, совпадают по частоте и по фазе.

9. Какая фигура наблюдается на экране осциллографа, если напряжения, подаваемые на его входы, совпадают по частоте, но отличаются по фазе на 90 градусов.

Лабораторная работа №15. Цифровые измерительные приборы. Измерения сопротивления изоляции.

Цель работы: Измерение сопротивления изоляции проводниковых материалов и электрических машин.

Основы теории:

Мегомметр, мегаомметр — прибор для измерения больших значений сопротивлений. Отличается от омметра тем, что измерение сопротивления производится на высоких напряжениях, которые прибор сам и генерирует (обычно 100, 500, 1000 или 2500 вольт).

В приборах старых конструкций (Рис.7.1. и Рис.7.2.) для получения напряжений обычно используется встроенный механический генератор, работающий по принципу динамомашины. В настоящее время мегомметры также выполняются в виде электронных устройств, работающих от батарей (Рис.7.3.).



Мегомметр M1101M.



Мегомметр с ручным генератором напряжения MEG 912-PI



Современный цифровой Мегаомметр Е6-32

Наиболее часто мегомметры применяются для измерения сопротивления изоляции кабелей.

Мегаомметры также используются для измерения высокого сопротивления изолирующих материалов (диэлектриков) проводов и кабелей, разъёмов, трансформаторов, обмоток электрических машин и других устройств, а также для измерения поверхностных и объёмных сопротивлений изоляционных материалов. По этим значениям вычисляют коэффициенты абсорбции (увлажнённости) и поляризации (старения изоляции).

Измерение мегомметром сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции характеризует ее состояние в данный момент времени и не является стабильным, так как зависит от целого ряда факторов, основными из которых являются температура и влажность изоляции в момент проведения измерения.

В ГОСТ 183-XX нормы сопротивления изоляции не определены, так как абсолютных критериев минимально допустимого сопротивления изоляции не существует. Они могут

быть установлены в стандартах на конкретные виды машин или в ТУ с обязательным указанием температуры, при которой должны проводиться измерения, и методов пересчета показаний приборов, если измерения проводились при иной температуре обмоток.

Измерения проводятся мегомметром, номинальное напряжение которого выбирается в зависимости от номинального напряжения обмотки. Для обмоток с номинальным напряжением до 500 В (660) В применяют мегомметры на 500 В, для обмоток с напряжением до 3000 В — мегомметры на 1000 В, для обмоток с номинальным напряжением 3000 В и более — мегомметры на 2500 В и выше.

Степень увлажнённости изоляции определяется не только по показаниям прибора в момент отсчета, но и характером изменения показания мегомметра в процессе измерения, которое проводят в течение 1 мин. Запись показаний прибора делают через 15 с (обычное время установления показаний) после начала измерения (R_{15}'') и в конце измерения — через 60 с после начала (R_{60}''). Отношение этих показаний $K_A = R_{60}''/R_{15}''$ называют коэффициентом абсорбции. Его значение определяется отношением тока поляризации к току утечки через диэлектрик — изоляцию обмотки. При влажной изоляции коэффициент абсорбции близок к 1. При сухой изоляции R_{60} на 30-50 % больше, чем R_{15} .

Мегомметром измеряется также сопротивление изоляции термопреобразователей, заложенных в машины, и проводов, соединяющих термопреобразователи с панелью выводов.

Сопротивление этой изоляции измеряется по отношению к корпусу и к обмоткам машины. Она не рассчитана на работу при высоких напряжениях, поэтому измерение ее сопротивления должно проводиться прибором с номинальным напряжением не выше 250 В.

Помимо сопротивления изоляции обмоток при проведении испытаний на месте установки машины измеряют также сопротивление изоляции подшипников, которая устанавливается для предотвращения протекания подшипниковых токов в машинах со стоячковыми подшипниками.

Таким образом, сопротивление изоляции разных обмоток одной и той же машины, имеющих разное номинальное напряжение, например обмоток статора и ротора синхронного двигателя, нужно измерять разными мегомметрами с различными номинальными напряжениями.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо:

Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации и получить навыки работы с мегомметрами;

Измерить сопротивление изоляции одножильного медного провода, многожильного медного провода, одножильного алюминиевого провода, многожильного кабеля;

Измерить сопротивление изоляции между обмотками ВН и НН трансформатора и магнитопроводом, измерить сопротивление изоляции между обмотками ВН и НН трансформатора и его корпусом; измерить сопротивление изоляции между обмотками ВН и НН трансформатора.

Измерить сопротивление изоляции между статорными обмотками трёхфазного электродвигателя и его корпусом, измерить сопротивление изоляции между валом ротора и корпусом этого же электродвигателя.

Изучить основные теоретические положения.

Измерить сопротивление изоляции одножильного медного провода:

-выводы мегомметра М1101М подключить к медной жиле и изоляции одножильного медного провода,

-вращая ручку встроенного генератора в течение 60 сек., произвести измерение сопротивления изоляции, отмечая её значения через каждые 15 сек.,

- к медной жиле и изоляции этого же одножильного медного провода подключить выводы мегомметра Ф402/2;

- удерживая кнопку подачи высокого напряжения в течение 60 сек., произвести измерение сопротивления изоляции, отмечая её значения через каждые 15 сек.,

-по той же, что и для Ф4102/2 методике произвести измерение сопротивления изоляции мегомметром Е6-24.

Измерить сопротивление изоляции многожильного медного провода по методу п.7.2.6.

Измерить сопротивление изоляции многожильного кабеля:

- выводы мегомметра М1101М поочерёдно подключать к жилам кабеля и кабельной оболочке.

-вращая ручку встроенного генератора в течение 60 сек., произвести измерение сопротивления изоляции, отмечая её значения через каждые 15 сек.,

- к жилам кабеля и кабельной оболочке этого же кабеля подключать выводы мегомметра Ф4102/2- удерживая кнопку подачи высокого напряжения в течение 60 сек., произвести измерение сопротивления изоляции, отмечая её значения через каждые 15 сек.,

- по той же, что и для Ф4102/2 методике произвести измерение сопротивления изоляции мегомметром Е6-24.

По освоенной методике измерить сопротивление изоляции между обмотками ВН и НН трансформатора и магнитопроводом, измерить сопротивление изоляции между обмотками ВН и НН трансформатора и его корпусом; измерить сопротивление изоляции между обмотками ВН и НН трансформатора.

По освоенной методике измерить сопротивление изоляции между статорными обмотками трёхфазного электродвигателя и его корпусом, измерить сопротивление изоляции между валом ротора и корпусом этого же электродвигателя.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Опишите устройство электромеханического мегомметра.
2. Опишите устройство электронного мегомметра.
3. Приведите векторную диаграмму токов, протекающих через диэлектрик, при приложении к нему переменного синусоидального напряжения.
4. Каким образом оценить степень увлажнённости изоляции при измерении её сопротивления.
5. Почему для измерения сопротивления изоляции требуется столь длительное время
6. Существует ли принципиальная разница между методами измерения сопротивления изоляции электромеханическими и электронными мегомметрами.
7. Каково значение напряжения, прикладываемого к диэлектрику или электроаппарату, при измерении его сопротивления изоляции.

Лабораторная работа №19. Модулирование электрических колебаний

Цель работы: Получение модулированных электрических колебаний и определение параметров модуляции.

Основы теории:

Биения. Колебательный процесс, получающийся в результате сложения двух синусоидальных колебаний с равными амплитудами A и близкими, но не равными частотами ω_1 и ω_2 , даёт колебание, которое называется биением.

$$\text{Пусть } f(t) = A \cdot \sin \omega_1 t + A \sin \omega_2 t$$

Используя известное тригонометрическое преобразование

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha + \beta}{2}$$

$f(t)$ представляем следующим образом:

$$f(t) = 2A \cos \Omega t \cdot \sin \omega \cdot t, \text{ где}$$

$$\Omega = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \text{ и } \omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2},$$

$$\text{Причём } \Omega \ll \omega.$$

График результирующего колебания представлен на Рис.8.1.

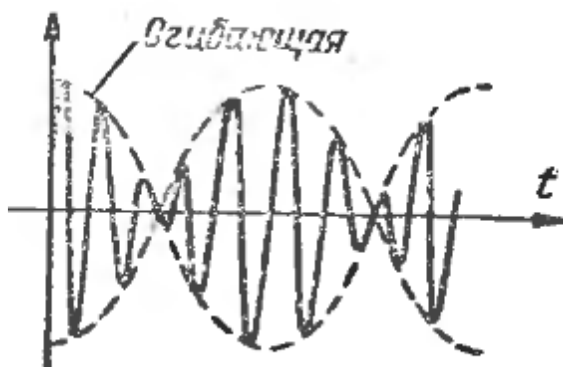


Рис. 8.1. Биения

Возникновение биений при сложении двух синусоидальных колебаний с равными амплитудами и близкими, но не равными частотами используется на практике в различных целях, в частности как средство, позволяющее установить, что складываемые колебания имеют неодинаковые частоты (например при настройке колебательных контуров).

Модулированные колебания. Модулированным колебанием $f(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$

называется колебание, в котором амплитуда A , частота ω , фаза φ , или и те и другие вместе изменяются во времени.

