

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАДИОФИЗИКА

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Фундаментальная и прикладная физика»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Лабораторная работа №1. Изучение последовательного колебательного контура.....	4
2. Лабораторная работа №2. Антенны.....	10
3. Лабораторная работа №3. Изучение диодов и выпрямительных схем.....	15
4. Лабораторная работа №4. Биполярный транзистор.....	22
5. Лабораторная работа №5. Полевой транзистор.....	27
6. Лабораторная работа №6. Усилители напряжения низкой частоты.....	34
7. Лабораторная работа №7. Изучение мультивибраторов и триггеров.....	38
8. Лабораторная работа №8. Изучение АМ и ЧМ колебаний. Детектирование амплитудно-модулированных сигналов.....	45
9. Лабораторная работа №9. . Изучение электронных схем логических элементов, дешифратора с трёхразрядным счётчиком.....	50
10. Лабораторная работа №10. Знакогенератор ЭВМ.....	56
11. Лабораторная работа №11. Цифро-аналоговый преобразователь	61
Список литературы.....	66

Введение

Дисциплина «Радиофизика» входит в базовую часть федерального перечня профессиональных дисциплин для студентов направления 03.03.02 Физика (направленность (профиль) Фундаментальная и прикладная физика). Ее освоение происходит в 7 семестре.

Актуальность учебной дисциплины «Радиофизика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов компетенций, на которых базируется профессиональная деятельность в физике. В современных условиях важнейшим элементом подготовки бакалавров в области физики является формирование у них самостоятельности и культуры научного мышления, способности вести научную и профессиональную деятельность, навыков постановки целей, задач при решении проблемных ситуаций.

Целью освоения дисциплины «Радиофизика» является

- формирование профессиональных компетенций бакалавра по направлению подготовки 03.03.02 – Физика (направленность (профиль) Фундаментальная и прикладная физика),
 - теоретическое и экспериментальное исследование колебаний,
 - изучения излучения и распространения радиоволн,
 - изучение законов, принципа действия и возможностей электронных приборов,
 - измерение параметров и характеристик аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств.

- применения полученных знаний и методов для решения естественнонаучных и профессиональных задач.

Основные задачи дисциплины:

- использование в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук;
- приобретение знаний о методах научного познания, о современной физической картине мира, об основах фундаментальных физических теорий;
- развитие основных умений и навыков у студентов в составлении, в сборке и налаживании простейших электро- и радиотехнических цепей и схем,
- развитие способностей применения на практике базовых общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований,
- знакомство студентов с современным уровнем электронной техники, в выборе и использовании оборудования и приборов для решения практических задач.
- понимание получаемой информации и представление результатов физических исследований
- умение выстраивать и реализовывать перспективные линии интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате изучения дисциплины «Радиофизика»

- ПК-1. Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.

- ПК-2 Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью

современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

- ПК-5 Способен использовать современные цифровые технологии, специализированное программное обеспечение, методы искусственного интеллекта и машинного обучения в профессиональной деятельности.

Знать;

- средства и методы анализа экспериментальных данных, основы анализа базовых устройств для решения профессиональных задач

-методы применения результатов научных исследований в инновационной деятельности;

-методы инженерно-технологической деятельности; основные организации и планирования физических исследований

Уметь:

-читать электрические схемы, использовать современную измерительную аппаратуру, применять основные методы расчета электрических цепей

-использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук

- проводить физические исследования по заданной тематике

-обрабатывать полученные результаты научных исследований на современном уровне

Владеть:

- основными навыками изучения различных явлений и процессов,

-методами физического эксперимента с использованием современной измерительной аппаратуры для решения профессиональных задач

-навыком работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий

Лабораторная работа №1.

Изучение последовательного колебательного контура

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию вопросов изучения линейных электрических цепей.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

– знать средства и методы анализа экспериментальных данных, основы анализа линейных электрических цепей для решения профессиональных задач (ПК-1,ПК-3)

– уметь читать электрические схемы, использовать современную измерительную аппаратуру, применять основные методы расчета электрических цепей (ПК-1,ПК-3)

– владеть основными навыками изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа линейных цепей (ПК-1,ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность исследовать работу последовательного колебательного контура, построить амплитудно-частотные характеристики колебательного контура, формировать навыки расчетов параметров контура, выявить влияния элементов схемы на параметры и АЧХ контура и изучить явление резонанса напряжения в контуре.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо отметить, что колебательный контур представляет собой один из основных элементов радиосхем. Схема замещения контура с сосредоточенными параметрами с учетом потерь энергии, представлена на рис.1.

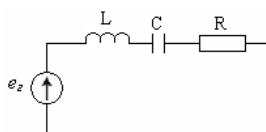


Рис. 1.

Активное сопротивление **R** введено для учета потерь энергии в контуре. В реальном колебательном контуре **L, C, R** распределены по всей схеме. На схеме, представленной на рис.1 параметры **L, C, R** "привязаны" к определенному участку схемы. Такая идеализация допустима, если размеры элементов контура много меньше длины волны колебаний.

Собственная частота ω_0 колебательного контура определяется из условия равенства нулю реактивной составляющей полного сопротивления контура

Для характеристики скорости процесса затухания свободных колебаний в контуре пользуются коэффициентом затухания δ , логарифмическим декрементом затухания **d** и добротностью контура **Q**.

$$1. \text{ Коэффициент затухания } \delta = \frac{R}{2L}$$

Коэффициент затухания δ – величина обратная времени, по истечении которого амплитуда колебаний уменьшается в "e" раз.

2. Логарифмический декремент затухания **d** характеризует уменьшение амплитуды колебаний за период, он равен натуральному логарифму отношения $\frac{q_t}{q_{t+T}}$.

$$d = \ln \frac{q_t}{q_{t+T}} = \ln e^{\delta T} = \delta T, \quad \delta = \frac{1}{\tau}, \quad \tau = NT \text{ получим: } d = \frac{1}{\tau} \frac{\tau}{N} = \frac{1}{N}$$

Следовательно, логарифмический декремент затухания – это величина обратная тому числу полных колебаний, по истечении которых амплитуда колебаний уменьшается в "e" раз.

3. Добротность **Q** характеризует относительную убыль энергии в процессе колебаний:

$$Q = 2\pi \frac{\text{запасённая энергия}}{\text{энергия, теряемая за период}} = 2\pi \frac{W_{\text{зан}}}{W_{\text{тер}}}$$

Если к контуру подвести внешнюю ЭДС, то решение уравнения (1) равно сумме общего решения однородного уравнения (описывающие свободные колебания в контуре) и частного решения неоднородного (описывающего вынужденные колебания в контуре). Так как свободные колебания носят затухающий характер, то ими можно пренебречь и считать, что в контуре существуют лишь вынужденные колебания, описываемые

$$\text{формулой: } q = \frac{E_{\text{зм}}}{\omega R} \sin \omega t$$

Амплитудно-частотная характеристика последовательного колебательного контура приведена на рис.3. Среди ЭДС одинаковых амплитуд, но не одинаковых частот, наибольший ток создает та, для которой величина расстройки наименьшая. Иными

словами, из всех ЭДС, действующих на контур, последний “избирает” некоторый, вполне определенный спектр частот. Это свойство контура называется частотной избирательностью.

Избирательные свойства колебательного контура определяются шириной его резонансной характеристики

Диапазон частот, пропускаемых контуром, характеризуют полосой пропускания контура - областью частот, в пределах которой амплитуда колебаний тока (или напряжения) уменьшается менее чем в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с резонансом. Это соответствует уменьшению мощности при резонансе в $(\sqrt{2})^2 = 2$ раза, т.е.

$$\frac{I_m}{I_{mp}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$$

Полоса пропускания контура определяется равенством:

$$2\Delta f = \frac{f_0}{Q}$$

Влияние добротности контура на полосу пропускания отражено на амплитудно-частотной характеристике (рис. 3).

При добротности контура Q_2 амплитудно-частотная характеристика менее острая, чем при более высокой добротности Q_1 и поэтому полоса пропускания контур $2\Delta f_2$ с добротностью Q_2 шире, чем полоса пропускания контура $2\Delta f_1$ с добротностью Q_1 .

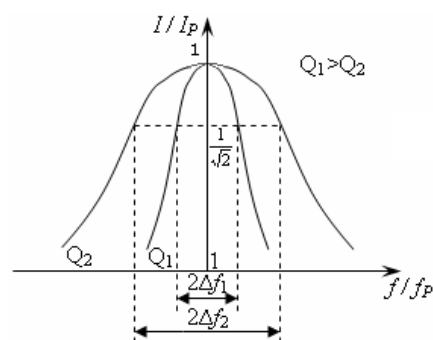


Рис.3.

Оборудование и материалы:

1. генератор многофункциональный SDG-1025
2. осциллограф GDS-71042
3. Стенд для изучения колебательного контура
4. Осциллографические пробники HP-9060.

Задание 1.

Ознакомьтесь с оборудованием, используемым для снятия частотной характеристики одиночного колебательного контура. Соберите схему по рис.4 без дополнительного сопротивления, найдите резонансную частоту и снимите частотную характеристику контура.

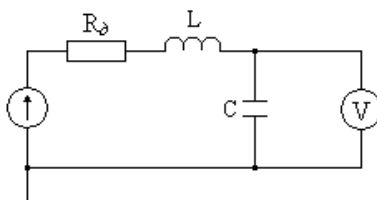


рис.4

Для этого установите на выходе многофункционального генератора SDG-1025 напряжение $1В$ и все время поддерживайте его постоянным. Для измерения напряжения на конденсаторе используйте осциллограф GDS-71042. Для построения резонансной характеристики контура необходимо произвести 8-10 измерений до резонанса и столько же после. Вблизи резонанса частоту генератора надо изменять через малые интервалы. Постройте амплитудно-частотную характеристику контура.

$$Q_1 = \frac{\rho}{R} \quad (4)$$

Полученные данные занести в таблицу 1:

Таблица 1.

$f_{кгц}$	U_C	U_C / U_{Pez}	f / f_{Pez}	R_δ	Z_K
-----------	-------	-----------------	---------------	------------	-------

По результатам измерения построить три резонансные кривые в одной системе координат

$$U_C / U_{Pez} = \varphi_1 \left(f / f_{Pez} \right), Z_K = \varphi_2 \left(f / f_{Pez} \right)$$

Рассчитать основные параметры контура при резонансе и результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2.

Q	R	d	δ	$2\Delta f$	L	C	R_δ
-----	-----	-----	----------	-------------	-----	-----	------------

Рассчитайте период колебаний по формуле: $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Зная период колебаний, найдите резонансную частоту контура. Полученные результаты сравнить с экспериментальными результатами.

Задание 2.

Соберите схему (рис.4) с другим конденсатором. Снимите резонансную кривую контура. Выясните, как влияет величина емкости на параметры контура. Полученные результаты занесите в таблицу 2. Постройте резонансную кривую.

Содержание отчета

Представить:

- амплитудно-частотные характеристики последовательного колебательного контура при различных значениях номиналов отдельных емкостей и добавочных сопротивлений.
- определить полосу пропускания контура при различных значениях номиналов отдельных элементов схем.
- рассчитанные параметры контура: добротность, активное сопротивление, коэффициент затухания, логарифмический декремент затухания, индуктивность, полосу пропускания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- Какие особенности работы и основные соотношения для:
 - Идеального колебательного контура?
 - Последовательного контура с сосредоточенными параметрами?
 - Параллельного контура?
 - Связанных контуров?
- Какие существуют параметры контура? Их физический смысл. В каких единицах они измеряются?
- Что называется полосой пропускания контура?
- Как графически определить полосу пропускания контура?

5. От чего зависит острота резонансной кривой контура?
6. Какая связь называется критической? слабой? больше критической?
7. Физический смысл коэффициента связи.
8. Чему равны частоты связи?
9. Чему равна полоса пропускания связанных контуров при слабой связи? критической связи? оптимальная полоса пропускания?
10. Фильтрующие свойства последовательного контура (схема и частотные характеристики).
11. Фильтрующие свойства параллельного колебательного контура (схема и частотные характеристики).

Тестовые задания

1. Полоса пропускания последовательного контура, при $f_0 = 460 \text{ кГц}$, $\theta = 46$
 - 1). 50 кГц
 - 2). 20 кГц;
 - 3). 10 кГц;
 - 4). 30 кГц.
2. Полоса пропускания последовательного контура, при $f_0 = 1000 \text{ кГц}$, $\theta = 50$
 - 1). 50 кГц
 - 2). 20 кГц;
 - 3). 10 кГц;
 - 4). 30 кГц.
3. Полоса пропускания последовательного контура, при $f_0 = 1200 \text{ кГц}$, $\theta = 40$
 - 1). 50 кГц
 - 2). 20 кГц;
 - 3). 10 кГц;
 - 4). 30 кГц.
4. Собственная частота f_0 последовательного колебательного контура, при $C=800 \text{ пФ}$, $L=0,2 \text{ мГн}$
 - 1). 398 кГц;
 - 2). 400 кГц;
 - 3). 796 кГц;
 - 4). 600 кГц.
5. Собственная частота f_0 последовательного колебательного контура, при $C=400 \text{ пФ}$, $L=0,1 \text{ мГн}$
 - 1). 398 кГц;
 - 2). 400 кГц;
 - 3). 796 кГц;
 - 4). 600 кГц.
6. Коэффициент затухания δ контура с индуктивностью, при $L=80 \text{ мкГн}$, $R=12 \text{ Ом}$.
 - 1). $7,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 2). $15 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 3). $30 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 4). $60 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$.
7. Коэффициент затухания δ контура с индуктивностью, при $L=40 \text{ мкГн}$, $R=12 \text{ Ом}$.
 - 1). $7,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 2). $15 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 3). $30 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 4). $60 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$
8. Коэффициент затухания δ контура с индуктивностью, при $L=20 \text{ мкГн}$, $R=12 \text{ Ом}$.
 - 1). $7,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 2). $15 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 3). $30 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 4). $60 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$
9. Коэффициент затухания δ контура с индуктивностью, при $L=10 \text{ мкГн}$, $R=12 \text{ Ом}$.
 - 1). $7,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 2). $15 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 3). $30 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$;
 - 4). $60 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$.
10. Индуктивность контура с резистором $R=6 \text{ Ом}$ и коэффициентом затухания $\delta = 7,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$
 - 1). 40 мкГн;
 - 2). 80 мкГн;
 - 3). 20 мкГн;
 - 4). 10 мкГн.
11. Индуктивность контура с резистором $R=16 \text{ Ом}$ и коэффициентом затухания $\delta = 10^5 \text{ с}^{-1}$
 - 1). 40 мкГн;
 - 2). 80 мкГн;
 - 3). 20 мкГн;
 - 4). 10 мкГн.
12. Индуктивность контура с резистором $R=8 \text{ Ом}$ и коэффициентом затухания $\delta = 2 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$
 - 1). 20 мкГн;
 - 2). 40 мкГн;
 - 3). 80 мкГн;
 - 4). 10 мкГн.
13. Индуктивность контура с резистором $R=6 \text{ Ом}$ и коэффициентом затухания $\delta = 3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$

- 1). 20мкГн; 2). 40мкГн; 3). 80мкГн; 4). 10мкГн.