Колебание, в котором изменяется только амплитуда A , а угловая частота ω и фаза φ неизменны, называется колебанием, модулированным по амплитуде.

Колебание с изменяющийся угловой частотой ω , но неизменными амплитудой A и фазой φ называют колебанием, модулированным по частоте.

Колебание, в котором изменяется только фаза φ , а амплитуда A и угловая частота ω неизменны, называют колебанием, модулированным по фазе.

Простейшим амплитудно - моделированным колебанием является колебание, в котором амплитуда моделирована по закону синуса: $f(t) = A_0 (1 + m \cdot \sin \Omega t) \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, где $\Omega \ll \omega$; m называют глубиной модуляции, как правило $m < 1$. График такого колебания представлен на Рис. 8.2.; на нём огибающая показана пунктиром.

Воспользовавшись известным тригонометрическим тождеством

$$\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \sin(\alpha + \beta),$$

колебание $f(t) = A_0 (1 + m \cdot \sin \Omega t) \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ можно представить в виде суммы трёх колебаний:

$$f(t) = A_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) + \frac{m \cdot A_0}{2} \cdot \cos[(\omega - \Omega) \cdot t + \varphi] - \frac{m \cdot A_0}{2} \cdot \cos[(\omega + \Omega) \cdot t + \varphi] /$$

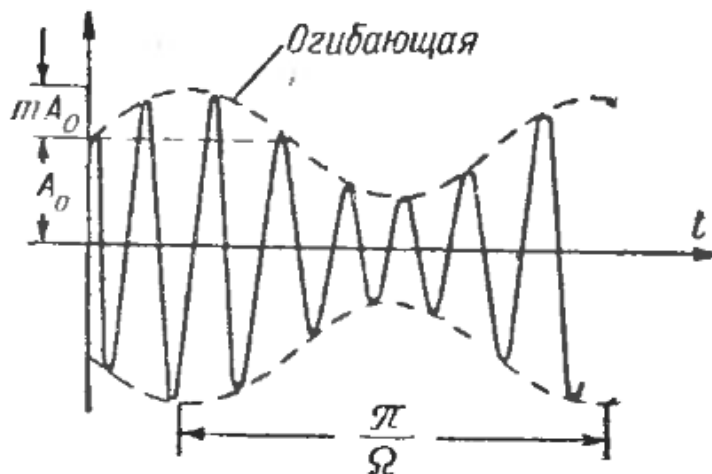


Рис. 8.2. Простейшее амплитудно моделированное колебание

Частоту ω называют несущей, а частоты $(\omega - \Omega)$ и $(\omega + \Omega)$ боковыми частотами.

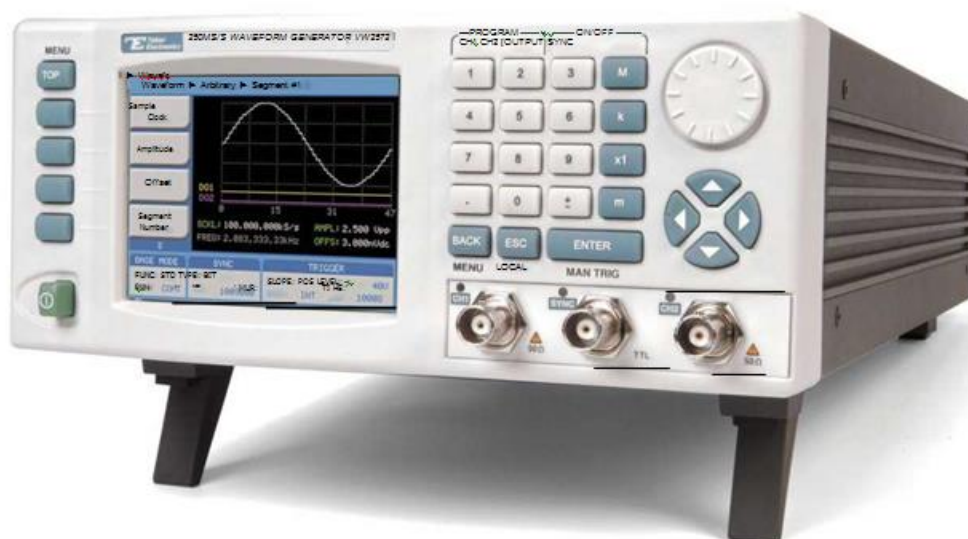
Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

В данной лабораторной работе необходимо:

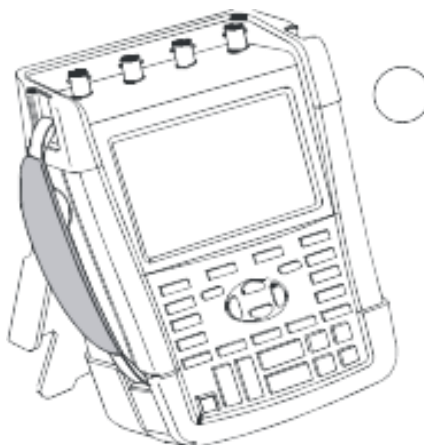
Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации и получить навыки работы с генератором произвольных электрических колебаний TAVOR WW 2572A и осциллографами – мультиметрами Fluke 190-204 и АКИП - 4125/4.



Генератор произвольных электрических колебаний TAVOR WW 2572A



Осциллограф – мультиметр АКИП - 4125/4.



Осциллограф – мультиметр Fluke 190-204.

На генераторе произвольных электрических колебаний TABOR WW 2572A получить модулированное по амплитуде электрическое колебание, используя первоначальные заводские настройки.

Для чего, войдя в меню, в качестве формы сигнала выбрать сигнал модулированный; вид модуляции - амплитудная. Частоту модулирующего сигнала и глубину модуляции оставить первоначальными.

Далее через меню в качестве выхода установить канал №1 и включить его.

Подключить к каналу №1 генератора канал №1 осциллографа - мультиметра АКИП – 4125/4.

Наблюдать на дисплее осциллографа – мультиметра модулированный по амплитуде сигнал.

Убедиться по показанию осциллографа – мультиметра, что несущая частота составляет 1МГц.

8.2.3. Отключить от генератора осциллограф – мультиметр АКИП – 4125/4 и подключить к каналу №1 генератора канал А осциллографа - мультиметра Fluke 190-204.

Наблюдать на дисплее осциллографа – мультиметра модулированный по амплитуде сигнал.

Изменяя частоту модулирующего сигнала от 10 кГц до 200 кГц наблюдать на дисплее осциллографа – мультиметра модулированный по амплитуде сигнал.

Произвести зарисовку графика модулированного по амплитуде сигнала с дисплея осциллографа – мультиметра Fluke 190-204 при частотах модулирующего сигнала 10 кГц, 100 кГц и 200 кГц.

8.2.4. При частоте модулирующего сигнала 200 кГц изменяя глубину модуляции от 10% до 100% наблюдать на дисплее осциллографа – мультиметра модулированный по амплитуде сигнал.

Произвести зарисовку графика модулированного по амплитуде сигнала с дисплея осциллографа – мультиметра Fluke 190-204 при глубине модуляции 10%, 50%, 100%.

8.2.5. Зарисовав график модулированного по амплитуде сигнала с дисплея осциллографа – мультиметра Fluke 190-204, определить установленную преподавателем частоту модулирующего сигнала.

8.2.6. Зарисовав график модулированного по амплитуде сигнала с дисплея осциллографа – мультиметра Fluke 190-204, определить установленную преподавателем глубину модуляции.

8.2.7. Отключить от генератора осциллограф – мультиметр Fluke 190-204 и подключить к каналу №1 генератора канал №1 осциллографа - мультиметра АКИП – 4125/4.

Повторить действия п.п. 8.2.3. и 8.2.4. с использованием осциллографа - мультиметра АКИП – 4125/4 без зарисовки графиков колебаний.

8.2.8. Произвести отключение используемых в лабораторной работе приборов.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое биение.
2. Представить график биения и математическую формулу записи сигнала.
3. Что представляет собой процесс модуляции электрического сигнала.
4. Представить график модулированного по амплитуде сигнала и математическую формулу записи сигнала.
5. Что означает модуляция электрического сигнала по частоте.
6. Что означает модуляция электрического сигнала по фазе.

7. Описать приёмы работы с генератором произвольных электрических колебаний TAVOR WW 2572A.

8. Описать приёмы работы с осциллографом – мультиметром Fluke 190-204.

9. Описать приёмы работы с осциллографом – мультиметром АКИП – 4125/4.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Шошин, Е. Л. Электроника. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / Е. Л. Шошин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 238 с. — ISBN 978-5-4497-0508-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/100742.html>

2. Электроника : учебное пособие / В. И. Никулин, Д. В. Горденко, С. В. Сапронов, Д. Н. Резеньков. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 198 с. — ISBN 978-5-4497-0520-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94213.html>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника : учебно-методическое пособие / К. П. Латышенко. — 2-е изд. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 209 с. — ISBN 978-5-4487-0458-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79677.html>

2. Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-9729-0346-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86566.html>

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

3. Методические указания по выполнению расчетно-графических работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,
необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

Указание по технике безопасности

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРО-
НИКА»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Содержание

№	Стр.
п/п	
	Введение
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины
2.	Формулировка задания и ее объем
3.	Общие требования к написанию и оформлению работы
4.	Рекомендации по выполнению задания
5.	План-график выполнения задания
6.	Критерии оценивания работы
7.	Порядок защиты работы
8	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
8.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
8.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
8.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

1. Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины

Цель дисциплины является освоение принципов действия полупроводниковых приборов, усилительных, импульсных, логических, цифровых и преобразовательных устройств и основным особенностям их использования в электротехнических и электромеханических установках, освоение современных средств и методов электрических измерений, обработки и представления их результатов.