14. Коэффициент затухания

- 1). $\frac{1}{\tau}$; 2). $\frac{1}{N}$; 3). $\frac{f_0}{Q}$; 4). $\frac{\pi}{d}$.

15. Логарифмический декремент затухания

- 1). $\frac{1}{\tau}$; 2). $\frac{1}{N}$; 3). $\frac{f_0}{Q}$; 4). $\frac{\pi}{d}$.

16. Добротность контура

- 1). $\frac{1}{\tau}$; 2). $\frac{1}{N}$; 3). $\frac{f_0}{Q}$; 4). $\frac{\pi}{d}$.

17. Полоса пропускания контура

- 1). $\frac{1}{\tau}$; 2). $\frac{1}{N}$; 3). $\frac{f_0}{Q}$; 4). $\frac{\pi}{d}$.

18. Добротность контура Q при логарифмическом декременте затухания $d = 10^{-2}$

- 1). 314; 2). 628; 3)100; 4)200.

19. Добротность контура Q при логарифмическом декременте затухания $d = 3,14 \cdot 10^{-2}$

- 1). 314; 2). 628; 3)100; 4)200.

20. Добротность контура Q при логарифмическом декременте затухания $d = 5 \cdot 10^{-2}$

- 1). 314; 2). 628; 3)100; 4)200.

21. Добротность контура Q при логарифмическом декременте затухания $d = 1,57 \cdot 10^{-2}$

- 1). 314; 2). 628; 3)100; 4)200.

22. Логарифмический декремент затухания d при добротности контура $Q=200$ при

- 1) $1,57 \cdot 10^{-2}$; 2) $5 \cdot 10^{-2}$; 3) $3,14 \cdot 10^{-2}$; 4) 10^{-2} .

23. Логарифмический декремент затухания d при добротности контура $Q=628$ при

- 1) $1,57 \cdot 10^{-2}$; 2) $5 \cdot 10^{-2}$; 3) $3,14 \cdot 10^{-2}$; 4) 10^{-2} .

24. Логарифмический декремент затухания d при добротности контура $Q=100$ при

- 1) $1,57 \cdot 10^{-2}$; 2) $5 \cdot 10^{-2}$; 3) $3,14 \cdot 10^{-2}$; 4) 10^{-2} .

25. Логарифмический декремент затухания d при добротности контура $Q=314$ при

- 1) $1,57 \cdot 10^{-2}$; 2) $5 \cdot 10^{-2}$; 3) $3,14 \cdot 10^{-2}$; 4) 10^{-2} .

Список литературы

Основная:1, 2

Дополнительная 2.

Учебно-методическая 1, 2

Лабораторная работа №2

Антенны

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию устройств передачи информации с помощью электромагнитных волн.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать принцип приема и передачи электромагнитных колебаний, характер процессов, происходящих в передающей и приемной антеннах, типы антенн и их характеристики (ПК-1, ПК-3)
- уметь использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач, собирать электрические схемы, применять основные методы анализа электрических цепей (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность изучить свойства и варианты конструкций вибраторных антенн. Изучить устройство, принцип работы, характеристики и параметры рупорных антенн. Получить навыки в измерении диаграммы направленности и КНД антенны. Освоить методику расчета и измерения основных параметров антенн.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо выяснить назначение и классификацию антенн, дать определение их характеристикам и параметрам.

Антенной называется устройство, осуществляющее преобразование направленных электромагнитных волн в радиоволны с заданной плотностью распределения энергии по пространственным углам и обратно.

Передающая антенна предназначена для преобразования энергии радиосигнала, имеющего форму связанных электромагнитных волн, в энергию радиосигнала, принимающего форму свободных электромагнитных волн, излучаемых в заданных направлениях.

Приемная антенна предназначена для преобразования энергии радиосигнала, заключенной в свободных электромагнитных волнах, которые приходят с заданных направлений, в энергию радиосигнала, принимающих форму связанных электромагнитных волн.

Характер процессов, происходящих в передающей и приемной антеннах, свидетельствует об их обратимости.

Характеристикой качества приема сигналов является отношение сигнал/шум. Поскольку антенна обладает пространственной избирательностью, что способствует повышению уровня сигнала на входе приемника, а значит, и повышению отношения сигнал/шум. Так как шумы входных каскадов приемника в большинстве случаев меньше тепловых шумов антенны, то повысить отношение сигнал/шум можно только за счет улучшения направленных свойств антенны. Поэтому характеристикам и параметрам антенн в настоящее время уделяется существенное внимание.

Антенны принято классифицировать как по диапазонам излучаемых волн, так и по типу излучающих элементов

Для метровых и более длинных волн антенны выполняются из проводников, диаметр которых намного меньше длины волны. Такие антенны называются линейными антеннами. К линейным антеннам относятся также и щелевые антенны, образуемые

совокупностью узких щелей в стенках волноводов и работающие главным образом в сантиметровом диапазоне волн.

В диапазоне дециметровых и сантиметровых волн находят применение апертурные антенны, имеющие проводящие металлические поверхности, размеры которых существенно превышают рабочую длину волны

Антенну можно представить как открытый колебательный контур. В этом контуре электрическое поле сосредоточено в небольшом зазоре между обкладками конденсатора, а магнитное поле охватывает небольшое пространство вокруг контурной катушки. Условия излучения выполняются в открытом колебательном контуре, к которому можно перейти от замкнутого, раздвигая пластины конденсатора и одновременно увеличивая их размеры для сохранения неизменной собственной частоты контура.

Антенна, полученная в результате такого схематично описанного перехода от замкнутого колебательного контура к открытому, отличается геометрической симметрией и потому называется симметричным вибратором (диполем).

Одним из параметров антенны является сопротивление излучения. Этот параметр связан по смыслу с мощностью излучения антенны, сопротивление излучения элементарного вибратора пропорционально квадрату отношения длины вибратора к длине волны.

Всякая антенна обладает направленностью действия: в одних направлениях она излучает и не принимает, а в других хуже либо вовсе не излучает и не принимает.

Направленность действия, кроме коэффициента направленного действия, характеризуется диаграммами, или характеристиками направленности.

Диаграммой, или характеристикой, направленности называется кривая, показывающая зависимость относительных значений напряженности поля или излучаемой мощности, создаваемой антенной в равноудаленных от нее точках, от угловых координат, определяющих направление на эти точки:

$$E = f(\varphi, \varepsilon) \quad \text{или} \quad P_{\Sigma} = f^2(\varphi, \varepsilon)$$

По форме диаграммы направленности можно делить антенны на ненаправленные – кругового излучения в данной плоскости и направленные – излучающие преимущественно в каком-либо определенном направлении. Диаграмма направленности, построенная в полярной системе координат, наглядно показывает относительное распределение поля или мощности по отдельным направлениям.

Вибраторные антенны используются в диапазоне миллиметровых, сантиметровых, дециметровых, метровых волн и в более длинноволновых диапазонах волн. Они представляют собой прямолинейные проводники, возбуждаемые в определенных точках. Вибраторные антенны в зависимости от конструкции имеют КНД от нескольких единиц до десятков тысяч и применяются в системах радиосвязи, радионавигации, телевидении, телеметрии и других областях радиотехники.

К параметрам вибраторов относится коэффициент направленного действия в направлении $\theta = 0$, сопротивление излучения, которое зависит от соотношения между размерами антенны и длиной волны, формы антенны, расположения вблизи других вибраторов и других факторов.

Антенна «волновой канал» состоит из активного полупроводникового вибратора, соединенного с передатчиком или приемником, и ряда пассивных вибраторов. Все они расположены в одной горизонтальной плоскости. Пассивный вибратор, называемый

рефлектором, находится по одну сторону, а другие вибраторы называемыми директорами, - по другую сторону от активного вибратора. Эти системы вибраторов обеспечивают направленное излучение от рефлектора к директорам. При этом достигается увеличение коэффициента направленного действия. Такая антенна широко используется в различных областях радиосвязи в диапазоне УКВ. Апертурная антенна – это антенна, излучающая с раскрыва, т. е. воображаемой поверхности, отделяющей внутреннюю полость антенны от внешнего пространства. Примерами таких антенн являются рупорная, зеркальная, линзовая и другие типы антенн. Элементарным излучателем в них является элемент Гюйгенса.

Рупорные и рупорно-линзовые антенны находят применение в миллиметровом, сантиметровом и дециметровом диапазонах волн как самостоятельные антенны, как облучатели линз и зеркал и как элементы фазированных антенных решеток (ФАР). Они обладают следующими достоинствами: простота конструкции, высокий КПД; хорошее согласование с питающим фидером; широкополосность

Широкодиапазонность спиральной антенны основана на том, что если отношение линейных размеров излучателя к длине волны остается постоянным и излучающая структура полностью определяется ее полярными углами, то направленность антенны оказывается абсолютно независимой от частоты.

Двухзаходная спираль образуется двумя проводниками или щелями, но в отличие от архимедовой спиральной антенны толщина их непостоянна и возрастает с увеличением угла ϕ . Логарифмическая спираль работает в режиме бегущих волн (вследствие излучения ток затухает к концу спирали), ее входное сопротивление 60-180 Ом.

Оборудование и материалы

1. Обучающие комплекты АКИП-9504: передающие и приемные поворотные устройства, управляющее ВЧ устройств
2. Подключающие кабели
3. Комплект антенн
4. Комплект держателей
5. Диск с ПО для управления контроллером

Задание 1:

Структурная схема лабораторной установки для измерения характеристик и параметров антенн показана на рис. 16. Источником высокочастотного сигнала для исследуемых антенн 3 является генератор 1 с перестройкой по частоте в диапазоне 200–800 МГц с подключенной к нему вспомогательной передающей антенной 2 (широкополосная логопериодическая антенна дециметрового диапазона).

Принятый исследуемой антенной 3 сигнал подается на коаксиальную детекторную секцию 4. Индикаторный прибор, подключенный к выходу детекторной секции, представляет собой многопредельный микроамперметр постоянного тока, снабженный системой блокировки («арретир»).

Поскольку вольт-амперная характеристика детектора близка к квадратичной (если ток детектора не превышает величину 20...25 μ А), сигнал на индикаторном приборе пропорционален квадрату напряженности электрического поля в приемной антенне.

В данной лабораторной работе исследуются следующие варианты антенн:

1. -Рупорная антенна

2. -Микрополосковые антенны
3. -Штыревая антенна
4. -Рамочная антенна
5. -Плоская спиральная антенна
6. -Волновой канал

Задание 2:

Для каждого варианта антенн снять диаграммы направленности, пользуясь программой обеспечения для управления контроллером:

- а) Нажать Data Acquisition
- б) в окне Port Selection нажать на кнопку COM 2
- в) в окне Antenna Type установить тип исследуемой антенны
- г) на контроллере установить шнур в гнездо соответствующие частоте излучения сигналов и нажать клавишу управления данной частоты
- д) в окне Reduction (dB) установить 20 dB
- е) в окне Select Plane установить E Plane и произвести измерения, а затем установить H Plane
- ж) для начала измерения нажмите кнопку Auto

Задание 3:

- а) Зарисовать диаграммы направленности для E Plane и для H Plane
- б) Нажатием Save сохранить результаты измерения, нажатием Exit закрыть окно Data Acquisition
- в) В окне Antenna Trainer нажать File→Open, выбрать сохраненный файл
- г) В окне Antenna Trainer нажать View→Rectangular Coordinates
- д) Зарисовать диаграмму направленности антенны в прямоугольной системе координат
- е) Определить ширину диаграммы направленности антенны по углу раствора θ_0 между двумя радиус-векторами, соответствующими половинному значению максимальной мощности, излучаемой в главном направлении.

Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Структурная схема измерительной установки с указанием использованных измерительных приборов.
3. Перечень исследуемых антенн,
4. Экспериментальные результаты исследования характеристик антенн, сведенные в таблицы.
5. Нормированные диаграммы направленности всех исследованных антенн, построенные в полярной и прямоугольной системах координат. Другие характеристики и параметры антенн, полученные экспериментальным и расчетным путем.
6. Выводы по всем пунктам проделанной работы, дающие оценку полученным результатам и возможным погрешностям измерений.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные характеристики и параметры антенн? Дайте им определение, назовите физический смысл.

2. Каковы конструкция линейного симметричного вибратора, его принцип работы, области применения?
3. Каким образом распределяются токи в плечах линейного симметричного вибратора произвольной длины?
4. Приведите диаграмму направленности линейного вибратора в плоскостях Е и Н. Как зависит ДН от длины вибратора?
5. Чему равен коэффициент направленного действия линейных симметричных вибраторов? Как зависит КНД от длины вибратора.
6. Каково сопротивление излучения вибратора?
7. Какая зависимость активной и реактивной составляющих входного сопротивления линейного симметричного вибратора от волновой длины?
8. Установите зависимость волнового сопротивления вибратора от его геометрических размеров.
9. Какой принцип работы полуволнового вибратора с линейным рефлектором?
10. Каково устройство и принцип работы директорной антенны? Какая зависимость ширины главного лепестка диаграммы направленности и КНД директорной антенны от числа директоров?
11. Какой вид питания симметричных вибраторов? Какие типы симметрирующих устройств, их принцип работы, достоинства и недостатки, области применения?
12. Каковы конструкции и принцип работы рупорных антенн?
13. Приведите диаграмму направленности пирамидального рупора.
14. Каковы направленные свойства секторальных и конических рупоров?
15. Какие способы коррекции фазовых ошибок на раскрыве рупора?
16. Каковы области применения, достоинства и недостатки рупорных антенн?
17. Какие конструкции и принцип работы равноугольной (логарифмической) спиральной антенны?
18. Какие цепи называются с распределенными параметрами?
19. Запишите волновое уравнение и его решение. Какие волны называются прямыми и обратными?
20. Какая нагрузка называется согласованной?
21. Чем характеризуется степень согласованности линии с нагрузкой?
22. Как определить коэффициенты бегущей и стоячей волн? Как они связаны с коэффициентом отражения?
23. Как зависят свойства короткозамкнутой линии от ее длины?

Список литературы

Основная: 1, 2, 4
 Дополнительная 2, 3
 Учебно-методическая 1, 3

Лабораторная работа №3 **Изучение диодов и выпрямительных схем**

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию вопросов изучения полупроводниковых приборов и их применения.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать физические процессы, протекающие в полупроводниковых приборах, принцип работы и их применение (ПК-1, ПК-3)
- уметь использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач, собирать электрические схемы, применять основные методы анализа электрических цепей (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3)

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность изучить устройство и принципа действия диодов, физических процессов, протекающих в них; типы электропроводности, создание электронно-дырочного перехода; выпрямительные схемы, фильтры; формирование умений и навыков, применение их на практике, развитие логического мышления; приобретения навыков самостоятельной работы.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо дать определение выпрямительным устройствам, предназначенным для преобразования переменного тока в пульсирующий. Выпрямление переменного тока осуществляется при помощи электрических вентилях - приборов, которые в силу своих физических свойств проводят электрический ток в одном направлении значительно лучше, чем в другом. По характеру межэлектродного пространства все электрические вентиля делятся на три группы:

1. Вакуумные, или электронные.
2. Газонаполненные, или ионные.
3. Твёрдые, или полупроводниковые.

Режим работы и технические параметры электрических вентилях должны быть согласованы с заданными условиями работы потребителей постоянного тока

В структуру выпрямительного устройства входит:

1. Трансформатор для преобразования напряжения, а в некоторых случаях и числа фаз переменного тока.
2. Один или несколько электрических вентилях, посредством которых электрический ток преобразуется в пульсирующий.
3. Фильтр для сглаживания пульсаций

Описываются устройство и принцип действия следующих схем выпрямителей: однофазной однополупериодной, однофазной двухполупериодной, однофазной мостовой схемы, выпрямителя с удвоением напряжения, трёхфазной схемы выпрямления.

Недостатками однополупериодной схемы являются:

1. Значительная величина амплитуды тока через вентиль $I_{2m} = \pi I_0$.
2. Низкое использование трансформатора и подмагничивание сердечника трансформатора постоянной составляющей тока I_0 .

3. Большой коэффициент пульсаций ($K=1,57$); частота пульсаций выпрямленного напряжения равна частоте сети $f_n = f_c$

4. Громоздкость сглаживающих фильтров.

5. Большое обратное напряжение.

Основным преимуществом схемы является её простота.

Достоинства двухполупериодной схемы по сравнению с однополупериодной:

1. Амплитудное значение тока через клапан уменьшается вдвое.

2. Лучшее использование трансформатора и отсутствие намагничивания сердечника, так как токи во вторичной обмотке трансформатора текут в разных направлениях.

3. Уменьшается размер фильтра вследствие уменьшения более чем в два раза коэффициента пульсации ($K=0,67$, $f_n = 2 f_{сети}$).

По величине $U_{обр}$, приходящегося на один клапан, обе схемы равноценны.

Недостатки схемы: необходимость вывода средней точки вторичной обмотки трансформатора и наличие в схеме двух клапанов

Двухполупериодное выпрямление может быть осуществлено также при помощи однофазной мостовой схемы выпрямления. Однофазная мостовая схема имеет следующие преимущества перед двухполупериодной схемой:

1. Напряжение на зажимах вторичной обмотки вдвое меньше.

2. Обратное напряжение $U_{обр}$, приходящееся на один клапан в 2 раза меньше

3. Лучшее использование трансформатора.

4. Если действующее напряжение на зажимах вторичной обмотке трансформатора равно напряжению сети $U_2 = U_{сети}$, то можно осуществлять выпрямление без трансформатора.

Для сглаживания пульсаций выпрямителя применяются сглаживающие фильтры.

Простейшими сглаживающими фильтрами являются фильтры, состоящие либо из одной индуктивности, включённой последовательно с нагрузкой, либо из одной ёмкости, включённой параллельно нагрузке.

Работа этих фильтров основана на накоплении энергии в магнитном поле катушки индуктивности или электрическом поле конденсатора во время увеличения напряжения U_0 на нагрузке R_H с последующей её отдачей в цепь. Для лучшего сглаживания пульсаций необходимо, чтобы индуктивное сопротивление дросселя было значительно больше, чем сопротивление нагрузки, а ёмкостное сопротивление конденсатора значительно меньше, чем сопротивление нагрузки,

Индуктивный фильтр обеспечивает хорошее сглаживание пульсаций при малых сопротивлениях нагрузки, т.е. при больших токах, поэтому его применяют главным образом, в мощных выпрямительных установках.

Ёмкостный фильтр обеспечивает хорошее сглаживание пульсаций при больших сопротивлениях нагрузки, т.е. при малых токах, поэтому его применяют, главным образом, в выпрямительных установках малой мощности.

Рассмотренные выше простейшие фильтры не могут обеспечивать хорошей фильтрации, поэтому на практике применяются различные схемы, в которых индуктивности и ёмкости используются вместе.

Наиболее простым является Г-образный фильтр, изображённый П-образный

фильтр, который можно рассматривать как сочетание двух простых фильтров: ёмкостного, состоящего из конденсатора C_1 и Г-образного, состоящего из дросселя L и конденсатора C_2 . В тех случаях, когда необходимо получить низкий коэффициент пульсаций, применяются сложные многосвязные фильтры, состоящие из нескольких последовательно соединенных Г-образных звеньев.

Оборудование и материалы

1. Стенд для изучения однофазных выпрямительных схем.
2. Стенд для изучения трехфазного выпрямителя.
3. Низкочастотные диоды.
4. Соединительные провода.
5. Осциллограф АСК-21060.
6. Осциллографические пробники НР-9060.

Задание 1.

Изучите стенд для сборки различных схем выпрямителей. Соберите на стенде схему однополупериодного выпрямителя без фильтра. Соедините клеммы выхода выпрямителя с вертикальным входом осциллографа. Меняя усиление по вертикали, доведите размах электронного луча до 5 - 6 см. (конденсаторы C_1 и C_2 и дроссель L отключены). К сопротивлению нагрузки подведено напряжение U . Осциллограмму зарисуйте.

а.) Соберите на стенде схему однополупериодного выпрямителя, подключите емкостный фильтр, затем индуктивный, Г-образный (C_1L), П-образный (C_1LC_2). В каждом случае зарисовывайте осциллограмму. Сделайте сравнение осциллограмм выпрямленного тока с включенными фильтрами и без фильтров.

Задание 2.

Соберите на стенде схему двухполупериодного однотактного выпрямителя. Получите те же осциллограммы, что и в предыдущем задании: работа выпрямителя без фильтра, с С-фильтром, с L-фильтром, с Г-образным и П-образным фильтрами. Зарисуйте их.

Задание 3.

Соберите на стенде схему с удвоением напряжения без фильтра. Включите сопротивление нагрузки $2,15\text{ кОм}$, и затем $4,3\text{ кОм}$. Измерьте напряжение на выходе и сравните, их в обоих случаях. Отключив, сопротивление нагрузки, измерьте напряжения U_2 , U_{C1} , U_{C2} , $U_{\text{вых}}$. Проверьте соотношение напряжений.

Задание 4.

Соберите мостовую схему выпрямителя. Прodelайте то же, что и в задании 2. Сравните полученные результаты.

Задание 5.

Соберите схему трёхфазного выпрямителя. В качестве нагрузки включите реостат.

Подключив осциллограф, проверьте частоту пульсаций выпрямленного тока

Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Представить осциллограммы схем выпрямителей: однотактной однополупериодной, двухполупериодной однотактной, однофазной мостовой, выпрямителя с удвоением напряжения, трехфазной мостовой.
3. Представить осциллограммы схем с фильтрами: емкостным, индуктивным, Г-образным, П-образным.

4. Сделать выводы по всем пунктам проделанной работы, дающие оценку по полученным результатам и возможным погрешностям измерений.

Вопросы

1. Охарактеризуйте работу каждого из рассмотренных видов выпрямителей.
2. Как работает полупроводниковый вентиль?
3. Чему равно обратное напряжение для различных схем выпрямителей?
4. Что такое схема с удвоением напряжения? Как она работает?
5. Как работает трёхфазный выпрямитель?
6. Что надо понимать под частотой пульсаций постоянной составляющей?
7. Как зависит частота пульсаций выпрямленного тока от выбранной схемы?
8. Что такое коэффициент пульсаций?
9. В чем заключается физический процесс выпрямления напряжения?

Тестовые задания

1. Основные характеристики однополупериодной схемы выпрямителя:

- 1) $U_0 = 1,65U_{\phi m}$, $U_{обр} = 1,045U_0$, $\varepsilon = 0,057$, $f_n = 6f_c$
- 2) $I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \frac{\pi}{2}U_0$, $\varepsilon = 0,67$, $S_{TP} = 1,23S_0$, $f_n = 2f_c$;
- 3) $I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \pi U_0$, $\varepsilon = 0,67$, $S_{TP} = 1,48S_0$, $f_n = 2f_c$;
- 4) $U_0 = 0,827U_{\phi m}$, $U_{обр} = 2,09U_0$, $\varepsilon = 0,25$, $f_n = 3f_c$;
- 5) $I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \pi U_0$, $\varepsilon = 1,57$, $S_{TP} = 3,09S_0$, $f_n = f_c$;

2. Основные характеристики двухполупериодной схемы выпрямителя:

- 1) $U_0 = 0,827U_{\phi m}$, $U_{обр} = 2,09U_0$, $\varepsilon = 0,25$, $f_n = 3f_c$;
- 2) $I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \pi U_0$, $\varepsilon = 1,57$, $S_{TP} = 3,09S_0$, $f_n = f_c$;
- 3) $I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \pi U_0$, $\varepsilon = 0,67$, $S_{TP} = 1,48S_0$, $f_n = 2f_c$;
- 4) $U_0 = 1,65U_{\phi m}$, $U_{обр} = 1,045U_0$, $\varepsilon = 0,057$, $f_n = 6f_c$
- 5) $I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \frac{\pi}{2}U_0$, $\varepsilon = 0,67$, $S_{TP} = 1,23S_0$, $f_n = 2f_c$;

3. Основные характеристики однофазной мостовой схемы выпрямителя:

- 1) $I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \pi U_0$, $\varepsilon = 0,67$, $S_{TP} = 1,48S_0$, $f_n = 2f_c$;
- 2) $I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \pi U_0$, $\varepsilon = 1,57$, $S_{TP} = 3,09S_0$, $f_n = f_c$;
- 3) $U_0 = 0,827U_{\phi m}$, $U_{обр} = 2,09U_0$, $\varepsilon = 0,25$, $f_n = 3f_c$;
- 4) $I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}$, $U_{обр} = \frac{\pi}{2}U_0$, $\varepsilon = 0,67$, $S_{TP} = 1,23S_0$, $f_n = 2f_c$;

$$5) U_0 = 1,65U_{\phi m}, \quad U_{O\delta p} = 1,045U_0, \quad \varepsilon = 0,057, \quad f_n = 6f_c;$$

4. Основные характеристики трёхфазной схемы выпрямителя с выводом нулевой точки:

$$1) I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}, \quad U_{O\delta p} = \pi U_0, \quad \varepsilon = 1,57, \quad S_{TP} = 3,09S_0, \quad f_n = f_c;$$

$$2) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad U_{O\delta p} = \pi U_0, \quad \varepsilon = 0,67, \quad S_{TP} = 1,48S_0, \quad f_n = 2f_c;$$

$$3) U_0 = 0,827U_{\phi m}, \quad U_{O\delta p} = 2,09U_0, \quad \varepsilon = 0,25, \quad f_n = 3f_c;$$

$$4) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad U_{O\delta p} = \frac{\pi}{2}U_0, \quad \varepsilon = 0,67, \quad S_{TP} = 1,23S_0, \quad f_n = 2f_c;$$

$$5) U_0 = 1,65U_{\phi m}, \quad U_{O\delta p} = 1,045U_0, \quad \varepsilon = 0,057, \quad f_n = 6f_c$$

5. Основные характеристики трёхфазной мостовой схемы выпрямителя:

$$1) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad U_{O\delta p} = \frac{\pi}{2}U_0, \quad \varepsilon = 0,67, \quad S_{TP} = 1,23S_0, \quad f_n = 2f_c;$$

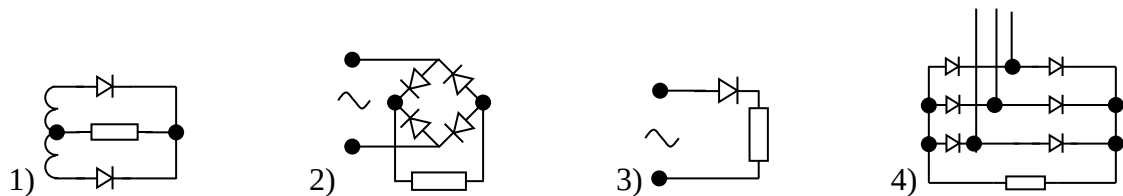
$$2) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad U_{O\delta p} = \pi U_0, \quad \varepsilon = 0,67, \quad S_{TP} = 1,48S_0, \quad f_n = 2f_c;$$

$$3) U_0 = 0,827U_{\phi m}, \quad U_{O\delta p} = 2,09U_0, \quad \varepsilon = 0,25, \quad f_n = 3f_c;$$

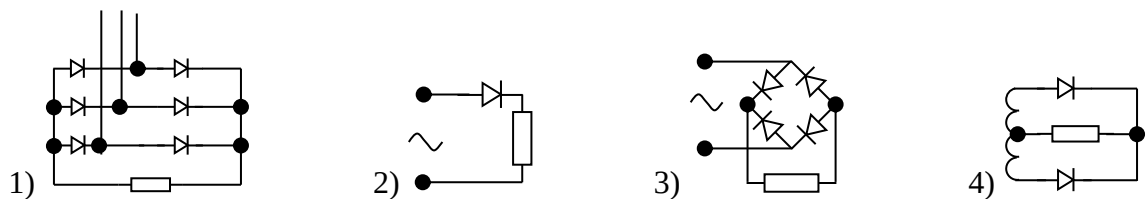
$$4) I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}, \quad U_{O\delta p} = \pi U_0, \quad \varepsilon = 1,57, \quad S_{TP} = 3,09S_0, \quad f_n = f_c;$$

$$5) U_0 = 1,65U_{\phi m}, \quad U_{O\delta p} = 1,045U_0, \quad \varepsilon = 0,057, \quad f_n = 6f_c$$

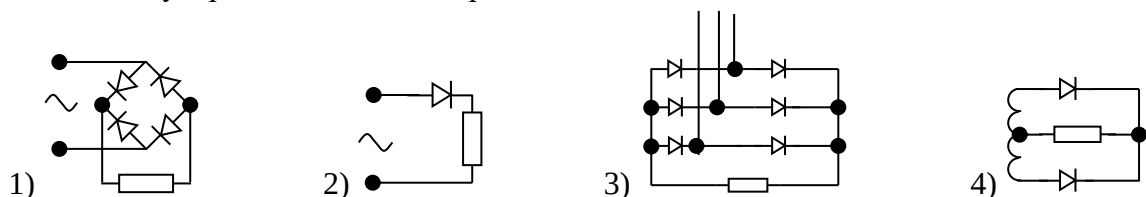
6. Однофазная мостовая схема выпрямителя