Задачи дисциплины является в результате изучения дисциплины специалист должен приобрести умение четко представлять принцип действия электронных элементов и устройств, экспериментальным путем определить их параметры и характеристики, а также оценивать технико-экономическую эффективность применения этих устройств, оптимально выбрать средство измерения для поставленной задачи измерения, выполнить измерение, обработать и надлежащим образом представить его результаты.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-4 Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин	ИД-4 _{ОПК-4} Демонстрирует понимание принципа действия электронных устройств.	Знает основные характеристики, классификацию и принцип действия электронных приборов и устройств. Владеет навыками демонстрационного понимания принципа действия электронных устройств.
	ИД-6 _{ОПК-4} Применяет знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов.	Умеет применять знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов.
ОПК-6 Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности	ИД-1 _{ОПК-6} Выбирает средства измерения, проводит измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает их погрешность.	Знает основные средства измерения электрических и неэлектрических величин. Умеет проводить измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывать результаты измерений и оценивать их погрешность.

		Владеет навыками выбора и использования средств измерения электрических и неэлектрических величин.
--	--	--

2. Формулировка задания и ее объем

Задание №1

Для транзистора, указанного в варианте задачи (таблица 1), по входной и выходным характеристикам определить для заданной рабочей точки следующие динамические параметры: входное сопротивление, коэффициент усиления базового тока, выходную проводимость. Начертить названные характеристики транзистора с построениями, соответствующими расчёту параметров. На выходных характеристиках построить линию допустимой мощности в коллекторной цепи.

Таблица 1

№ вар.	Тип транзистора	НРТ		№ вар.	Тип транзистора	НРТ	
		U _к , В	I _к , мА			U _к , В	I _к , мА
1	КТ312А	10	20	16	КТ312В	7,5	25
2	КТ333А	4	0,6	17	КТ803А	30	2500
3	КТ803А	40	1700	18	КТ814	6	550
4	КТ809А	5	800	19	КТ818А	4	6000
5	КТ815	5	650	20	КТ601А	30	20
6	КТ819А	8	5300	21	КТ215Б	4	0,4
7	КТ203	20	3	22	КТ215Д	8	1,2
8	КТ215Е	7	0,8	23	КТ301	6	3
9	КТ611А	90	30	24	КТ611А	60	20
10	КТ630А	15	50	25	КТ802А	50	2800
11	КТ802А	30	2800	26	КТ809А	4	1300
12	КТ301	12	4,5	27	КТ333А	3	0,7
13	КТ312Б	10	35	28	КТ312Б	8	32
14	КТ333Г	5	0,85	29	КТ818А	8	6500
15	КТ803А	50	2800	30	КТ802А	50	2800

При отсутствии характеристики в заданной точке воспользоваться интерполяцией.

Задание №2

В соответствии с данными каскада, указанными в таблице 2 начертить принципиальную схему каскада, выполнить его расчёт, выбрав тип транзистора, напряжение источника питания и определив параметры элементов схемы (сопротивления резисторов, ёмкости конденсаторов, коэффициент трансформации трансформатора).

Определить необходимую мощность входного сигнала. Проиллюстрировать использование в расчётах входной и выходных характеристик выбранного транзистора.

Таблица 2.

№ вар.	Мощность нагрузки, Вт	Е _к В	Сопрот. нагрузки, Ом	Диапазон частот, кГц	Режим транзистора	№ вар.	Мощность нагрузки, Вт	Е _к В	Сопрот. нагрузки Ом	Диапазон частот, кГц	Режим транзистора
1	0,05	48	5000	1000	А	16	3,6	24	320	15	АВ
2	0,005	36	150	200	А	17	1,2	60	240	750	А
3	9	12	8	500	АВ	18	0,02	5	140	1000	А
4	3	15	50	20	АВ	19	48	12	1,5	400	АВ
5	0,03	27	3000	400	А	20	12	12	75	200	АВ
6	0,6	48	350	500	А	21	0,25	90	3300	2000	А
7	36	12	2	200	АВ	22	0,05	9	1500	500	А
8	4,8	24	540	50	АВ	23	3,6	24	80	400	АВ
9	0,06	24	670	5000	А	24	15	12	78	20	АВ
10	0,25	48	200	250	А	25	0,6	100	1650	1000	А
11	4,8	48	60	50	АВ	26	0,02	12	6000	400	А
12	8	12	40	15	АВ	27	6,25	24	50	200	АВ
13	0,02	12	500	10000	А	28	25	12	32	50	АВ
14	1,2	27	1000	400	А	29	0,2	75	3200	400	А
15	15	12	4,8	1000	АВ	30	0,03	27	10000	2000	А

Задание №3

В соответствии с заданием, указанным в таблице 3, начертить принципиальную схему генератора, рассчитать параметры элементов схемы, сделать описание работы генератора. Построить графики выходного сигнала, напряжений на входах операционного усилителя и напряжения на конденсаторе.

Таблица 3

№ вар.	Тип генератора	Параметры сигнала		№ вар.	Тип генератора	Параметры сигнала	
		Частота	Скважность			Частота	Скважность
1	1	50	2	16	1	50	2
2	1	50	4	17	1	100	4
3	1	200	10	18	1	100	8
4	1	200	2	19	1	200	5
5	1	500	50	20	1	200	4
6	1	500	5	21	1	400	10
7	1	400	100	22	1	400	2
8	1	400	2	23	1	500	20
9	1	1000	2	24	1	500	2

10	1	1000	2	25	1	1000	50
11	1	5000	20	26	1	1000	2
12	1	5000	2	27	1	5000	100
13	1	10000	50	28	1	5000	8
14	1	10000	2	29	1	10000	5
15	1	50	100	30	1	10000	2

Тип генератора: 1 – автогенератор прямоугольных импульсов.

3. Общие требования к написанию и оформлению работы

Основные требования к работе

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

Оформление по ГОСТу текста контрольной

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;
- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы — с левого края;
- работа распечатывается в принтере на листах А4;

– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

Работа имеет такую структуру:

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

4. Рекомендации по выполнению задания

Указание к решению задачи №1

Под динамическими параметрами транзистора понимают отношение приращений токов и напряжений вблизи той или иной рабочей точки на характеристиках транзистора. Поскольку характеристики транзисторов не линейны, то значения динамических параметров одного и того же транзистора будут различными для разных рабочих точек. Для определения динамических параметров пользуются входными и выходными характеристиками, полученными экспериментально. В данной задаче требуется найти динамические параметры транзистора, включённого по схеме с общим эмиттером. По входным характеристикам определяют следующие параметры:

$h_{11} = \Delta U_{ЭБ} / \Delta i_B$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ – входное динамическое сопротивление,

$h_{12} = \Delta U_{ЭБ} / \Delta U_{КЭ}$ при $i_B = \text{const}$ – коэффициент обратной связи по напряжению.

По выходным характеристикам определяют параметры:

$h_{21} = \Delta i_K / \Delta i_B$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ – коэффициент передачи тока (коэффициент усиления базового тока),

$h_{22} = \Delta i_K / \Delta U_{КЭ}$ при $i_B = \text{const}$ – выходную проводимость.

Здесь: i_K – ток коллектора,

i_B – ток базы,

$U_{ЭБ}$ – напряжение между эмиттером и базой,

$U_{КЭ}$ – напряжение между коллектором и эмиттером.

Приращения перечисленных величин берут вблизи заданной рабочей точки. Характеристики транзисторов имеются в приложениях к настоящим методическим указаниям, их можно взять также из справочников по полупроводниковым приборам. Решая задачу, характеристики следует перерисовать в масштабе, на чертеже отметить взятые для вычислений приращения. Параметр h_{11} следует определять по входной характеристике, снятой при $U_{КЭ} > 0$.

Указание к решению задачи №2

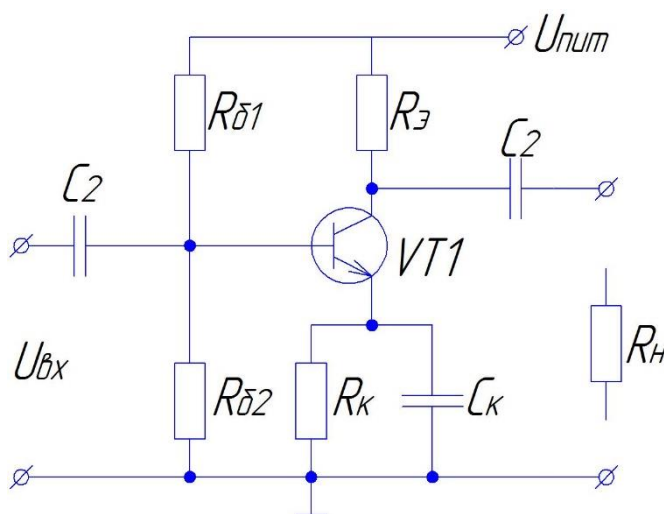
Выбор схемы усилителя определяется рядом факторов, основными из которых являются: мощность нагрузки, сопротивление нагрузки, диапазон усиливаемых частот, требования к уровню нелинейных искажений. В каскадах предварительного усиления, где расходуется незначительная мощность, используются однотактные схемы, в которых транзисторы работают в режиме А. В выходных каскадах при мощности нагрузки более 1 – 2 Вт используют, как правило, двухтактные схемы усиления, имеющие более высокий к.п.д.. В

двухтактных схемах транзисторы работают в режиме В, либо в режиме АВ, обеспечивающем меньший уровень нелинейных искажений за счёт исключения работы на существенно нелинейном начальном участке входной характеристики. Наиболее распространёнными являются схемы усилителей с общим эмиттером, т.к. позволяют усиливать и ток, и напряжение. В выходных каскадах при малых сопротивлениях нагрузки, когда не требуется усиления напряжения, применяют двухтактные бестрансформаторные схемы с общим коллектором. Схемы с общей базой используют при повышенных требованиях к уровню нелинейных искажений. Во всех случаях более предпочтительными являются бестрансформаторные схемы, как более дешёвые, имеющие больший к.п.д. и меньшие габариты и массу. Трансформаторы в схемах используют при необходимости согласования выходного сопротивления каскада с сопротивлением нагрузки.

Ниже приводится несколько вариантов схем каскадов усилителей с описанием их применения и методикой их расчёта. Студент должен самостоятельно в соответствии с вариантом задания выбрать ту или иную схему.

Однотактная бестрансформаторная схема с общим эмиттером.

Схема каскада представлена на рис..1.



При заданной малой мощности нагрузки и её относительно высоком омическом сопротивлении выбираю схему усилителя однотактную, без трансформаторную с общим эмиттером.

Для выбора транзистора определяю его предельные параметры:

- предельная мощность, рассеиваемая коллектором:

$$P_{\text{доп}} > (1 - \eta_k) P_H,$$

η_k – КПД каскада работающем режиме А принимаем равным 0,32, тогда:

$$P_{\text{доп.}} > (1 - 0,32) \cdot 0,005$$

- допустимые напряжение коллектор:

$$U_{к max} = \sqrt{2 \cdot P_H \cdot R_H}$$

- эмиттер и ток коллектора:

$$I_{к max} = \sqrt{2 \cdot \frac{P_H}{R_H}}, I_{к max}$$

Входные и выходные ВАХ этого транзистора приведены в приложение №1

На семействе выходных характеристик определяют начальную рабочую точку

Через точку с координатами $U_K = E_K, I_K = 0$ и НРТ провожу линии нагрузки по постоянному току. Мысленно интерполируем линию нагрузки до точки $U_K = E_K$

Определим сумму сопротивлений в цепи коллектор эмиттер:

$$R_K + R_э = \frac{E_K}{I_{к max}} = \frac{36}{8.2 \cdot 10^{-3}} = 4390 \text{ [Ом]}$$

Напряжение на сопротивлении эмиттера $U_{Rэ}$ принимаем равным $U_{Rэ} = 0,15 \cdot E_K$

Учитываем что $I_э \cong I_K$ тогда, получим:

$$R_э = \frac{U_{Rэ}}{I_{кH}}$$

$$R_K = \frac{E_K}{I_{кH}} - R_э$$

Максимальный ток базы, соответствующий минимальному коэффициенту передачи базового тока в схеме с ОЭ для выбранного транзистора:

$$I_{б max} = \frac{I_{кH}}{\beta_{min}} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{25} = 160 \text{ [μA]}$$

Ток делителя (R_1/R_2) принимаем равным 0.95 максимального тока базы.

$I_D = 0.95 I_{б max} = 0.95 \cdot 160 \cdot 10^{-6} = 152 \cdot 10^{-6} \text{ [A]}$, откуда

$$R_1 + R_2 = \frac{E_K}{I_D} = \frac{36}{152 \cdot 10^{-6}} = 236842 \text{ [Ом]}$$

По входной ВАХ транзистора определяю напряжение $U_{ЭБ}$, которое обеспечивает ток базы, соответствующий выходной характеристике, на которой расположена НРТ.

Необходимое напряжение, снимаемое с делителя для обеспечения выбранного режима работы:

$$U_{R2} = U_{ЭБ} + U_{Rэ}$$

Откуда

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_D}$$

$$R_1 = (R_1 + R_2) - R_2$$

Построим линию нагрузки по переменному току.

Определяем $R_{\text{перем}}$

$$R_{\text{перем}} = \frac{R_{\text{к}} \cdot R_{\text{н}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{н}}}$$

Линия нагрузки у нас пройдет через точку с координатами. Линия $LH_{\text{перем}}$ должна располагаться в пределах активной зоны выходных характеристик.

Для того, чтобы выходной сигнал каскада был достаточным для работы нагрузки, необходимо, чтобы выполнялось условие

$$U_{\text{кн}} + (I_{\text{кн}} \cdot R_{\text{перем}}); I_{\text{к}} = 0 \text{ и НРТ}$$

$$U_{\text{кн}} + I_{\text{кн}} \cdot R_{\text{перем}}$$

Определим входное сопротивление по входной ВАХ транзистора рис.2

$$R_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_{\text{ЭБ}}}{\Delta I_{\text{Б}}}$$

Найдем емкости конденсаторов:

$$x_{c1} = (0.01 \dots 0.05) \cdot R_{\text{вх}} = \frac{1}{\omega \cdot C_1}$$

Указание к решению задачи №3

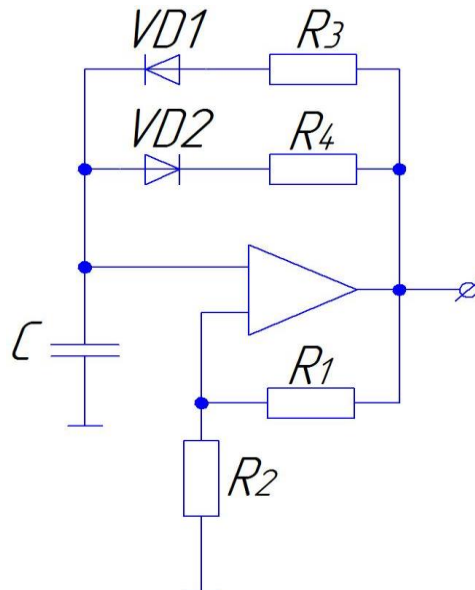


Рисунок 2 – Схема принципиального усилителя

Параметры цепи положительной ОС

$$\gamma = R_2(R_1 + R_2)$$

Напряжение источника питания выбираем равным $\pm 15 \text{ В}$

Тогда напряжение на входе ОУ:

$$\pm U = \gamma \cdot E$$

Определим период следования импульсов:

$$T = \frac{1}{f}[\text{с}]$$

Найдем длительность импульсов из соотношения:

$$Q = \frac{t_{\text{и}} + t_{\text{п}}}{t_{\text{и}}} = \frac{T}{t_{\text{и}}}$$

Откуда

$$t_{\text{и}} = \frac{T}{Q}$$

Вычислим длительность паузы:

$$t_{\text{п}} = T - t_{\text{и}}$$

Постоянная времени заряда конденсатора (цепь R_3C):

$$\tau_1 = \frac{t_{\text{и}}}{\ln \frac{1+\gamma}{1-\gamma}}$$

Примем емкость конденсатора равной 0,1 мкФ, определяем:

$$R_3 = \frac{\tau_1}{C}$$

$$\tau_2 = \frac{t_{\text{п}}}{\ln \frac{1+\gamma}{1-\gamma}}$$

Определим сопротивление резистора R_4 :

$$R_4 = \frac{\tau_2}{C}$$

Т.к. первый импульс (его длительность) обусловлена тем, что он формируется при заряде конденсатора от 0 до +U, то:

$$t_{\text{и1}} = \tau_1 \cdot \ln \frac{1}{1-\gamma}$$

Т.к. $\pm U_{\text{вых макс}} \approx \pm E$, тогда определим R_2 по формуле параметров делительной цепи ($\gamma = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$)

$$R_2 = \gamma(R_1 + R_2)$$

5. План-график выполнения задания

Работа над расчетно-графической работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
Очная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии
Заочная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении сессии
4.	Написание контрольной работы	В течении сессии
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении сессии
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии

6. Критерии оценивания работы

В целях повышения качества выполняемых расчетно-графических работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;
- выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:

- представил расчетно-графическую работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную литературу;
- при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;
- выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:

- представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;
- показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;
- использовал рекомендованную литературу;
- выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.

Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:

- когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;
- если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

7. Порядок защиты работы

Написанная студентом расчетно-графическая работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты РГР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

- в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;
- в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;
- в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

8.1.2 Перечень основной литературы:

1. Шошин, Е. Л. Электроника. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / Е. Л. Шошин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 238 с. — ISBN 978-5-4497-0508-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/100742.html>

2. Электроника : учебное пособие / В. И. Никулин, Д. В. Горденко, С. В. Сапронов, Д. Н. Резеньков. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 198 с. — ISBN 978-5-4497-0520-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94213.html>

8.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника : учебно-методическое пособие / К. П. Латышенко. — 2-е изд. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 209 с. — ISBN 978-5-4487-0458-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79677.html>

2. Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-9729-0346-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86566.html>

8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

3. Методические указания по выполнению расчетно-графических работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

**8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,
необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРО-
НИКА»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Методические указания по подготовке к расчетно-графической работе
- 6 Методические указания по подготовке к экзамену
- 7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-4 Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин	ИД-4 _{ОПК-4} Демонстрирует понимание принципа действия электронных устройств.	Знает основные характеристики, классификацию и принцип действия электронных приборов и устройств. Владеет навыками демонстрационного понимания принципа действия электронных устройств.
	ИД-6 _{ОПК-4} Применяет знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов.	Умеет применять знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов.
ОПК-6 Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности	ИД-1 _{ОПК-6} Выбирает средства измерения, проводит измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает их погрешность.	Знает основные средства измерения электрических и неэлектрических величин. Умеет проводить измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывать результаты измерений и оценивать их погрешность. Владеет навыками выбора и использования средств измерения электрических и неэлектрических величин.

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
5 семестр					
ОПК-4 ИД-4 _{ОПК-4} ИД-6 _{ОПК-4} ОПК-6 ИД-1 _{ОПК-6}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	3,06	0,34	3,4
	Подготовка к лекциям	Собеседование	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	4,86	0,54	5,4
	Выполнение расчетно-графической работы	Собеседование	18	2	20
Итого за 5 семестр:			32,4	3,6	36
6 семестр					
ОПК-4 ИД-4 _{ОПК-4} ИД-6 _{ОПК-4} ОПК-6 ИД-1 _{ОПК-6}	Самостоятельное изучение литературы по темам №19-27	Собеседование	6,48	0,72	7,2
	Подготовка к лекциям	Собеседование	1,62	0,18	1,8
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	4,48	0,405	4,05
Итого за 6 семестр:			16,2	1,8	18
Итого:			48,6	5,4	54
очно-заочная форма обучения					
5 семестр					
ОПК-4 ИД-4 _{ОПК-4} ИД-6 _{ОПК-4} ОПК-6 ИД-1 _{ОПК-6}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	66,42	4,06	70,48
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	0,72	0,08	0,8

	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	1,08	1,2	0,12
	Выполнение расчетно-графической работы	Собеседование	18	2	20
Итого за 5 семестр:			84,6	7,4	92
6 семестр					
ОПК-4 ИД-4 _{ОПК-4} ИД-6 _{ОПК-4} ОПК-6 ИД-1 _{ОПК-6}	Самостоятельное изучение литературы по темам №19-27	Собеседование	56,14	1,46	57,6
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,36	0,04	0,4
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	0,72	0,08	0,8
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	1,08	0,12	1,2
Итого за 6 семестр:			58,3	1,7	60
Итого:			142,9	9,1	152

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
5 семестр			
1.	Практическое занятие № 3	6 неделя	25
2.	Лабораторное занятие № 5	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 8	16 неделя	15
	Итого за 5 семестр		55
6 семестр			
4.	Практическое занятие № 10	6 неделя	25
5.	Лабораторное занятие № 16	10 неделя	15
6.	Практическое занятие № 14	16 неделя	15
	Итого за 6 семестр		55
	Итого		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

1. Опишите вольтамперную характеристику стабилитрона.
2. Поясните принцип работы параметрического стабилизатора напряжения.
3. Как, пользуясь вольтамперной характеристикой стабилитрона, рассчитать его динамическое сопротивление?
4. От чего зависит нижний порог стабилизируемого напряжения?
5. Как величина балластного сопротивления влияет на качество стабилизации напряжения?
6. Чем ограничивается минимальное значение балластного сопротивления?
7. Как сопротивление нагрузки влияет на качество работы стабилизатора напряжения?
8. Что представляют собой входные и выходные характеристики транзистора?
9. Расскажите о порядке получения входных и выходных характеристик транзистора.
10. Перечислите динамические параметры биполярного транзистора. Как их получают?

11. Чем ограничена активная зона выходных характеристик транзистора?
12. Опишите конструкцию полевого транзистора с управляемым переходом.
13. Почему обеднённая зона р-п-перехода располагается в основном в зоне истока-стока?
14. Что называют каналом полевого транзистора?
15. Какие носители зарядов имеются в канале полевого транзистора?
16. В результате чего изменяется сопротивление канала полевого транзистора?
17. В каких случаях при работе полевого транзистора отсутствует ток затвора?
18. Что представляет собой стокзатворная характеристика? Как её получают?
19. Что представляют собой выходные характеристики полевого транзистора? Как их получают?
20. Какие Вам известны динамические параметры полевого транзистора? Как их вычисляют?
21. Нарисуйте схемы выпрямителей и укажите путь прохождения тока при изменении полярности питающего напряжения.
22. Объясните, почему при выпрямлении трёхфазного тока в схеме с нулевой точкой может быть открыт только один диод, а в мостовой схеме – только два диода.
23. Объясните последовательность открытия диодов в трёхфазной мостовой схеме.
24. По какой формуле можно вычислить значение среднего выпрямленного напряжения?
25. Почему фактическое выпрямленное напряжение несколько ниже теоретически вычисленного?
26. Что понимают под начальной рабочей точкой усилителя?
27. Как зависит режим работы усилителя от положения НРТ?
28. Чем обеспечивается положение НРТ в рассматриваемом усилителе?
29. Какую роль выполняет сопротивление в цепи эмиттера?
30. Для чего сопротивление в цепи эмиттера шунтируют конденсатором?
31. Какую роль выполняют конденсаторы в цепи базы и на выходе усилителя?
32. Как построить линию нагрузки усилителя по постоянному току?
33. Объясните схему замещения усилителя по переменному току.
34. Каким сопротивлением определяется наклон линии нагрузки усилителя по переменному току?
35. Что понимают под амплитудной характеристикой усилителя?
36. Что представляют собой амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики усилителя?

37. Что называют динамическим диапазоном усилителя?
38. От чего зависит величина коэффициентов усиления усилителя?
39. Как опытным путём определить величину входного и выходного сопротивлений усилителя?
40. Как изменится коэффициент усиления усилителя, если сопротивление в цепи эмиттера не шунтировать конденсатором?
41. Как коэффициент усиления усилителя зависит от сопротивления в цепи коллектора?
42. Объясните, почему выходной сигнал усилителя отличается от входного по фазе на 180° ?
43. Объясните назначение элементов каскада усилителя.
44. Как установить положение начальной рабочей точки, чтобы получить минимальные нелинейные искажения усиливаемого сигнала?
45. Что представляет собой амплитудная характеристика усилителя? Как её получить?
46. Как амплитудная характеристика усилителя зависит от нагрузки?
47. Что представляет собой амплитудно-частотная характеристика усилителя? Как её получить?
48. Как определяют входное сопротивление усилителя?
49. Как определяют выходное сопротивление усилителя?
50. Опишите в общих чертах конструкцию тиристора.
51. Какими способами можно открыть тиристор?
52. Что произойдёт с режимом работы тиристора, если после его открывания ток управления уменьшить до нуля?
53. Какими способами можно закрыть тиристор?
54. Что понимают под током удержания тиристора?
55. Поясните работу схемы запирающего тиристора путём его шунтирования конденсатором.
56. Как выглядит фазовый способ управления тиристором?
57. В результате чего запирается тиристор в схеме регулирования величины выпрямленного тока?
58. От чего зависит время задержки управляющего импульса?
59. Опишите работу генератора импульсов.
60. Что называют углом отпирания тиристора?
61. Как изменяется ток в цепи нагрузки при увеличении угла отпирания тиристора?

62. Чем объясняются малые потери мощности при регулировании напряжения с помощью тиристоров и симисторов?
63. Опишите два способа регулирования напряжения с помощью тиристоров.
64. Каковы достоинства и недостатки фазового способа регулирования напряжения?
65. Каковы достоинства и недостатки регулирования напряжения числом открываемых периодов?
66. Что понимают под регулировочной характеристикой регулятора напряжения?
67. Что понимают под нагрузочной характеристикой регулятора напряжения?
68. Как изменить способ регулирования напряжения на БУСТ?
69. Какие изменения в схеме БУСТ необходимо выполнить при подключении трехфазной нагрузки?
70. Какие входные устройства и сигналы можно использовать для регулирования напряжения с помощью БУСТ?
71. Опишите основные свойства операционных усилителей.
72. Опишите работу компаратора.
73. Поясните работу инвертирующего и неинвертирующего усилителей.
74. Чем определяются коэффициенты усиления усилителей, собранных на базе операционного усилителя?
75. Как с помощью ОУ осуществляют суммирование напряжений?
76. Как построить схему интегратора на базе ОУ? Чем определяется скорость интегрирования?
77. Чем в общем случае определяется динамический режим ОУ с отрицательной обратной связью?
78. Как напряжение на выходе ОУ зависит от нагрузки?
79. Какое электронное устройство называют автогенератором?
80. Опишите работу автогенератора прямоугольных импульсов на базе операционного усилителя.
81. Какими способами можно изменить частоту сигнала, рассматриваемого в данной работе генератора?
82. Как изменить скважность сигнала генератора?
83. Объясните роль положительной обратной связи в формировании фронта сигналов генератора.
84. Как изменится частота сигнала генератора при увеличении сопротивления R_1 делителя напряжения?
85. Какие электронные устройства называют триггерами?