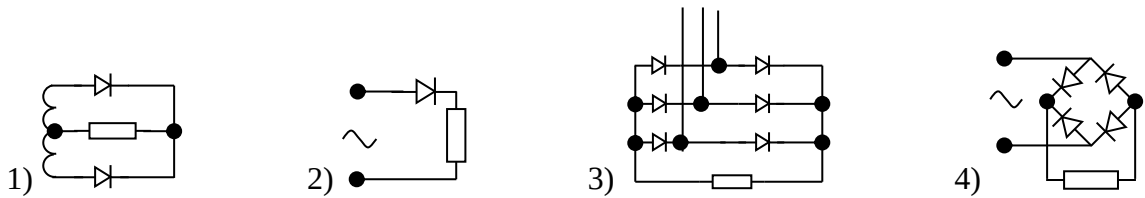
7. Двухполупериодная схема выпрямителя



8. Однополупериодная схема выпрямителя



9. Трёхфазная мостовая схема выпрямителя



10. Однополупериодная схема выпрямителя характеризуется

$$1) I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 1,57, \quad f_n = f_c \quad 2) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad f_n = 2f_c$$

$$3) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0 \quad 4) U_0 = 0,827U_{\phi m}, \quad \varepsilon = 0,25, \quad f_n = 3f_c$$

11. Однополупериодная схема выпрямителя характеризуется

$$1) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad f_n = 2f_c \quad 2) I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 1,57, \quad f_n = f_c$$

$$3) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0 \quad 4) U_0 = 0,827U_{\phi m}, \quad \varepsilon = 0,25, \quad f_n = 3f_c$$

12. Однофазная мостовая схема выпрямителя характеризуется

$$1) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0 \quad 2) I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 1,57, \quad f_n = f_c$$

$$3) U_0 = 0,827U_{\phi m}, \quad \varepsilon = 0,25, \quad f_n = 3f_c \quad 4) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad f_n = 2f_c$$

13. Трёхфазная схема выпрямителя характеризуется

$$1) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0 \quad 2) I_0 = \frac{2I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 0,67, \quad f_n = 2f_c$$

$$3) U_0 = 0,827U_{\phi m}, \quad \varepsilon = 0,25, \quad f_n = 3f_c \quad 4) I_0 = \frac{I_{2m}}{\pi}, \quad \varepsilon = 1,57, \quad f_n = f_c$$

14. Однополупериодная схема выпрямителя характеризуется

$$1) U_{обр} = \pi U_0, \quad S_{TP} = 1,48S_0, \quad f_n = 2f_c \quad 2) U_{обр} = \pi U_0, \quad \varepsilon = 1,57, \quad S_{TP} = 3,09S_0$$

$$3) U_0 = 1,65U_{\phi m}, \quad \varepsilon = 0,057, \quad f_n = 6f_c \quad 4) U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0, \quad \varepsilon = 0,67, \quad S_{TP} = 1,23S_0$$

15. Двухполупериодная схема выпрямителя характеризуется

$$1) U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0, \quad \varepsilon = 0,67, \quad S_{TP} = 1,23S_0 \quad 2) U_{обр} = \pi U_0, \quad \varepsilon = 1,57, \quad S_{TP} = 3,09S_0$$

$$3) U_0 = 1,65U_{\phi m}, \quad \varepsilon = 0,057, \quad f_n = 6f_c \quad 4) U_{обр} = \pi U_0, \quad S_{TP} = 1,48S_0, \quad f_n = 2f_c$$

16. Однофазная мостовая схема выпрямителя характеризуется

$$1) U_{обр} = \pi U_0, \quad S_{TP} = 1,48S_0, \quad f_n = 2f_c \quad 2) U_{обр} = \pi U_0, \quad \varepsilon = 1,57, \quad S_{TP} = 3,09S_0$$

$$3) U_0 = 1,65U_{\phi m}, \quad \varepsilon = 0,057, \quad f_n = 6f_c \quad 4) U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0, \quad \varepsilon = 0,67, \quad S_{TP} = 1,23S_0$$

17. Трёхфазная мостовая схема выпрямителя характеризуется

$$1) U_{обр} = \pi U_0, S_{TP} = 1,48 S_0, f_n = 2 f_c \quad 2) U_{обр} = \pi U_0, \varepsilon = 1,57, S_{TP} = 3,09 S_0$$

$$3) U_0 = 1,65 U_{фм}, \varepsilon = 0,057, f_n = 6 f_c \quad 4) U_{обр} = \frac{\pi}{2} U_0, \varepsilon = 0,67, S_{TP} = 1,23 S_0$$

18. В мостовой схеме выпрямителя среднее выпрямленное напряжение $U_0 = 350\text{В}$, а амплитудное напряжение:

- 1) 550 В; 2) 1100 В; 3) 314 В; 4) 434 В;

19. В однополупериодной схеме выпрямителя среднее выпрямленное напряжение $U_0 = 350\text{В}$, а амплитудное напряжение:

- 1) 550 В; 2) 1100 В; 3) 314 В; 4) 434 В;

20. В двухполупериодной схеме выпрямителя среднее выпрямленное напряжение $U_0 = 100\text{В}$, а амплитудное напряжение:

- 1) 550 В; 2) 1100 В; 3) 314 В; 4) 434 В;

21. В мостовой схеме выпрямителя максимальное напряжение $U_m = 550\text{В}$, а выпрямленное напряжение:

- 1) 550 В; 2) 1100 В; 3) 314 В; 4) 434 В;

22. В однополупериодной схеме выпрямителя амплитудное напряжение $U_m = 314\text{В}$, а выпрямленное напряжение:

- 1) 100 В; 2) 350 В; 3) 700 В; 4) 150 В;

23. В двухполупериодной схеме выпрямителя амплитудное напряжение

$U_m = 1100\text{В}$, а выпрямленное напряжение:

- 1) 100 В; 2) 350 В; 3) 700 В; 4) 150 В;

24. В мостовой схеме выпрямителя максимальное напряжение $U_m = 628\text{В}$, а выпрямленное напряжение:

- 1) 100 В; 2) 350 В; 3) 700 В; 4) 150 В;

25. В однополупериодной схеме выпрямителя мощность трансформатора

$S_{TP} = 309\text{ВА}$, а мощность нагрузки S_0 :

- 1) 100 В; 2) 200 В; 3) 300 В; 4) 500 В;

26. В двухполупериодной схеме выпрямителя мощность трансформатора

$S_{TP} = 300\text{ВА}$, а мощность нагрузки S_0 :

- 1) 100 В; 2) 200 В; 3) 300 В; 4) 500 В;

27. В мостовой схеме выпрямителя мощность трансформатора $S_{TP} = 370\text{ВА}$, а мощность нагрузки S_0 :

- 1) 100 В; 2) 200 В; 3) 300 В; 4) 500 В.

Список литературы

Основная: 1, 2, 3

Дополнительная 1, 2.

Учебно-методическая 2, 3

Лабораторная работа №4.

Биполярный транзистор

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию вопросов изучения полупроводниковых приборов.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать принцип работы транзисторов и физические процессы, протекающие в них (ПК-1, ПК-3)
- уметь использовать базовые элементы, собирать электрические схемы, применять основные методы анализа электрических цепей (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность научиться собирать схемы для проведения эксперимента, снимать и строить семейства входных и выходных характеристик биполярного транзистора для различных схем включения транзистора, по полученным результатам рассчитывать H - и Y - параметры

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо дать определение биполярного транзистора. Транзистором называется полупроводниковый прибор с электронно-дырочными переходами, предназначенный для усиления или генерирования электрических сигналов и имеющий три или более выходов. Транзисторы могут иметь разное число переходов между областями с различной электропроводностью. Наиболее распространенные транзисторы с двумя $p-n$ – переходами. Эти транзисторы называют биполярными, т.к. их работа основана на использовании носителей заряда обоих знаков. В зависимости от порядка чередования областей различают транзисторы типа $p-n-p$ и $n-p-n$. Принцип действия обоих типов транзисторов одинаков. В соответствии с тем, какой электрод является общим для входной и выходной цепи, различают три способа включения транзистора: с общей базой (**ОБ**), с общим эмиттером (**ОЭ**), с общим коллектором (**ОК**). Усилительный каскад, собранный по схеме с **ОБ** имеет лучшие частотные и температурные свойства, меньшие нелинейные искажения, но обладает малым входным сопротивлением (порядка десятков Ω) и большим выходным сопротивлением (порядка сотен $k\Omega$). Низкое входное сопротивление каскада с **ОБ** является его существенным недостатком. Схема с **ОБ** дает усиление по напряжению в 10 - 20 раз и такого же порядка усиление по мощности, т.к. коэффициент усиления по току α немного меньше единицы.

Входное сопротивление каскада с **ОЭ** значительно выше, чем входное сопротивление с **ОБ** и доходит до единиц $k\Omega$; выходное сопротивление схемы с **ОЭ** порядка десятков $k\Omega$. Это позволяет в многокаскадном усилителе на транзисторах, включенных по схеме с **ОЭ**, обойтись без согласующих устройств между каскадами. В схеме с **ОЭ** большой коэффициент усиления по току, порядка десятков, по напряжению от десятков до сотен, по мощности порядка сотен или тысяч или даже десятков тысяч. Схема с **ОЭ** широко используется в усилителях и импульсных устройствах, каскад по схеме с **ОЭ** при усилении превращает фазу напряжения.

Схема с **ОК** обладает большим входным, до десятков **кОм**, и малым выходным сопротивлением, менее единиц **кОм**, усилением по напряжению меньше 1 и сравнительно малым коэффициентом усиления по мощности. Коэффициент усиления по току имеет величину порядка десятков. Схема с **ОК** применяется в качестве согласующего каскада для нагрузки с малым сопротивлением.

Для расчета и анализа схем с полупроводниковыми триодами коэффициентов усиления по току недостаточно, т.к. они характеризуют только свойство транзистора усиливать ток. Транзистор, как элемент электрической цепи, может быть полностью охарактеризован лишь четырьмя параметрами. Параметры широко применяются на практике также для контроля качества транзисторов.

При введении параметров его рассматривают в обобщенном виде как активный, линейный, малосигнальный четырехполюсник, на входе которого действует напряжение U_1 и ток I_1 , а на выходе – напряжение U_2 и ток I_2 .

Четырехполюсник называется активным, если внутри его есть источники тока или ЭДС. Линейный четырехполюсник состоит только из линейных элементов. Критерием, по которому данную цепь можно считать линейной, является применимость к ней принципа суперпозиции: при одновременном воздействии на электрическую цепь нескольких сигналов выходной сигнал равен сумме откликов на воздействие каждого из входных сигналов в отдельности.

Метод четырехполюсника не требует знания физических процессов, происходящих в приборе. В нем любое радиотехническое устройство, работа которого характеризуется входными и выходными токами и напряжениями, представляется в виде четырехполюсника. Этот метод дает лишь способ нахождения величин токов и напряжений, измеряемых на внешних зажимах приборов. Транзистор представляется как активный линейный четырехполюсник с короткозамкнутой стороной (один провод общий для входной и выходной пары полюсов). При наличии функциональной связи между

четырьмя переменными $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2$ возможны 6 вариантов выбора зависимых и независимых переменных. Практическое применение находят три варианта:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = Z_{11} \dot{I}_1 + Z_{12} \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = Z_{21} \dot{I}_1 + Z_{22} \dot{I}_2 \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{I}_1 = Y_{11} \dot{U}_1 + Y_{12} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = Y_{21} \dot{U}_1 + Y_{22} \dot{U}_2 \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{U}_1 = H_{11} \dot{I}_1 + H_{12} \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = H_{21} \dot{I}_1 + H_{22} \dot{I}_2 \end{cases}$$

Четыре параметра каждой системы полностью описывают свойства транзистора в данном режиме; и при необходимости всегда может быть осуществлен однозначный переход от одной системы параметров к другой. **Z**, **Y**, **H** – параметры принимают различные значения при изменении рабочей точки характеристики транзистора. Значение их для транзистора (одного и того же) зависит также от того, какой электрод использован в качестве общего. В связи с этим различают, например, **H** или **H^Б** – параметры для схемы с общей базой, **H'** или **H^Э** – параметры для схемы с общим эмиттером. Измерить параметры триода следует при определенном режиме по постоянному току, т.к. их величина зависит от режима работы.

Недостаток системы **Y** – параметров – трудность измерения Y_{12}, Y_{22} связанная с необходимостью создания режима короткого замыкания на входе триода Система **H** – параметров содержит в качестве коэффициентов наиболее важные величины, характеризующие полупроводниковый триод. Достоинство этой системы заключается еще

в том, что при измерении параметров не нужны трудно осуществляемые режимы холостого хода на выходе и короткого замыкания на входе.

Оборудование и материалы

1. Стенд для изучения биполярного транзистора.
2. Транзистор.
3. Измерительные приборы.
4. Соединительные провода.

Задание 1.

Собрать схему с ОЭ. Снять семейство выходных характеристик $I_K = I_K(U_K)$, при $I_B = 1/6, 1/3, 2/3 \text{ мА}$.

Реостатами R_1 и R'_1 подают на основание ток I_B и поддерживают его постоянным. U_K изменяют через $1,5\text{В}$. Реостатами R_2 и R'_2 ток на коллекторе увеличивают от $0,5$ до 30 мА . Показания всех приборов записываются в таблицу 1.

Таблица 1.

	$I_{B_1} = \frac{1}{6} \text{ мА}$		$I_{B_2} = \frac{1}{3} \text{ мА}$		$I_{B_3} = \frac{1}{2} \text{ мА}$	
U_K	I_{K_1}	$I_{Э_1}$	I_{K_2}	$I_{Э_2}$	I_{K_3}	$I_{Э_3}$

По полученным данным построить семейство выходных характеристик $I_K = I_K(U_K)$ при $I_B = \text{const}$

Задание 2.

Снять семейство входных характеристик $I_B = I_B(U_{БЭ})$ при $U_K = \text{const}$, $0 \leq U_K \leq 10 \text{ В}$. Менять $U_{БЭ}$ через $0,02\text{В}$. Показание приборов записать в таблицу 2.

Таблица 2.

	$U_{K_1} = 0\text{В}$		$U_{K_2} = 4,5\text{В}$		$U_{K_3} = 6\text{В}$	
$U_{БЭ}$	I_{B_1}	$I_{Э_1}$	I_{B_2}	$I_{Э_2}$	I_{B_3}	$I_{Э_3}$

По полученным данным построить семейство входных характеристик $I_B = I_B(U_{БЭ})$ при $U_K = \text{const}$.

Задание 3.

По полученным характеристикам рассчитать H' - параметры транзистора для трех рабочих точек. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3.

N/ N	ΔU_B	ΔU_K	ΔI_B	ΔI_K	H'_{11}	H'_{12}	H'_{21}	H'_{22}
---------	--------------	--------------	--------------	--------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Задание 4.

Собрать схему с общей базой .

Снять семейство выходных характеристик $I_K = I_K(U_K)$ при $I_Э = \text{const}$ $0 < I_Э < 12 \text{ mA}$, $0 \leq U_K \leq 20 \text{ B}$, результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4.

	$I_{Э1} = 2 \text{ mA}$		$I_{Э2} = 4 \text{ mA}$		$I_{Э3} = 6 \text{ mA}$	
U_K	I_{K1}	I_{B1}	I_{K2}	I_{B2}	I_{K3}	I_{B3}

Построить семейство выходных характеристик $I_K = I_K(U_K)$ при $I_Э = \text{const}$.

Задание 5.

Снять семейство входных характеристик $I_Б = I_Б(U_Б)$ при $U_K = 0 + 15 \text{ B}$, $I_Э = 0 \div 10 \text{ mA}$. Результаты занести в таблицу 5.

Таблица 5.

	$U_{K1} = 0 \text{ B}$		$U_{K2} = 4,5 \text{ B}$		$U_{K3} = 6 \text{ B}$	
$U_{БЭ}$	$I_{Э1}$	$I_{Б1}$	$I_{Э2}$	$I_{Б2}$	$I_{Э3}$	$I_{Б3}$

Построить семейство входных характеристик $I_Б = I_Б(U_Б)$ при $U_K = \text{const}$

Задание 6.

По полученным результатам рассчитать H – параметры транзистора для трех рабочих точек. Результаты занести в таблицу 6.

Таблица 6.

N/N	ΔU_K	$\Delta I_Э$	ΔI_K	$\Delta U_{БЭ}$	H_{11}	H_{12}	H_{21}	H_{22}
-----	--------------	--------------	--------------	-----------------	----------	----------	----------	----------

Задание 7

По полученным результатам рассчитать Y – параметры транзистора для трех рабочих точек. Результаты занести в таблицу 7

Таблица 7.

N/N	$\Delta U_{ЭБ}$	ΔU_K	$\Delta I_Э$	ΔI_K	Y_{11}	Y_{12}	Y_{21}	ΔY_{22}
-----	-----------------	--------------	--------------	--------------	----------	----------	----------	-----------------

Содержание отчета

Представить:

Для схемы с общим эмиттером:

- а) семейство выходных характеристик $I_K = I_K(U_K)$ при $I_Э = \text{const}$,
- б) семейство входных характеристик $I_Б = I_Б(U_Б)$ при $U_K = \text{const}$,
- в) H - параметры транзистора для трех рабочих точек.

Для схемы с общей базой:

- а) семейство выходных характеристик $I_K = I_K(U_K)$ при $I_E = \text{const}$,
- б) семейство входных характеристик $I_B = I_B(U_B)$ при $U_K = \text{const}$,
- в) H – параметры транзистора для трех рабочих точек,
- г) Y – параметры транзистора для трех рабочих точек.

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют типы электропроводности полупроводников?
2. Как устроен транзистор?
3. Что такое четырехполюсник?
4. Как создать режим **Х.Х.** на входе и на выходе транзистора?
5. Как создать режим **К.З.** для входной и выходной цепи транзистора?
6. Как получают системы Z , Y , H – параметров?
7. Какой физический смысл Z , Y , H – параметров транзистора?
8. Как усиливает кристалл (схема с общей базой)?
9. Каковы достоинства и недостатки транзисторов по сравнению с электронными лампами?

Тестовые задания

1. Валентные электроны
 - 1). расположены на внутренней оболочке; 2). расположены на внешней оболочке;
 - 3). образуют разорванную связь; 4). образуют ковалентную связь.
2. Донорные примеси обуславливают
 - 1). электронно-дырочную пару; 2). дырочную проводимость;
 - 3). собственную проводимость; 4). электронную проводимость.
3. Акцепторные примеси обуславливают
 - 1). электронно-дырочную пару; 2). дырочную проводимость;
 - 3). собственную проводимость; 4). электронную проводимость.
4. Четырехполюсник, у которого в качестве независимых переменных выбирают входной ток и выходное напряжение, описывается системой уравнений с
 - 1). H -параметрами; 2). Y -параметрами; 3). Z -параметрами; 4). A -параметрами.
5. Четырехполюсник, у которого в качестве независимых переменных выбирают выходной ток и выходное напряжение, описывается системой уравнений с
 - 1). H -параметрами; 2). Y -параметрами; 3). Z -параметрами; 4). A -параметрами.
6. Четырехполюсник, у которого в качестве независимых переменных выбирают напряжение на входе и выходе, описывается системой уравнений с
 - 1). H -параметрами; 2). Y -параметрами; 3). Z -параметрами; 4). A -параметрами.
7. Четырехполюсник, у которого в качестве независимых переменных выбирают входные и выходные токи, описывается системой уравнений с
 - 1). H -параметрами; 2). Y -параметрами; 3). Z -параметрами; 4). A -параметрами.
8. Входное сопротивление четырехполюсника при коротком замыкании на выходе определяет параметр

1). H_{11} ;	2). Y_{11} ;	3). Z_{11} ;	4). A_{11} .
----------------	----------------	----------------	----------------
9. Входное сопротивление четырехполюсника при холостом ходе на выходе определяет параметр

1). H_{11} ;	2). Y_{11} ;	3). Z_{11} ;	4). A_{11} .
----------------	----------------	----------------	----------------
10. Входную проводимость четырехполюсника при коротком замыкании на выходе определяет параметр

- 1). H_{11} ; 2). Y_{11} ; 3). Z_{11} ; 4). A_{11} .

11. Выходную проводимость четырехполюсника при холостом ходе на входе определяет параметр

- 1). H_{11} ; 2). Y_{11} ; 3). Z_{11} ; 4). A_{11} .

12. Выходную проводимость четырехполюсника при коротком замыкании на входе определяет параметр

- 1). Y_{12} ; 2). Z_{22} ; 3). H_{22} ; 4). Y_{22} .

13. Выходное сопротивление четырехполюсника при холостом ходе на входе определяет параметр

- 1). Y_{22} ; 2). Z_{22} ; 3). H_{22} ; 4). Z_{12} .

14. Коэффициент обратной связи по напряжению при холостом ходе на входе четырехполюсника определяет параметр

- 1). Y_{22} ; 2). Z_{22} ; 3). H_{22} ; 4). Z_{12} .

15. Коэффициент передачи тока при коротком замыкании на выходе четырехполюсника определяет параметр

- 1). Y_{21} ; 2). Z_{21} ; 3). H_{21} ; 4). H_{12} .

Список литературы

Основная: 1, 2, 3

Дополнительная 1, 2.

Учебно-методическая 1, 2.

Лабораторная работа №5

Полевой транзистор

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию вопросов изучения электронных приборов.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать принцип работы электронного прибора и физические процессы, протекающие в нем (ПК-1, ПК-3)
- уметь использовать базовые элементы, собирать электрические схемы, применять основные методы анализа электрических цепей (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность изучения устройства и принципа действия полевых транзисторов различных типов; знание основ анализа базовых элементов, принципа работы полевых транзисторов и физических процессов, протекающих в них; овладеть методами расчета параметров полевого транзистора по семействам входных и передаточных характеристик; формирование умений и навыков, применение их на практике, развитие логического мышления; приобретения навыков самостоятельной работы.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо дать определение полевого

транзистора. Полевые транзисторы представляют собой полупроводниковые приборы, ток в которых обусловлен дрейфом основных носителей заряда под действием продольного электрического поля. Управление током в таком приборе осуществляется за счет изменения проводимости полупроводника с помощью поперечного электрического поля.

Область в полупроводнике, в которой регулируется поток носителей заряда, называется проводящим каналом. Электрод полевого транзистора, через который в проводящий канал втекают носители заряда, называют истоком, а электрод, через который они вытекают из канала, – стоком. Электрод полевого транзистора, на который подается электрический сигнал, используемый для управления величиной тока, протекающего через канал, называют затвором.

Затвор исполняет роль сетки вакуумного триода, исток и сток соответствуют катоду и аноду. Затвор должен быть электрически изолирован от канала. В зависимости от способа изоляции различают:

- 1). Транзисторы с управляющим $p-n$ – переходом (изоляция затвора от канала осуществляется включенным в обратном направлении $p-n$ – переходом, то есть обедненным слоем этого перехода).

- 2). Транзисторы с изолированным затвором, у которых затвор изолирован от канала слоем диэлектрика.

У транзисторов с управляющим $p-n$ – переходом на подложке из кремния электропроводностью p -типа создается тонкий слой полупроводника n -типа, выполняющий функции канала, сопротивление которой регулируется электрическим полем. Канал изолирован $p-n$ – переходом, как от подложки, так и от находящегося над ним затвора. На концах канала находятся исток и сток – сильно легированные n^+ -области, с помощью которых канал включается в цепь управляемого тока.

Длину канала делают очень малой (единицы микрометров), ширину канала по возможности большой (обычно в сотни и даже тысячи раз больше длины).

Между затвором и истоком подается напряжение такой полярности, чтобы оно создавало обратное смещение $p-n$ – перехода, а напряжение между стоком и истоком имеет такую полярность, чтобы основные носители в канале двигались от истока к стоку.

Механизм управления тока в транзисторе заключается в следующем. При увеличении обратного смещения на переходе затвор-исток $U_{зи}$ область обедненного слоя будет расширяться в область канала n – типа. Так как в обедненном слое практически отсутствуют свободные носители заряда, то электрический ток может протекать только между обедненными слоями. Изменяя напряжение $U_{зи}$, можно изменять поперечное сечение проводящего канала, следовательно, управлять током транзистора. Если напряжение $U_{зи}$ будет достаточно велико, то произойдет смыкание обедненных областей и ток транзистора станет равным нулю. При нулевом напряжении на затворе ток стока транзистора I_C максимален. Из сказанного, очевидно, что транзисторы с управляющим $p-n$ – переходом работают только в режиме обеднения, уменьшающего проводимость канала.

В настоящее время получили большое применение полевые транзисторы с изолированным затвором, так называемые МДП или МОП – транзисторы (первая аббревиатура характеризует структуру области затвора: металл–диэлектрик–полупроводник; вторая конкретизирует вид диэлектрика: металл–окисел–полупроводник).

В транзисторах с изолированным затвором проводящий канал может быть встроенным и индуцированным.

В полевом транзисторе с изолированным затвором и встроенным каналом основой служит пластинка слаболегированного кремния с электропроводностью p – типа. Области истока и стока обладают электропроводностью n^+ -типа. Их соединяет узкая слаболегированная область кремния с электропроводностью n -типа – встроенный канал. Затвор представляет собой металлический слой, изолированный от канала диэлектриком.

При обратном напряжении на затворе (относительно истока) электроны

проводимости оттесняются из области канала в объем полупроводника p – типа. Канал обедняется носителями зарядов и его проводимость уменьшается. При подаче на затвор прямого напряжения происходит обогащение электронами объема канала, и его проводимость возрастает. Таким образом, МДП–транзистор со встроенным каналом может работать с нулевым, отрицательным и положительным смещением.

У полевого транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом при напряжении между затвором и истоком равным нулю у МДП–транзистора с индуцированным каналом отсутствует проводящий канал между областями стока и истока.

Подложка транзистора с индуцированным каналом p – типа представляет собой слаболегированный кремний n – типа, а сток и исток - сильнолегированные области p^+ – типа. Металлический затвор отделен от кристалла тонким слоем изолятора. Пока на затвор не подано отрицательное напряжение относительно истока, выходной ток стока I_C близок к нулю. Так как, независимо от полярности приложенного между стоком и истоком напряжения, один из p - n – переходов (истоковый или стоковый) окажется запертым, и выходной ток будет определяться обратным током запертого перехода и током утечки. При подаче на затвор прямого напряжения вследствие эффекта поля поверхностный слой полупроводника, лежащий под затвором, окажется обогащенным дырками. Когда концентрация дырок превысит концентрацию электронов, поверхностный слой полупроводника изменит свою электропроводность с электронной на дырочную. В результате p – области стока и истока окажутся замкнутыми тонким каналом полупроводника с электропроводностью того же типа. Чем больше будет отрицательное напряжение между затвором и истоком, тем сильнее будет обогащен канал дырками и тем выше будет проводимость индуцированного под влиянием эффекта поля канала. Следовательно, МДП–транзисторы с индуцированным каналом работают в режиме обогащения.

Полевой транзистор управляется не током, а напряжением, поэтому его свойства могут быть представлены системой дифференциальных параметров: крутизной S , внутренним сопротивлением R_i и статическим коэффициентом усиления μ .

Крутизна передаточной характеристики

$$S = \left(\frac{\partial i_c}{\partial u_{зи}} \right), \quad \text{при } U_{си} = \text{const}$$

показывает, на сколько миллиампер изменится ток стока при изменении напряжения на затворе на 1В.

Внутреннее сопротивление транзистора:

$$R_i = \left(\frac{\partial u_{си}}{\partial i_c} \right), \quad \text{при } U_{зи} = \text{const}$$

Это дифференциальное внутреннее сопротивление транзистора переменной составляющей тока стока.

Статический коэффициент усиления

$$\mu = - \left(\frac{d u_{си}}{d u_{зи}} \right), \quad \text{при } I_c = \text{const}$$

показывает, во сколько раз изменение напряжения на затворе сильнее влияет на ток стока, чем напряжение на стоке. Знак “-” показывает, что для компенсации изменения тока стока, вызванного приращением напряжения на затворе $du_{зи}$, надо стоковому напряжению дать приращение $du_{си} = -\mu du_{зи}$, противоположное по знаку $du_{зи}$.

Ток стока полевого транзистора является функцией двух аргументов $U_{си}$ и $U_{зи}$. Поэтому полный дифференциал тока стока равен:

$$di_c = \left(\frac{\partial i_c}{\partial u_{си}} \right) du_{си} + \left(\frac{\partial i_c}{\partial u_{зи}} \right) du_{зи}$$

Из приведенных формул следует, что:

$$\mu = R_i S$$

Дифференциальные параметры транзистора приближённо легко определить, используя семейства его статических характеристик: выходных и передаточных.

Важным низкочастотным дифференциальным параметром полевого транзистора является входное сопротивление:

$$R_{вх} = \left(\frac{\partial u_{зи}}{\partial i_3} \right), \text{ при } U_{си} = \text{const}$$

где ток затвора I_3 для транзистора с $p-n$ – переходом определяется обратной вольт-амперной характеристикой $p-n$ – перехода. Сопротивление $R_{вх}$ таких транзисторов составляет 10^6 - 10^9 Ом. Для МДП-транзисторов входное сопротивление зависит от толщины слоя диэлектрика и может достигать 10^9 - 10^{14} Ом.

Кроме высокого входного сопротивления полевые транзисторы обладают ещё одним большим достоинством: их параметры в меньшей степени, чем параметры биполярных транзисторов, зависят от температуры.

Оборудование и материалы

1. Стенд для изучения полевого транзистора.
2. Транзистор.
3. Измерительные приборы.
4. Соединительные провода.

Задание 1.

1. Соберите схему для снятия характеристик полевого транзистора. После проверки схемы установите ручки регуляторов напряжений в нулевые позиции и включите стенд.

Внимание! При сборке схемы контролируйте полярность поданных напряжений! Колодку с полевым транзистором подключайте только после проверки схемы!

2. Поочередно задавая напряжения $U_{зи}$ в соответствии с таблицей 2, снимите выходные характеристики транзистора.

3. Постройте семейство выходных характеристик транзистора $I_c = I_c(U_c)$ при $U_{зи} = \text{const}$. По построенным графикам в заданной рабочей точке (которую укажет преподаватель) определите

$$R_i = \left(\frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c} \right), \text{ при } U_{зи} = \text{const} \text{ и } S = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \right), \text{ при } U_{си} = \text{const}. \text{ Рассчитайте}$$

$$\text{коэффициент усиления транзистора: } \mu = - \left(\frac{\Delta U_{си}}{\Delta U_{зи}} \right), \text{ при } I_c = \text{const}.$$

Таблица 2.

№	$U_c(\text{В})$	Напряжение U_3				
		0 ступень	I ступень	II ступень	III ступень	IV ступень
		0	в	в	в	в
		I_c	I_c	I_c	I_c	I_c
		мА	мА	мА	мА	мА
1	0					
2	0,75					

3	1,00					
4	1,25					
5	1,50					
6	1,75					
7	2,00					
8	2,25					
9	2,50					
10	2,75					
11	3,00					

Задание 2.

Поочередно задавая напряжения на затворе, в соответствии с таблицей 3 ,снимите передаточные характеристики транзистора

5.Постройте семейство передаточных характеристик $I_c = I_c(U_c)$ при $U_{зи} = \text{const}$. По построенным графикам в той же рабочей точке определите S и R_i . Рассчитайте μ . Сравните эти и ранее полученные результаты.

6.Составьте отчет о работе.

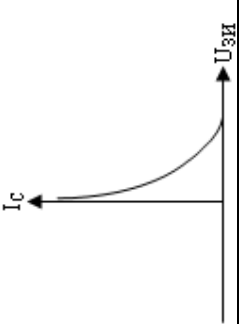
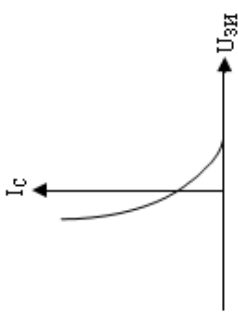
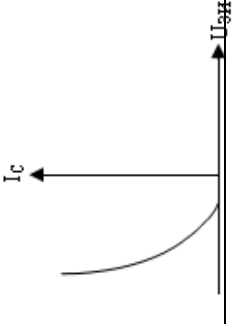
Таблица 3.

№	Напряжение U_3		Напряжение U_c	
	ступень	B	1,5В	3,0В
			I_c , мА	I_c , мА
1	VI			
2	V			
3	IV			
4	III			
5	II			
6	I			
7	0			

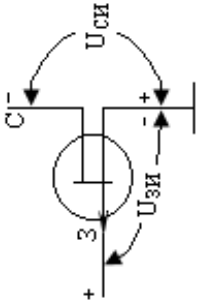
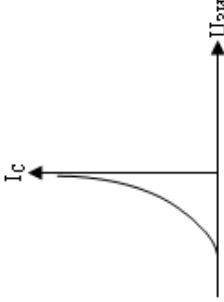
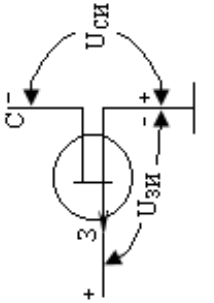
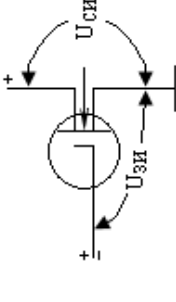
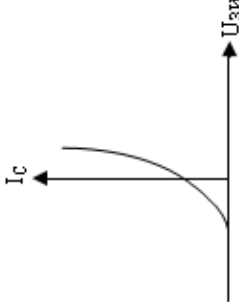
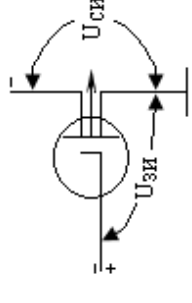
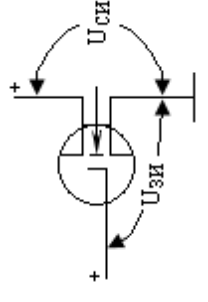
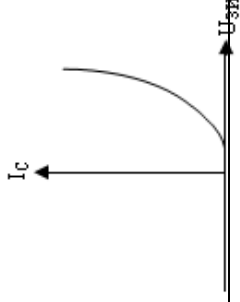
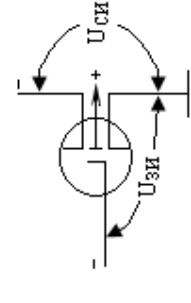
Содержание отчета

Представить:

- а) семейство выходных характеристик $I_c = I_c(U_c)$ при $U_{зи} = \text{const}$.
- б) семейство передаточных характеристик $I_c = I_c(U_c)$ при $U_{зи} = \text{const}$.
- в) H' - параметры транзистора для трех рабочих точек.

Таблица 1	С каналом р - типа			
	Вольт-амперная характеристика			

г) рассчитанные дифференциальные параметры транзистора R_i , S , μ

Тип транзистора	С каналом <i>n</i> - типа		Полярность напряжений
	Полярность напряжений	Вольт-амперная характеристика	
С управляющим <i>p-n</i> переходом			
МДП с встроенным каналом			
МДП с индуцированным каналом			

Контрольные вопросы

1. Почему транзисторы с проводящим каналом называют полевыми и униполярными?
2. Назовите рабочие области и электроды полевого транзистора и объясните эти названия.
3. Почему затвор полевого транзистора должен быть изолирован от проводящего канала?
4. Опишите устройство и принцип действия полевых транзисторов:

- а) С управляющим $p-n$ – переходом. б) С изолированным затвором и встроенным каналом.
в) С изолированным затвором и индуцированным каналом.

5. Дайте определение выходной характеристики транзистора и опишите, как снимается семейство выходных характеристик.

6. Объясните ход передаточных характеристик полевых транзисторов различных типов с учетом электропроводности канала и возможного способа управления этой электропроводностью.

7. Почему при описании свойств полевого транзистора можно пользоваться параметрами, аналогичными параметрам электронной лампы?

8. Какой физический смысл дифференциальных параметров полевого транзистора? Как определить параметры с использованием выходных и передаточных характеристик?

9. Объясните работу полевого транзистора в схеме усилителя напряжения.

10. Какие достоинства и недостатки полевых транзисторов?

Тестовые задания

1. Область в полупроводнике, в которой регулируется поток носителей заряда

Сток исток затвор канал

2. Электрод транзистора, через который в проводящий канал втекают носители заряда

Сток исток затвор канал

3. Электрод полевого транзистора, через который носители заряда вытекают из канала,

Сток исток затвор канал

4. Электрод полевого транзистора, на который подается управляющий сигнал

Сток исток затвор канал

5. Длина канала единицы микрометров

Да Нет

6. Ширина канала в сотни и даже тысячи раз больше длины

Да Нет

7. Ширина канала единицы микрометров

Да Нет

8. Длина канала в сотни и даже тысячи раз больше ширины

Да Нет

9. $\frac{\partial i_c}{\partial i_c}, n p u U_s = const$

-Дифференциальное внутреннее сопротивление

-Крутизна передаточной характеристики

-Статистический коэффициент усиления

-Связь между параметрами полевого транзистора

-Дифференциальное уравнение

10. $\frac{\partial i_c}{\partial u_s}, n p u U_c = const$

-Дифференциальное внутреннее сопротивление

-Крутизна передаточной характеристики

-Статистический коэффициент усиления

-Связь между параметрами полевого транзистора

-Дифференциальное уравнение

11. $-\frac{\partial u_c}{\partial u_s}, n p u I_c = const$

-Дифференциальное внутреннее сопротивление

- Крутизна передаточной характеристики
- Статистический коэффициент усиления
- Связь между параметрами полевого транзистора
- Дифференциальное уравнение

12. $\mu = SR_i$

- Дифференциальное внутреннее сопротивление
- Крутизна передаточной характеристики
- Статистический коэффициент усиления
- Связь между параметрами полевого транзистора
- Дифференциальное уравнение

Список литературы

Основная: 1, 2, 3

Дополнительная 1, 2.

Учебно-методическая 1, 2, 3

Лабораторная работа №6.

Усилители напряжения низкой частоты.

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию вопросов линейных электрических схем.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать принцип работы электронного усилителя и физические процессы, протекающие в нем (ПК-1, ПК-3)
- уметь читать электрические схемы, использовать современную измерительную аппаратуру, применять основные методы анализа электрических схем (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность изучить методы исследования схем усилителей напряжения низкой частоты. В ходе работы выявляется влияние величины элементов схем на частотно-амплитудные характеристики усилителя, выясняется зависимость коэффициента нелинейного искажения от величины амплитуды подводимого напряжения.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо дать определение усилителя, выяснить основные параметры. Усилителем называется четырехполюсник, предназначенный для того, чтобы за счет энергии источника питания увеличить интенсивность подводимых колебаний, не изменяя их формы

Преобразователем энергии постоянного тока источника питания в энергию усиленных колебаний служит электронная лампа или транзистор, которые управляются усиливаемыми колебаниями

Основные параметры усилителей.

Коэффициент усиления усилителя может быть по напряжению K_U , по току K_I , и по мощности K_P .

Полоса пропускания частот (полоса пропускания) – это область частот, в пределах которой изменение коэффициента усиления не выходит за пределы допустимого. Обычно, на граничных частотах $f_{\max}$ и $f_{\min}$ допускается уменьшение коэффициента усиления на 3 дБ по сравнению с величиной его на средних частотах.

Амплитудно - частотная характеристика – зависимость коэффициента усиления от частоты или зависимость выходного напряжения от частоты. Частотные искажения – искажения, обусловленные и вызываемые непостоянством коэффициента усиления на разных частотах. Степень искажения на отдельных частотах выражается коэффициентом частотных искажений, равным отношению коэффициента усиления на средней частоте к коэффициенту усиления на данной частоте. Коэффициент частотных искажений в области низких звуковых частот равен:

Нелинейные искажения - искажения, обусловленные наличием в схеме усилителя нелинейных элементов (транзистор, электронная лампа, трансформатор). Нелинейные искажения проявляются в том, что на выходе усилителя возникают новые частоты (гармоники и комбинационные токи), которых не было на входе.

Каскад с резистивно-емкостной связью называется резисторным. Нагрузкой усилительного элемента служит активное сопротивление R_H , на котором выделяется усиленный сигнал. Разделительный конденсатор C_P преграждает путь постоянному току, но в то же время обладает малым сопротивлением для тока усиливаемого сигнала. Такой усилитель прост по схеме, не требует дефицитных и дорогостоящих деталей и обеспечивает равномерное усиление в полосе частот от 30 до 15000 Гц. Недостатками его являются: значительная величина выходного сопротивления, что исключает возможность работы последующего каскада с входными токами, необходимость большого напряжения анодного питания.

Для исследования влияния величин элементов схемы резисторного усилителя на форму частотной характеристики на стенде предусмотрена возможность изменения номинала отдельных элементов схем путем замены их. С этой целью в комплекте схемы имеются панели с различными значениями элементов. Конденсатор C_5 , эквивалентный входной емкости следующего каскада, смонтирован совместно с сопротивлением утечки на одной панели и включается в гнезда Г5.

Оборудование и материалы:

1. Генератор многофункциональный SDG-1025
2. Вольтметр GDM-8135
3. Источник питания ВУП- 2М
4. Стенд для изучения усилителя низкой частоты.

Задание 1

Собрать схему резисторного усилителя, включив в гнездо Г3 сопротивление $R_4 = 62 \text{ кОм}$, а в гнездо Г4 конденсатор $C_4 = 0,025 \text{ мкФ}$, в гнездо Г5 сопротивление $R_5 = 510 \text{ кОм}$. Тумблер Т1 установить в положение 1, соответствующее триодному включению лампы. Снять частотные характеристики резисторного усилителя при различных значениях номиналов отдельных элементов схем.

Измерения проводить при пентодном включении лампы (тумблер Т1 установлен в положение 2). Подать на вход напряжение $U_{вх} = 210 \text{ мВ}$ и, изменяя частоту подводимого от звукового генератора напряжения от 50 Гц до 20 кГц, снять частотные характеристики при значениях номиналов сопротивлений R_4 и R_5 и емкостей C_4 и C_5 , указанных в

таблице 1. Измерения производить на частотах: 20, 40, 100, 200, 400, 1000, 2000, 4000, 6000, 10000, 15000, 18000, 20000 Гц. Результаты занесите в таблицу 1.

По полученным данным таблицы 1 построить частотные характеристики на одном графике в логарифмическом масштабе.

$$K_u = 20 \lg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ1000}}} = \varphi(\lg f)$$

Таблица 1.

Элементы схемы	Номер частотной характеристики							
	1		2		3		4	
R4 (кОм)	62		30		62		62	
R5 (кОм)	560		560		560		560	
C4 (мкФ)	0,025		0,025		470		0,025	
C5 (нФ)							51	
f (Гц)	$U_{\text{В}}$ $_{\text{ВХ}}$	K $_{\text{И}}$	$U_{\text{В}}$ $_{\text{ВХ}}$	$K_{\text{И}}$	$U_{\text{В}}$ $_{\text{ВХ}}$	$K_{\text{И}}$	$U_{\text{ВЫ}}$ $_{\text{Х}}$	$K_{\text{И}}$

Задание 2.

Собрать схему трансформаторного усилителя. Гнездо Г5 разомкнуто. Лампа работает в пентодном режиме (тумблер Т1 установлен в положении 2).

Снять частотные характеристики трансформаторного усилителя

$$K_u = 20 \lg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ1000}}} = \varphi(\lg f)$$

без учёта и с учётом входной емкости и шунтирующего сопротивления следующего каскада. Произвести измерения по методике, изложенной в задании 1. Результаты измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2.

Элементы схемы	Номер частотной характеристики			
	1		2	
R5 (кОм)			75	
C5 (нФ)	0 (гнездо Г5 разомкнуто)		51	
f (Гц)	$U_{\text{ВЫХ}}$		$K_{\text{И}}$	$U_{\text{ВЫХ}}$ $K_{\text{И}}$

По данным таблицы построить в одной системе координат в логарифмическом масштабе частотные характеристики.

Содержание отчета

Представить:

а) частотные характеристики резисторного усилителя при различных значениях номиналов отдельных элементов схем.

б) определить полосу пропускания усилителя при различных значениях номиналов отдельных элементов схем

в) частотные характеристики трансформаторного усилителя при различных значениях номиналов отдельных элементов схем.

г) определить полосу пропускания трансформаторного усилителя при различных значениях номиналов отдельных элементов.

Контрольные вопросы

1. В каком режиме целесообразно использовать активные элементы в усилителе напряжения?

2. Чем объяснить увеличение нелинейных искажений при изменении величины входного напряжения и напряжения смещения? (Объяснить, используя характеристики активного элемента).

3. Чем объясняется неравномерность частотных характеристик исследуемых схем, от каких элементов она зависит? Показать по частотным характеристикам.

4. Каковы преимущества и недостатки исследуемых схем усилителей напряжения?

5. Какая из исследуемых схем обеспечивает наибольшее усиление, и какая обеспечивает получение наиболее равномерной частотной характеристики? Как влияет на качественные показатели усилителя выбор режима лампы?

6. Какие основные параметры усилителей?

7. Начертите принципиальные схемы усилителей на различных активных элементах. Расскажите работу изучаемых схем.

8. Нарисуйте эквивалентные схемы резисторного и трансформаторного усилителей. Пользуясь эквивалентными схемами, объясните ход амплитудно-частотных характеристик.

9. Как влияет величина **R₄** на коэффициент усиления, на **КНИ** в триодном и пентодном режимах включения лампы? Объяснить полученные результаты, пользуясь треугольником мощностей.

10. Как влияет емкость разделительного конденсатора на частотные искажения?

Тестовые задания

1. Коэффициент передачи усилителя по напряжению в области нижних частот зависит от

1). C_p ; 2). C_0 ; 3). R_i ; 4). R_s .

2. Коэффициент передачи по напряжению в области верхних частот зависит от

1). C_p ; 2). C_0 ; 3). R_i ; 4). R_s .

3. Коэффициент передачи по напряжению в области средних частот зависит от

1). C_p ; 2). C_0 ; 3). R_i ; 4). R_s .

4. Коэффициент частотных искажений в области верхних частот

1). $\sqrt{1 + (\omega_s C_0 R_s)^2}$; 2). $\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_s C_p R)^2}}$ 3). $\frac{1}{2\pi C_0 R_s}$. 4). $\frac{1}{2\pi C_p R}$;

5. Коэффициент частотных искажений в области нижних частот

$$1). \sqrt{1 + (\omega_c C_0 R_s)^2}; \quad 2). \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_n C_p R)^2}}; \quad 3). \frac{1}{2\pi C_p R}; \quad 4). \frac{1}{2\pi C_0 R_s}.$$

6. Нижняя граничная частота

$$1). \sqrt{1 + (\omega_c C_0 R_s)^2}; \quad 2). \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_n C_p R)^2}}; \quad 3). \frac{1}{2\pi C_p R}; \quad 4). \frac{1}{2\pi C_0 R_s}.$$

7. Верхняя граничная частота

$$1). \sqrt{1 + (\omega_c C_0 R_s)^2}; \quad 2). \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_n C_p R)^2}}; \quad 3). \frac{1}{2\pi C_p R}; \quad 4). \frac{1}{2\pi C_0 R_s}.$$

8. Коэффициент усиления усилителя с обратной связью

$$1). \dot{\beta}k = -\beta k; \quad 2). \dot{\beta}k = \beta k; \quad 3). \frac{\dot{k}}{1 - \dot{\beta}k}.$$

9. Условие положительной обратной связи

$$1). \dot{\beta}k = -\beta k; \quad 2). \dot{\beta}k = \beta k; \quad 3). \frac{\dot{k}}{1 - \dot{\beta}k}.$$

10. Условие отрицательной обратной связи

$$1). \dot{\beta}k = -\beta k; \quad 2). \dot{\beta}k = \beta k; \quad 3). \frac{\dot{k}}{1 - \dot{\beta}k}.$$

11. Полоса пропускания усилителя расширяется в сторону нижних частот, если

1). C_p увеличить; 2.) C_p уменьшить; 3.) C_0 уменьшить; 4.) C_0 увеличить.

12. Полоса пропускания усилителя расширяется в сторону верхних частот, если

1). C_p увеличить; 2). C_p уменьшить; 3). C_0 уменьшить; 4.) C_0 увеличить.

Список литературы

Основная: 1, 2, 3

Дополнительная 2.

Учебно-методическая 1, 2

Лабораторная работа №7.

Изучение мультивибраторов и триггеров.

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию нелинейных преобразований сигналов.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать принцип работы мультивибраторов с коллекторно-базовыми связями, с блокировкой коллекторных потенциалов, с фиксацией коллекторных потенциалов и физические процессы, протекающие в них (ПК-1, ПК-3)
- уметь читать электрические схемы, использовать современную измерительную аппаратуру, применять основные методы анализа электрических схем (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность исследовать различных схем мультивибраторов и триггеров. В ходе работы исследуется влияние величины элементов схемы на форму различных выходных импульсов.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо изучить устройство и принцип действия мультивибраторов и триггеров. Мультивибратор относится к релаксационным генераторам. Релаксационные колебания бывают прямоугольные, пилообразные и т.д., их форма отличается от синусоидальной. Характерной особенностью релаксационных колебаний является наличие участков с медленным изменением силы тока или напряжения в течение времени t_0 и очень быстрым, скачкообразным - в течение времени t_1 . Скачок возникает при выполнении условия самовозбуждения ($\beta K > 1$). За счет нелинейности усилительного прибора коэффициент передачи k уменьшается и при $\beta K = 1$ лавинный процесс нарастания тока прекращается (β - коэффициент обратной связи). В дальнейшем активный элемент запирается, происходит разрыв цепи обратной связи. При этом совершается медленный процесс (разряд конденсатора), который приводит к изменению входного напряжения усилительного прибора, его отпиранию, к замыканию цепи обратной связи и появлению следующего скачка.

Исследуется работа мультивибратора на транзисторах с коллекторно-базовыми связями. В этих мультивибраторах применяется очень сильная положительная обратная связь, в результате чего транзисторы поочередно входят, то в режим насыщения, то в режим отсечки. Возможно также и длительное, устойчивое состояние, когда оба транзистора находятся в режиме насыщения. Период прямоугольного колебания, генерируемого симметричным мультивибратором, можно найти из равенства:

$$T = 2(\ln 2)\tau_{PA3} = 1,4\tau_{PA3} = 1,4R_B C$$

Обычно изменение периода T колебаний мультивибратора на транзисторах достигается за счет изменения емкости C_1 и C_2 .

Фронты выходных импульсов мультивибратора, формирующиеся после закрытия соответствующих транзисторов, имеют значительно большую длительность, чем фронты импульсов, соответствующие моменту открытия транзисторов. Это приводит к тому, что форма выходного напряжения $U_{вых}$ мультивибратора заметно отличается от прямоугольной, что ограничивает возможности его применения. Недостатком схемы является большая длительность фронтов выходных импульсов

От этого недостатка свободен мультивибратор с отключающими диодами (или с блокировкой коллекторных потенциалов) Отличие этого мультивибратора от простейшего состоит в том, что заряд времязадающих конденсаторов C после закрытия соответствующего транзистора осуществляется не через коллекторные резисторы, а через добавочные зарядные резисторы R_3 . После закрытия транзистора, например VT1, его потенциал скачком изменяется

до $-E_K$, при этом блокирующий диод VD1 закрывается и отделяет цепь заряда ёмкости C_2 от коллектора. Сопротивление зарядных резисторов обычно выбирают примерно равным сопротивлению коллекторных резисторов $R_3 = R_K$.

Схема мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов пригодна для работы со значительной скважностью выходных напряжений (примерно 30-50). Заряд времязадающих конденсаторов C_1 или C_2 после закрытия соответствующего транзистора осуществляется до напряжения фиксации E_Φ , которое меньше чем напряжение питания E_K . Когда напряжение на коллекторе закрытого транзистора достигает уровня E_Φ , открывается фиксирующий диод VD_Φ и заряд конденсатора прекращается. Так как $E_\Phi < E_K$, то и время восстановления меньше. Обычно $E_\Phi = 0,5 E_K$. При этом время восстановления колебаний $T_B = 0,7 R_K C$, а период $T = 0,4(R_1 C_1 + R_2 C_2)$.

Мультивибратор с фиксацией коллекторных потенциалов имеет меньшее время восстановления по сравнению со схемой с коллекторно-базовыми связями, но в тоже время сложнее ее; по сравнению с мультивибратором с блокировкой коллекторных потенциалов мультивибратор с фиксацией коллекторных потенциалов имеет более искаженную форму выходных импульсов.

В реальной схеме, чтобы ограничиться одним источником питания, напряжение фиксации задают с помощью стабилитрона.

Оборудование и материалы

1. Осциллограф АСК-21060.
2. Источник питания НУ-3003 – 2 шт.
3. Стенд для изучения мультивибраторов и триггеров.
4. Осциллографические пробники НР-9060

Задание 1.

1. Изучить схемы мультивибраторов, представленных собранных на стенде.
2. Подключить к исследуемым схемам мультивибраторов стабилизатор напряжения.
3. Рассчитать для исследуемых схем периоды выходных напряжений, их частоты и записать полученные значения.
4. Измерить с помощью осциллографа, пользуясь калиброванной разверткой, периоды напряжений исследуемых схем и сравнить их с расчетными данными.
5. Рассчитать время восстановления для каждой схемы и сравнить со значениями, полученными экспериментально.
6. Считая, что $\beta=15$, рассчитать нормальные значения сопротивления базовых резисторов во всех схемах.
7. Нарисовать осциллограммы выходных напряжений для каждого мультивибратора, определить по ним время восстановления и период повторения импульсов.

На стенде также собрана схема *триггера*. Триггером называется устройство с двумя устойчивыми состояниями, переходящее от одного состояния в другое под воздействием внешних напряжений. Триггер способен сохранять сколь угодно долго устойчивое состояние, и после снятия внешнего воздействия, поэтому он используется в качестве элемента памяти.

К триггеру предъявляются требования по сохранению устойчивости занимаемого состояния сколь угодно долго до прихода запускающего импульса, надежности и быстроте переброса из одного состояния в другое с приходом каждого запускающего импульса.

В триггере с *раздельным запуском* чередующиеся положительные и отрицательные

импульсы последовательно подаются на базу транзистора **VT2** через резистор **R7** и переключатель **П1**. Следует заметить, что при поступлении подряд двух или более импульсов одной полярности состояние триггера не меняется. Переброс триггера происходит только в тех случаях, когда меняется полярность входных импульсов. Разно полярные чередующиеся импульсы формируются цепочкой **C3** и **R8**, которая обладает малой постоянной времени заряда и разряда. Когда на эту цепочку поступает прямоугольное напряжение от мультивибратора с блокировкой коллекторных потенциалов на выходе появляются короткие импульсы, соответствующие моментам переключения напряжения мультивибратора.

Транзисторы триггера работают в ключевых режимах. В схеме предусмотрен источник смещения БП-2, благодаря которому на базе закрытого транзистора создается положительное напряжение, обеспечивающее надежное запирающее. Открытый транзистор должен находиться в насыщении с запасом, обеспечивающим это состояние при допустимых отклонениях параметров схемы и режимов питания. Минимальное значение амплитуды входного импульса, при котором начинается устойчивое переключение триггера, называемое порогом срабатывания, определяется параметрами схемы и транзисторов. Способ раздельного запуска не критичен к длительности и амплитуде входных импульсов.

Пусть триггер находился в одном из устойчивых положений: транзистор **VT1** закрыт и находится в режиме отсечки ($U_{K1} \sim -E_K$, $U_{B1} > 0$), транзистор **VT2** открыт и находится в режиме насыщения ($U_{K1} \sim 0$, $U_{B2} < 0$), конденсатор **C1** заряжен, **C2** -разряжен. длительность входного импульса должна быть небольшая, в ином случае за время его действия начальные напряжения на конденсаторах могут значительно измениться и возможен сбой триггера. Другими словами, триггер со счетным входом критичен к длительности входных импульсов, а в общем случае и к их амплитуде. Режим счетного запуска характерен тем, что входные импульсы одной полярности поступают сразу на оба транзистора

Триггер со счётным входом используют в счётчиках, пересчетных схемах, делителях частоты.

Задание 2.

1. Подключите к исследуемой схеме стабилизатор напряжения. Установите на выходе каждого стабилизатора напряжение **12В**. Включите осциллограф и подсоедините его открытый вход к выходу триггера.

2. Убедитесь в работоспособности триггера. Для чего при замкнутом положении переключателя **П** поочередным нажатием кнопок **SB1**, **SB2** (закорачивая поочередно базы и эмиттеры транзисторов) перебросить несколько раз из одного положения в другое исследуемый триггер. Этот способ часто используют на практике не только для проверки триггера, но и для обнаружения неисправности транзистора.

3. Проверить расчетным путем правильность выбора номинальных значений резисторов **R3**, **R4**, **R5**, **R6** в схеме триггера из условий насыщения и отсечки транзисторов, считая $\beta_{min}=15$, а $I_{K.O.max} = 50\text{мкА}$. Записать формулы, по которым произведена проверка и полученные данные.

4. Снять на кальку осциллограммы напряжения запускающего генератора и выходных импульсов цепочки **C3R8** при разомкнутых переключателях **П1** и **П2**. Измерить с помощью осциллографа, пользуясь калиброванной разверткой, частоту запускающих импульсов. Периодом считать интервал времени между двумя соседними импульсами, одной полярности.

5. Определить порог срабатывания триггера в режиме раздельного запуска. Для чего

разомкнуть переключатель **П2**, а переключатель **П1** поставить в положение “Режим раздельного запуска”. Изменяя амплитуды запускающих импульсов потенциометром **R8** найти границу устойчивой работы триггера. Измерить с помощью осциллографа амплитуду импульса той полярности, при которой она меньше. Это значение и будет порогом срабатывания.

6. Снять осциллограмму выходного напряжения триггера в режиме раздельного запуска и указать на ней значение частоты.

7. Определить порог срабатывания триггера в режиме счетного запуска. Снять осциллограмму выходного напряжения и указать на ней режим запуска и частоту повторения.

8. Для режима счетного запуска убедиться в нарушении работы триггера при большой, длительности запускающих импульсов, увеличивая ее, замыкая переключатель **П1**. Проконтролировать с помощью осциллографа увеличение длительности запускающих импульсов.

Содержание отчета

Представить:

- а) осциллограммы выходных и входных напряжений для каждого мультивибратора, сравнить с расчетными значениями
- б) определить время восстановления и период повторения импульсов по осциллограммам и сравнить с расчетными значениями
- в) временные диаграммы триггера, работающего в режиме раздельного пуска.
- г) временные диаграммы триггера, работающего в режиме счетного пуска.
- д) частоту запускающих импульсов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В какой из схем мультивибраторов при равных сопротивлениях в цепи коллекторов транзисторов сопротивление базовых резисторов будет меньше?
2. Какие из трех схем мультивибраторов могут обеспечить большую скважность выходных напряжений?
3. Как достигается прямоугольная форма выходных напряжений мультивибратора с отключающими диодами?
4. Каково условие насыщения транзистора в схеме простейшего мультивибратора?
5. Каковы недостатки и преимущества мультивибратора с фиксацией коллекторного напряжения по сравнению с простейшим и с отключающими диодами?
6. Какие требования предъявляют к триггеру?
7. Каким условиям должны отвечать параметры резисторов в схеме триггера?
8. Как поступают импульсы на транзисторы триггера в режиме счётного запуска?
9. Какой полярности должны быть импульсы, подаваемые на базу одного транзистора триггера в режиме раздельного запуска?
10. Какую функцию выполняют форсирующие конденсаторы триггера в режиме счётного запуска?
11. В каком режиме запуска триггер критичен к длительности и амплитуде входных импульсов?
12. Какой режим запуска триггера чаще используется в счётно – решающих устройствах?

Тестовые задания

1. Транзистор работает в режиме отсечки, если переходы
 - 1) эмиттерный открыт, коллекторный закрыт
 - 2) эмиттерный и коллекторный закрыты
 - 3) эмиттерный и коллекторный открыты
2. Транзистор работает в активном режиме, если переходы
 - 1) эмиттерный и коллекторный открыты
 - 2) эмиттерный и коллекторный закрыты
 - 3) эмиттерный открыт, коллекторный закрыт
3. Транзистор работает в режиме насыщения, если переходы
 - 1) эмиттерный и коллекторный открыты
 - 2) эмиттерный и коллекторный закрыты
 - 3) эмиттерный открыт, коллекторный закрыт
4. Транзистор работает в режиме отсечки, то выходное напряжение
 - 1) $U_{\text{вых}} = U_{\text{бэ}}$
 - 2) $U_{\text{вых}} \approx 0$
 - 3) $U_{\text{вых}} > E_k$
 - 4) $|U_{\text{вых}}| \approx |E_k|$
5. Транзистор работает в режиме насыщения, то выходное напряжение
 - 1) $U_{\text{вых}} > E_k$
 - 2) $|U_{\text{вых}}| \approx |E_k|$
 - 3) $U_{\text{вых}} \approx 0$
 - 4) $U_{\text{вых}} = U_{\text{бэ}}$
6. Транзистор работает в активном режиме, то выходное напряжение
 - 1) $U_{\text{вых}} > E_k$
 - 2) $|U_{\text{вых}}| \approx |E_k|$
 - 3) $U_{\text{вых}} \approx 0$
 - 4) $U_{\text{вых}} = U_{\text{бэ}}$
7. Командный вход для осуществления приёма информации
 - 1) S;
 - 2) C;
 - 3) R;
 - 4) D;
8. Вход для установки триггера в состояние «1»
 - 1) D;
 - 2) C;
 - 3) S;
 - 4) R;
9. Вход для установки триггера в состояние «0»
 - 1) C
 - 2) S;
 - 3) R;
 - 4) D;
10. Асинхронный RS-триггер находится в режиме хранения
 - 1) R=1, S=1;
 - 2) R=0, S=0;
 - 3) R=1, S=0;
 - 4) R=0, S=1;
11. Асинхронный RS-триггер находится в нулевом состоянии
 - 1) R=1, S=1;
 - 2) R=0, S=0;
 - 3) R=1, S=0;
 - 4) R=0, S=1;
12. Асинхронный RS-триггер находится в единичном состоянии
 - 1) R=1, S=1;
 - 2) R=0, S=0;
 - 3) R=1, S=0;
 - 4) R=0, S=1;
13. Для асинхронного RS-триггера комбинация управляющих сигналов запрещена
 - 1) R=1, S=0;
 - 2) R=0, S=0;
 - 3) R=1, S=1;
 - 4) R=0, S=1;
14. Синхронный RS-триггер находится в режиме хранения
 - 1) S*, R*, C=0;
 - 2) S=1, R=0, C=1;
 - 3) S=0, R=1, C=1;
 - 4) S=1, R=1, C=1;
15. Синхронный RS-триггер находится в единичном состоянии
 - 1) S*, R*, C=0;
 - 2) S=1, R=0, C=1;
 - 3) S=0, R=1, C=1;
 - 4) S=1, R=1, C=1;
16. Синхронный RS-триггер находится в нулевом состоянии
 - 1) S*, R*, C=0;
 - 2) S=1, R=0, C=1;
 - 3) S=0, R=1, C=1;
 - 4) S=1, R=1, C=1;
17. Для синхронного RS-триггера комбинация управляющих сигналов запрещена
 - 1) S*, R*, C=0;
 - 2) S=1, R=0, C=1;
 - 3) S=0, R=1, C=1;
 - 4) S=1, R=1, C=1;
18. Логическое уравнение асинхронного RS-триггера с инверсными входами
 - 1) $Q = \bar{S} \vee Q^* \wedge \bar{R}, \bar{S} \wedge \bar{R} \neq 0;$
 - 2) $Q = S \vee Q^* \wedge \bar{R}, SR \neq 1;$

- 3) $Q = S \wedge C \vee Q^* \wedge \bar{R} \wedge C, S \wedge R \wedge C \neq 1;$ 4) $Q = J \wedge \bar{Q}^* \vee Q^* \wedge \bar{K};$
19. Логическое уравнение асинхронного RS-триггера с прямыми входами
- 1) $Q = \bar{S} \vee Q^* \wedge \bar{R}, \bar{S} \wedge \bar{R} \neq 0;$ 2) $Q = S \vee Q^* \wedge \bar{R}, SR \neq 1;$
- 3) $Q = S \wedge C \vee Q^* \wedge \bar{R} \wedge C, S \wedge R \wedge C \neq 1;$ 4) $Q = J \wedge \bar{Q}^* \vee Q^* \wedge \bar{K};$
20. Логическое уравнение синхронного RS-триггера с прямыми входами
- 1) $Q = \bar{S} \vee Q^* \wedge \bar{R}, \bar{S} \wedge \bar{R} \neq 0;$ 2) $Q = S \vee Q^* \wedge \bar{R}, SR \neq 1;$
- 3) $Q = S \wedge C \vee Q^* \wedge \bar{R} \wedge C, S \wedge R \wedge C \neq 1$ 4) $Q = J \wedge \bar{Q}^* \vee Q^* \wedge \bar{K};$
21. Определить период T симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $R_B=20 \text{ кОм}, C=300 \text{ нФ}$
- 1) 8,4 мкс; 2) 25,2 мкс; 3) 0,84 мс; 4) 1 мкс;
22. Определить период T симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $R_B=30 \text{ кОм}, C=600 \text{ нФ}$
- 1) 8,4 мкс; 2) 25,2 мкс; 3) 0,84 мс; 4) 1 мкс;
23. Определить период T симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $R_B=30 \text{ кОм}, C=0,02 \text{ мкФ}$
- 1) 8,4 мкс; 2) 25,2 мкс; 3) 0,84 мс; 4) 1 мкс;
24. Определить период T симметричного мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов при $R_B=20 \text{ кОм}, C=300 \text{ нФ}$
- 1) 4,8 мкс; 2) 25,2 мс; 3) 0,84 мкс; 4) 12 мкс;
25. Определить период T симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $R_B=60 \text{ кОм}, C=100 \text{ нФ}$
- 1) 4,8 мкс; 2) 25,2 мс; 3) 0,84 мкс; 4) 12 мкс;
26. Определить период T симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $R_B=120 \text{ кОм}, C=50 \text{ нФ}$
- 1) 4,8 мкс; 2) 25,2 мс; 3) 0,84 мкс; 4) 12 мкс;
27. Определить частоту колебаний f симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $T=8,4 \text{ мкс}, C=300 \text{ нФ}$
- 1) 119 Гц; 2) 39,68 кГц; 3) 119 кГц; 4) 1 мГц;
28. Определить частоту колебаний f симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $T=25,2 \text{ мкс}, C=300 \text{ нФ}$
- 1) 119 Гц; 2) 39,68 кГц; 3) 119 кГц; 4) 1 мГц;
29. Определить частоту колебаний f симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $T=0,84 \text{ мс}, C=600 \text{ нФ}$
- 1) 119 Гц; 2) 39,68 кГц; 3) 119 кГц; 4) 1 мГц;
30. Определить сопротивление базы R_B симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $T=8,4 \text{ мкс}, C=300 \text{ нФ}$
- 1) 10 кОм; 2) 15 кОм; 3) 300 кОм; 4) 1 МОм;
31. Определить сопротивление базы R_B симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $T=25,2 \text{ мкс}, C=1200 \text{ нФ}$
- 1) 10 кОм; 2) 15 кОм; 3) 300 кОм; 4) 1 МОм;
32. Определить сопротивление базы R_B симметричного мультивибратора с коллекторно-базовыми связями при $T=0,84 \text{ мс}, C=0,02 \text{ мкФ}$
- 1) 10 кОм; 2) 15 кОм; 3) 300 кОм; 4) 1 МОм;

33. Определить сопротивление базы R_B симметричного мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов при $T=8,4 \text{ мкс}$, $C=300 \text{ пФ}$

- 1) 1 кОм 2) 35 кОм; 3) 17,5 кОм 4) 70 кОм;

34. Определить сопротивление базы R_B симметричного мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов при $T=16,8 \text{ мкс}$, $C=150 \text{ пФ}$

- 1) 1 кОм; 2) 35 кОм; 3) 17,5 кОм; 4) 70 кОм;

35. Определить сопротивление базы R_B симметричного мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов при $T=16,8 \text{ мкс}$, $C=300 \text{ пФ}$

- 1) 1 кОм 2) 35 кОм 3) 17,5 кОм 4) 70 кОм;

36. Определить емкость конденсатора C симметричного мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов при $T=4,8 \text{ мкс}$, $R_B=20 \text{ кОм}$

- 1) 300 пФ; 2) 1200 пФ 3) 500 пФ; 4) 228 пФ;

37. Определить емкость конденсатора C симметричного мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов при $T=9,1 \text{ мкс}$, $R_B=10 \text{ кОм}$

- 1) 300 пФ; 2) 1200 пФ; 3) 500 пФ; 4) 228 пФ;

38. Определить емкость конденсатора C симметричного мультивибратора с фиксацией коллекторных потенциалов при $T=24 \text{ мкс}$, $R_B=20 \text{ кОм}$

- 1) 300 пФ; 2) 1200 пФ; 3) 500 пФ; 4) 228 пФ.

Список литературы

Основная: 1, 2, 3

Дополнительная 1, 2.

Учебно-методическая 1, 2

Лабораторная работа № 8

Изучение АМ и ЧМ колебаний. Детектирование амплитудно-модулированных сигналов.

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию вопросов изучения нелинейных процессов.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

– знать методы получения АМ и ЧМ колебаний, способы детектирования амплитудно-модулированных сигналов (ОПК-1, ПК-3)

– уметь читать электрические схемы, использовать современную измерительную аппаратуру, применять основные методы анализа электрических схем (ПК-1, ПК-3)

– владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность ознакомиться с практическими схемами получения амплитудно-модулированных колебаний, изучить временные характеристики амплитудно-модулированного и частотно-модулированного сигнала, при различных формах сигналов сообщения. Изучить способы детектирования АМ сигнала.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо изучить способы передачи информации на расстояние. Для передачи сигнала сообщения применяются сигналы

высокой частоты, излучаемые с помощью антенны и обладающие способностью распространяться в виде радиоволн (радиосигнал). Передаваемая информация должна быть каким-либо способом заложена в высокочастотное колебание частотой ω_0 , называемое несущим.

Радиосигнал можно представить в виде уравнения:

$$i(t) = I_m \cos[\omega_0 t + \varphi_0(t)] = I_m(t) \cos \varphi(t)$$

в котором амплитуда I_m или фаза φ изменяются по закону передаваемого сообщения.

Если I_m и φ постоянные величины, то уравнение описывает гармоническое колебание, не содержащее информации. Если I_m и φ изменяются по закону управляющего сигнала (сигнала сообщения), то колебание становится модулированным.

Под модуляцией в общем случае понимают такое воздействие на некоторую постоянную величину, в результате которого эта величина перестает быть постоянной и начинает изменяться в соответствии с оказанным на нее воздействием.

В зависимости от того, какой параметр изменяется (амплитуда I_m или угол φ), различают два основных вида модуляции: амплитудную и угловую. Угловая модуляция подразделяется на два вида: частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ).

Модуляция может характеризоваться как умножение модулируемой величины на функцию вида: $1 + mF(t)$

где $F(t)$ - закон изменения модулирующего сигнала, определяемый так, чтобы $F(t) \leq 1$.

1.1 Амплитудная модуляция

При однотоновой амплитудной модуляции изменяется только амплитуда колебаний, а фаза и частота остаются неизменными. Ток амплитудно-модулированного сигнала изменяется по закону:

$$\begin{aligned} i_{AM}(t) &= I_{m_0} [1 + m \cos(\Omega t + \nu)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = \\ &= I_{m_0} \left[\cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{m}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + (\nu + \varphi_0)] + \frac{m}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + (\varphi_0 - \nu)] \right] \end{aligned}$$

Первое слагаемое в правой части представляет собой немодулированное колебание с частотой ω_0 . Второе и третье слагаемые соответствуют новым колебаниям, появляющимся в процессе модулирования амплитуды. Частоты этих колебаний $\omega_0 + \Omega$ и $\omega_0 - \Omega$ называются верхней и нижней боковыми частотами.

Ширина спектра АМ равна 2Ω , а амплитуды колебаний боковых частот не могут превышать половины амплитуды немодулированного колебания.

Верхняя боковая полоса воспроизводит спектр модулирующего сигнала, а нижняя – представляет собой зеркальное отражение верхней. Таким образом, при АМ происходит транспозиция (перенос) спектра модулирующего сигнала: спектр смещается вправо на величину ω_0 по шкале частот, а ширина спектра удваивается.

Амплитудная модуляция наиболее простая, узкополосная и очень распространенная в радиотехнике

1.2 Угловая модуляция

Угловая модуляция подразделяется на два вида: частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ).

1). При ЧМ частота тока ω изменяется по закону: $\omega = \omega_0 + \Delta\omega F(t)$.

Амплитуду отклонения частоты $\Delta\varphi_m$ называют девиацией частоты колебаний. Если

индекс модуляции $m_\omega < 1$, частотную модуляцию называют узкополосной. Если $m_\omega \geq 3-5$ для самой высокой частоты модулирующего сигнала, то модуляцию называют широкополосной. Спектр ЧМ радиосигнала при гармоническом сигнале сообщения содержит бесконечное число составляющих вида: $\omega_0; \omega_0 \pm \Omega; \omega_0 \pm 2\Omega$ и т. д. При больших индексах модуляции m_ω амплитуды боковых частот могут превосходить амплитуду несущей, которая при некоторых значениях m_ω обращается в ноль

При фазовой модуляции фаза тока φ изменяется по закону: $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi F(t)$

Отличие спектра ФМ колебаний от спектра АМ колебаний заключается в том, что боковые составляющие сдвинуты по фазе на 90° .

Детектированием называется процесс выделения модулирующего сигнала из модулируемого высокочастотного колебания. Эта нелинейная операция является обратной амплитудной модуляции, т.е. на вход детекторного устройства поступает АМ сигнал, а на его выходе должно быть получено низкочастотное напряжение сигнала сообщения.

Детектор АМ колебаний должен содержать нелинейный элемент и фильтр нижних частот. В качестве нелинейного элемента используются диоды и транзисторы, в качестве фильтра – простейшая RC-цепь.

Различают квадратичное и линейное детектирование.

Квадратичное детектирование – это детектирование слабого сигнала. При квадратичном детектировании рабочий участок ВАХ диода можно аппроксимировать полиномом второй степени. спектральный состав тока в диоде определяется выражением:

$$I_0, i_\Omega, i_{2\Omega}, i_{\omega_0}, i_{\omega_0 - \Omega}, i_{\omega_0 + \Omega}, i_{2\omega_0}, i_{2\omega_0 - \Omega}, i_{2\omega_0 + \Omega}