86. Чем синхронные триггеры отличаются от асинхронных?
87. Чем отличаются динамический вход синхронизации от статического?
88. Как обозначают входы и выходы триггеров?
89. Назовите рассмотренные в работе типы триггеров и опишите функциональные возможности каждого из них.
90. Что такое характеристическое уравнение триггера?
91. Что представляет собой таблица состояний триггера?
92. Какие измерительные приборы относятся к классу аналоговых.
93. Поясните принцип работы измерительных приборов магнитоэлектрической системы.
94. Поясните принцип работы измерительных приборов электромагнитной системы.
95. Поясните принцип работы измерительных приборов электродинамической системы.
96. Опишите устройство измерительного прибора магнитоэлектрической системы.
97. Опишите устройство измерительного прибора электромагнитной системы.
98. Опишите устройство измерительного прибора электродинамической системы.
99. Какие физические величины позволяют измерять приборы соответственно магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической системы.
100. Что означает значок () на клеммах ваттметра электродинамической системы.
101. Что означает значок () на шкале прибора электромагнитной системы.
102. Приведите основное уравнение мостовой измерительной схемы.
103. Назовите ряд чисел, как результат деления R_3/R_4 , наиболее приемлемых в процессе измерения сопротивлений мостовым методом.
104. Можно ли при измерении активных сопротивлений питать мостовую схему переменным током.
105. Изложите порядок балансировки мостовой схемы.
106. Изложите порядок балансировки одинарного измерительного моста.
107. Что ограничивает верхний номинал сопротивлений, измеряемых мостовым методом.
108. Что ограничивает нижний номинал сопротивлений, измеряемых мостовым методом.
109. Приведите векторную диаграмму конденсатора с малыми диэлектрическими потерями.
110. Приведите векторную диаграмму конденсатора с большими диэлектрическими

111. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями и формулы расчётных величин.
112. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего большими потерями и формулы расчётных величин.
113. Приведите схему моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике и формулы расчётных величин.
114. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
115. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением и формулы расчётных величин.
116. Приведите схему моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушек с использованием образцового конденсатора и формулы расчётных величин.
117. Каковы принципиальные особенности построения ЦИП.
118. Объясните необходимость дискретизации непрерывной во времени измеряемой величины $x(t)$ для её дальнейшего преобразования в АЦП.
119. Объясните необходимость квантования по уровню непрерывной во времени измеряемой величины $x(t)$ для её дальнейшего преобразования в АЦП.
120. Чем определяется порог чувствительности ЦИП.
121. Приведите формулу основной допускаемой погрешности ЦИП.
122. Чем определяется быстродействие ЦИП.
123. Чем определяется разрешающая способность ЦИП.
124. Каковы основные преимущества ЦИП перед аналоговыми и электромеханическими измерительными приборами.
125. Опишите принцип работы электроннолучевого осциллографа.
126. Опишите принцип работы электроннолучевой трубки.
127. Что представляет собой процесс синхронизации осциллографа.
128. Как правильно выбрать масштаб развёртки и масштаб амплитуды исследуемого сигнала.
129. Что представляют собой фигуры Лиссажу.
130. Как получить изображение фигур Лиссажу на экране осциллографа.
131. Какая фигура наблюдается на экране осциллографа, если отношение частот напряжений, подаваемых на его входы, является иррациональным числом.
132. Какая фигура наблюдается на экране осциллографа, если напряжения, подаваемые на его входы, совпадают по частоте и по фазе.

133. Какая фигура наблюдается на экране осциллографа, если напряжения, подаваемые на его входы, совпадают по частоте, но отличаются по фазе на 90 градусов.
134. Опишите устройство электромеханического мегомметра.
135. Опишите устройство электронного мегомметра.
136. Приведите векторную диаграмму токов, протекающих через диэлектрик, при приложении к нему переменного синусоидального напряжения.
137. Каким образом оценить степень увлажнённости изоляции при измерении её сопротивления.
138. Почему для измерения сопротивления изоляции требуется столь длительное время
139. Существует ли принципиальная разница между методами измерения сопротивления изоляции электромеханическими и электронными мегомметрами.
140. Каково значение напряжения, прикладываемого к диэлектрику или электроаппарату, при измерении его сопротивления изоляции.
141. Что такое биение.
142. Представить график биения и математическую формулу записи сигнала.
143. Что представляет собой процесс модуляции электрического сигнала.
144. Представить график модулированного по амплитуде сигнала и математическую формулу записи сигнала.
145. Что означает модуляция электрического сигнала по частоте.
146. Что означает модуляция электрического сигнала по фазе.
147. Описать приёмы работы с генератором произвольных электрических колебаний TAVOR WW 2572A.
148. Описать приёмы работы с осциллографом – мультиметром Fluke 190-204.
149. Описать приёмы работы с осциллографом – мультиметром АКИП – 4125/4.
150. Какое устройство называется электронным генератором? Каковы основные признаки генераторов?
151. Что собой представляет структурная схема генератора? Дать определение квазирезонансной частоты.
152. Каковы основные условия возбуждения автогенератора? Дать характеристику баланса амплитуд и фаз.
153. На какие группы подразделяются RC-генераторы? Чем они отличаются друг от друга?
154. Каковы условия самовозбуждения RC-генераторов типа "R-параллель"? Как их выполнить в реальной инженерной практике?

155. Каковы условия самовозбуждения RC-генераторов типа "С-параллель"? Как выполняются условия по улучшению $h_{21Э}$?
156. Какие коррективы необходимо внести в расчет RC-генератора при работе его в широком диапазоне температур?
157. В каких случаях при расчете резисторов RC-генератора стандартные величины округляются в сторону увеличения, а в каких - уменьшения?
158. Какие колебания называются релаксационными? Что представляет собой регенеративный процесс?
159. Как подразделяются генераторы по форме импульсов?
160. Дать описание основных режимов работы ГИ.
161. Чем отличается режим автоколебаний от ждущего режима?
162. Описать принцип работы мультивибратора с КБ емкостными связями
163. Какие допущения приняты при использовании в расчете элементов мульти вибратора в эквивалентных схемах?
164. По каким цепям происходит заряд и перезаряд конденсаторов Сб1,2?
165. Указать основные моменты порядка расчета мультивибратора с КБ емкостными связями.
166. Описать принцип работы мультивибратора с КБ связями и дополнительным источником смещения.
167. Указать последовательность расчета элементов и параметров мультивибратора с КБ связями и дополнительным источником смещения.
168. В чем заключается преимущество и каковы недостатки мультивибратора на транзисторах с проводимостью разного типа?
169. Каков порядок расчета элементов и параметров одновибратора?
170. Как в одновибраторе регулируется ширина импульса?
171. Зачем нужен в мультивибраторе и одновибраторе эмиттерный повторитель?
172. Дать определение триггера. Какой триггер называется симметричным, какой несимметричным?
173. Что представляет собой пусковая характеристика триггера?
174. Какие типы и виды триггеров используются, в основном, в импульсной технике?
175. Описать принцип работы симметричного триггера с внешним источником питания.
176. Каковы основные этапы работы триггера?
177. Описать принцип работы триггера с автоматическим включением.

178. Каков принцип работы триггера Шмитта на транзисторах с одностипной проводимостью?
179. Описать принцип работы триггера Шмитта на транзисторах с проводимостью разного типа.
180. Каковы основные этапы работы и какими параметрами они характеризуются?
181. Чем отличается триггер М.Фумио и С.Танахи от триггера Шмитта?
182. Каков порядок расчета симметричного триггера с коллекторно-базовыми емкостными связями?
183. Чем отличается порядок расчета триггера от симметричного триггера с КБ связями, но на транзисторах с проводимостью различного типа?
184. Каков порядок расчета симметричного триггера с КБ емкостными связями на транзисторах разного типа проводимости?
185. Как учитываются при расчете триггеров величины h, R, E ?
186. По каким основным параметрам выбираются транзисторы в триггерах?
187. Что представляют собой ограничения?
188. Каков порядок расчета симметричных триггеров с автоматическим смещением?
189. Каков порядок расчета несимметричного триггера с эмиттерной связью на транзисторах одного типа проводимости?
190. Каков порядок расчета несимметричного триггера с эмиттерной связью на транзисторах с проводимостью разного типа?
191. Из каких элементов состоит обобщенный делитель запуска триггеров Шмитта с транзисторами разнотипной проводимости? Какие варианты запуска наиболее рациональны?
192. Каков порядок расчета пороговых уровней триггера Шмитта на транзисторах с проводимостью разного типа?
193. В чем состоит обработка результатов измерений?
194. Какие измерения называются равноточными?
195. Какие знаки в числовом результате считаются верными?
196. Для чего проводятся многократные измерения одной и той же величины?
197. Что такое «промах», как можно исключить промахи при обработке результатов измерений.
198. Как обозначается класс точности на измерительном приборе.
199. Определение абсолютной и относительной погрешности.
200. Основные и дополнительные виды погрешностей. Случайные, систематические, грубые погрешности. Причины их появления.

201. Приведенная погрешность и способы ее определения.
202. Основные метрологические характеристики средств измерений. Относительная погрешность.
203. Как можно определить класс точности прибора экспериментальным путём.
204. Как правильно выбрать диапазон измерения физической величины, на что надо обращать внимание.
205. Виды погрешностей, определение каждого вида погрешностей. Что называется классом точности прибора. Как это понятие связано с точностью измерения?
206. Виды основных погрешностей. Причины возникновения погрешностей средств измерений.
207. Приведенная погрешность, единица измерения, формулы для ее определения. Значение приведенной погрешности.
208. Принцип и метод измерения.
209. Правильность и достоверность измерения.
210. Точность измерения. Что называется, классом точности прибора.
211. Истинное и действительное значения измеряемой величины.
212. Точность измерения. Какие классы точности утверждены стандартами. Как их можно классифицировать в зависимости от точности производимых измерений?
213. Для каких целей используется резистивный делитель?
214. Как рассчитать основные параметры резистивного делителя?
215. В каких цепях используется емкостной делитель?
216. Для чего используются шунты?
217. Как рассчитать сопротивление шунта?
218. Для чего используются добавочные резисторы?
219. Как рассчитать добавочный резистор?
220. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при равномерной нагрузке?
221. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при неравномерной нагрузке?
222. Перечислить общие технические требования к электроизмерительным приборам. Дать классификацию этих приборов.
223. Объяснить устройство и принцип действия, перечислить достоинства и недостатки приборов электродинамической системы.
224. Начертить схему измерения активной мощности в четырехпроводной цепи тремя ваттметрами.

225. Начертить схему измерения активной мощности в трехпроводной цепи двумя ваттметрами.

226. В каком случае при измерении активной мощности в трехпроводной цепи методом двух ваттметров:

- а) показания обоих из ваттметров будут равны между собой;
- б) показания одного из ваттметров будут равны нулю;
- в) показания одного из ваттметров будут иметь отрицательное значение;
- г) суммарное показание двух ваттметров будет равно нулю?

227. Начертить схемы измерения активной мощности одним ваттметром при симметричной нагрузке, включенной:

- а) в звезду с доступной нейтральной точкой;
- б) в треугольник;
- в) в замкнутый треугольник или звезду с недоступной нейтральной точкой.

228. Начертить схему измерения реактивной мощности в трехфазной цепи одним ваттметром при симметричной нагрузке.

229. Написать формулы для определения активной, реактивной и полной мощностей в трехфазной цепи с активной, индуктивной и емкостной нагрузках.

230. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при равномерной нагрузке?

231. Какой метод применяется для измерения активной мощности в трехфазной цепи при неравномерной нагрузке?

232. Перечислить общие технические требования к электроизмерительным приборам. Дать классификацию этих приборов.

233. Объяснить устройство и принцип действия, перечислить достоинства и недостатки приборов электродинамической системы.

234. Начертить схему измерения активной мощности в четырехпроводной цепи тремя ваттметрами.

235. Начертить схему измерения активной мощности в трехпроводной цепи двумя ваттметрами.

236. В каком случае при измерении активной мощности в трехпроводной цепи методом двух ваттметров:

- а) показания обоих из ваттметров будут равны между собой;
- б) показания одного из ваттметров будут равны нулю;
- в) показания одного из ваттметров будут иметь отрицательное значение;
- г) суммарное показание двух ваттметров будет равно нулю?

237. Начертить схемы измерения активной мощности одним ваттметром при симметричной нагрузке, включенной:

- а) в звезду с доступной нейтральной точкой;
- б) в треугольник;
- в) в замкнутый треугольник или звезду с недоступной нейтральной точкой.

238. Начертить схему измерения реактивной мощности в трехфазной цепи одним ваттметром при симметричной нагрузке.

239. Написать формулы для определения активной, реактивной и полной мощностей в трехфазной цепи с активной, индуктивной и емкостной нагрузках.

240. Приведите векторную диаграмму конденсатора с малыми диэлектрическими потерями.

241. Приведите векторную диаграмму конденсатора с большими диэлектрическими

242. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего малыми потерями и формулы расчётных величин.

243. Приведите схему моста переменного тока для измерения ёмкости конденсатора, обладающего большими потерями и формулы расчётных величин.

244. Приведите схему моста переменного тока для определения потерь в диэлектрике и формулы расчётных величин.

245. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с малым активным сопротивлением и формулы расчётных величин.

246. Приведите схему моста переменного тока для измерения индуктивности катушек с большим активным сопротивлением и формулы расчётных величин.

247. Приведите схему моста переменного тока для определения индуктивности и добротности катушек с использованием образцового конденсатора и формулы расчётных величин.

248. Для чего используются мосты постоянного тока?

249. Для чего используются мосты переменного тока?

250. Какие типы мостов Вы знаете?

251. С какой целью используется двойной мост постоянного тока?

252. Как определить условие равновесия моста постоянного тока?

253. Как определить условие равновесия моста переменного тока?

254. Какими приборами измеряется сила тока, напряжение и сопротивление?

255. Назовите преимущества приборов электромагнитной системы.

256. На каком принципе основано действие приборов магнитоэлектрической системы?

257. Для чего к амперметру подключают шунт?
258. По какой формуле можно вычислить величину добавочного сопротивления, присоединяемого к вольтметру?
259. Какими приборами измеряют расход электрической энергии?
260. Для чего служат датчики?
261. Изобразите схему включения ваттметра.
262. По какой формуле вычисляется неизвестное сопротивление, измеренное мостом, при его электрическом равновесии?

Методические указания по подготовке к расчетно-графической работе

Расчетно-графическая работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения к расчетно-графической работы заключаются:

- закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;
- научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-4 Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин	ИД-4 _{ОПК-4} Демонстрирует понимание принципа действия электронных устройств.	Знает основные характеристики, классификацию и принцип действия электронных приборов и устройств. Владеет навыками демонстрационного понимания принципа действия электронных устройств.
	ИД-6 _{ОПК-4} Применяет знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов.	Умеет применять знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов.
ОПК-6 Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности	ИД-1 _{ОПК-6} Выбирает средства измерения, проводит измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает их погрешность.	Знает основные средства измерения электрических и неэлектрических величин. Умеет проводить измерения электрических и неэлектрических величин, обрабатывать результаты измерений и оценивать их погрешность. Владеет навыками выбора и использования средств измерения электрических и неэлектрических величин.

Методические указания по подготовке к экзамену

Изучение дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов знакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Вопросы к экзамену

1. Полупроводниковые материалы. Примесная проводимость полупроводников. Физические процессы на границе p-n перехода.
2. Полупроводниковый диод. Конструкции диодов. Вольт-амперная характеристика.
3. Пробой p-n перехода. Виды пробоя. Стабилитроны. Характеристика стабилитрона. Простейший параметрический стабилизатор напряжения.
4. Выпрямители. Схемы однофазного однополупериодного и однофазного двухполупериодного выпрямителей. Среднее и действующее значения выпрямленного напряжения.
5. Схемы трехфазного однополупериодного выпрямителя. Форма кривой выпрямленного напряжения. Среднее значение выпрямленного напряжения.
6. Схемы трехфазного двухполупериодного выпрямителя. Форма кривой выпрямленного напряжения, его среднее значение.
7. Схемы вторичных источников питания, их сравнительные характеристики.

8. Биполярные транзисторы. Конструкция, физические процессы, статические коэффициенты передачи эмиттерного и базового токов.
9. Три возможные схемы включения биполярного транзистора, их возможности и свойства.
10. Полевые транзисторы. Конструкция и физические процессы в полевом транзисторе с управляемым переходом.
11. Тиристоры. Конструкция и физические процессы в тиристорах. Оптоэлектронные приборы.
12. Классификацию усилителей. Основные параметры усилителей.
13. Обратные связи в усилителях.
14. Режимы работы каскадов усилителей в зависимости от положения НРТ.
15. Усилители постоянного тока. Причины возникновения дрейфа нуля.
16. Усилители переменного тока. Усилители мощности.
17. Операционные усилители.
18. Генераторы. Определения, классификация, условия самовозбуждения.
19. Генератор прямоугольных импульсов на операционном усилителе.
20. Устройства цифровой электроники, их преимущества перед аналоговыми устройствами.
21. Комбинационные интегральные схемы.
22. Триггеры.
23. Основные понятия и определения информационно-измерительной техники: эталон, мера, измерительный прибор, единица измерения, система единиц.
24. Погрешности измерения и их классификация (систематические, случайные, промахи).
25. Законы распределения погрешностей (нормальный закон распределения Гаусса, закон распределения Стьюдента).
26. Методы измерения электрических и неэлектрических величин (прямой, косвенный, совместный, метод непосредственной оценки).
27. Электромеханические измерительные приборы. Уравнение Лагранжа II рода, как общее выражение для определения вращающего момента.
28. Магнитоэлектрические измерительные приборы и механизмы
29. Электромагнитные измерительные приборы и механизмы.
30. Электродинамические и ферродинамические измерительные приборы и механизмы.
31. Индукционные измерительные приборы и механизмы.

32. Электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы.
33. Потенциометры. Измерительные мосты.
34. Методы электрических измерений неэлектрических величин.
35. Информационно-измерительные системы. Измерительные системы. Телеизмерительные системы. Системы автоматического контроля. Системы распознавания образов.
36. Построить вольт-амперную характеристику силового диода на основе экспериментальных данных.
37. Построить вольт-амперную характеристику стабилитрона на основе экспериментальных данных.
38. Определить напряжение стабилизации и диапазон тока стабилизации стабилитрона на основе экспериментальных данных.
39. Рассчитать допустимую нагрузку на данный тип стабилитрона.
40. Определить постоянные составляющие тока и напряжения, обратное напряжение, а также действующие значения тока и напряжения однофазного однотактного выпрямителя.
41. Определить постоянные составляющие тока и напряжения, обратное напряжение, а также действующие значения тока и напряжения трёхфазного однотактного выпрямителя.
42. Определить постоянные составляющие тока и напряжения, обратное напряжение, а также действующие значения тока и напряжения однофазного двухтактного выпрямителя.
43. Определить постоянные составляющие тока и напряжения, обратное напряжение, а также действующие значения тока и напряжения трёхфазного двухтактного выпрямителя.
44. Произвести выбор трансформатора вторичного источника питания для известной активной нагрузки.
45. Построить входные и выходные характеристики биполярного транзистора на основе экспериментальных данных.
46. Определить h -параметры биполярного транзистора на основе экспериментальных данных, представленных в графическом виде.
47. Определить h -параметры биполярного транзистора на основе экспериментальных данных, представленных в виде таблицы.
48. Определить коэффициент усиления биполярного транзистора для данной рабочей точки.

49. Рассчитать h -параметры биполярного транзистора, представленного в виде четырёхполюсника.
50. Определить предельно допустимые характеристики биполярного транзистора по полученным экспериментальным данным.
51. Определить крутизну полевого транзистора с р-п переходом на основе экспериментальных данных, представленных в графическом виде.
52. Определить крутизну полевого транзистора МДП-типа на основе экспериментальных данных, представленных в графическом виде.
53. Построить вольт-амперную характеристику тиристора на основе экспериментальных данных.
54. Рассчитать параметры однотактного безтрансформаторного каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером.
55. Рассчитать параметры однотактного трансформаторного каскада усилителя мощности.
56. Рассчитать параметры двухтактного трансформаторного каскада усилителя мощности.
57. Рассчитать параметры двухтактного безтрансформаторного каскада усилителя мощности.
58. Рассчитать параметры каскада усилителя однополярных импульсов.
59. Рассчитать параметры каскада усилителя двухполярных импульсов.
60. Рассчитать параметры простейшего автогенератора прямоугольных импульсов на операционном усилителе.
61. Произвести обработку результатов измерения сопротивления на основе полученных экспериментальных данных.
62. Рассчитать параметры шунта для амперметра магнитоэлектрической системы с пределом измерения $50\mu\text{A}$ для измерения постоянного тока 10A .
63. Рассчитать добавочное сопротивление для вольтметра магнитоэлектрической системы с пределом измерения $50\mu\text{A}$ для измерения напряжения постоянного тока с пределами 10V , 100V , 1000V .
64. Составить схему измерения и рассчитать активную мощность трёхфазной симметричной системы с помощью ваттметра активной мощности.
65. Составить схему измерения и рассчитать активную мощность трёхфазной несимметричной системы с помощью ваттметров активной мощности.
66. Составить схему измерения и рассчитать активную мощность трёхфазной несимметричной системы с помощью двух ваттметров активной мощности.

67. Составить схему измерения и рассчитать активную мощность трёхфазной симметричной системы с помощью двух ваттметров активной мощности.
68. Составить схему измерения активного сопротивления с помощью четырёх-плечного моста и рассчитать ток в диагонали гальванометра.
69. Составить схему измерения индуктивности катушки с помощью четырёх-плечного моста переменного тока и рассчитать ток в диагонали гальванометра.
70. Составить схему измерения ёмкости конденсатора с помощью четырёхплечного моста переменного тока и рассчитать ток в диагонали гальванометра.
71. Навыками снятия вольт-амперной характеристики силового диода.
72. Навыками снятия вольт-амперной характеристики стабилитрона.
73. Навыками получения экспериментальных данных для определения напряжения стабилизации стабилитрона.
74. Навыками получения экспериментальных данных для определения тока стабилизации стабилитрона.
75. Навыками получения экспериментальных данных для определения допустимой нагрузки на стабилитрон.
76. Навыками экспериментального определения постоянных составляющих тока, напряжения, обратного напряжения, а также действующих значений тока и напряжения однофазного однократного выпрямителя.
77. Навыками экспериментального определения постоянных составляющих тока, напряжения, обратного напряжения, а также действующих значений тока и напряжения трёхфазного однократного выпрямителя.
78. Навыками экспериментального определения постоянных составляющих тока, напряжения, обратного напряжения, а также действующих значений тока и напряжения однофазного двухтактного выпрямителя.
79. Навыками экспериментального определения постоянных составляющих тока, напряжения, обратного напряжения, а также действующих значений тока и напряжения трёхфазного двухтактного выпрямителя.
80. Навыками экспериментальной проверки трансформатора вторичного источника питания для известной активной нагрузки.
81. Навыками экспериментального определения входных характеристик биполярного транзистора.
82. Навыками экспериментального определения выходных характеристик биполярного транзистора.

83. Навыками экспериментального определения коэффициента усиления биполярного транзистора для данной рабочей точки.
84. Навыками сборки схемы и определения параметров биполярного транзистора, включённого по схеме с общей базой.
85. Навыками сборки схемы и определения параметров биполярного транзистора, включённого по схеме с общим коллектором.
86. Навыками сборки схемы и определения предельно допустимых параметров биполярного транзистора.
87. Навыками получения экспериментальных данных для определения крутизны полевого транзистора МДП-типа.
88. Навыками получения экспериментальных данных для определения крутизны полевого транзистора с р-п переходом.
89. Навыками сборки электрической схемы для снятия вольт-амперной характеристики тиристора.
90. Навыками определения величины управляющего напряжения открытия тиристора.
91. Навыками сборки электрической схемы однотактного безтрансформаторного каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером.
92. Навыками экспериментального определения коэффициента усиления однотактного безтрансформаторного каскада усилителя переменного тока с общим эмиттером.
93. Навыками сборки электрической схемы однотактного трансформаторного каскада усилителя мощности.
94. Навыками экспериментального определения коэффициента усиления однотактного трансформаторного каскада усилителя мощности.
95. Навыками сборки электрической схемы двухтактного безтрансформаторного каскада усилителя мощности.
96. Навыками экспериментального определения коэффициента усиления двухтактного безтрансформаторного каскада усилителя мощности.
97. Навыками сборки электрической схемы простейшего автогенератора прямоугольных импульсов на операционном усилителе.
98. Навыками измерения электрического тока силой 1А с помощью амперметра магнитоэлектрической системы с пределом измерения 50мА.
99. Навыками измерения напряжения 100В постоянного тока с помощью амперметра магнитоэлектрической системы с пределом измерения 50мА.

100. Навыками измерения активной мощности трёхфазной несимметричной системы с помощью ваттметров активной мощности.
101. Навыками измерения активной мощности трёхфазной несимметричной системы с помощью двух ваттметров активной мощности.
102. Навыками измерения реактивной мощности трёхфазной симметричной системы с помощью двух ваттметров активной мощности.
103. Навыками сборки схемы и измерения активного сопротивления с помощью четырёхплечного моста.
104. Навыками сборки схемы и измерения индуктивности катушки с помощью четырёхплечного моста переменного тока.
105. Навыками сборки схемы и измерения ёмкости конденсатора с помощью четырёхплечного моста переменного тока.

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Шошин, Е. Л. Электроника. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / Е. Л. Шошин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. — 238 с. — ISBN 978-5-4497-0508-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/100742.html>
2. Электроника : учебное пособие / В. И. Никулин, Д. В. Горденко, С. В. Сапронов, Д. Н. Резеньков. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 198 с. — ISBN 978-5-4497-0520-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94213.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Латышенко, К. П. Метрология и измерительная техника : учебно-методическое пособие / К. П. Латышенко. — 2-е изд. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 209 с. — ISBN 978-5-4487-0458-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79677.html>
2. Водовозов, А. М. Основы электроники : учебное пособие / А. М. Водовозов. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 140 с. — ISBN 978-5-9729-0346-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86566.html>

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».
3. Методические указания по выполнению расчетно-графических работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».
4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Информационно-измерительная техника и электроника».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks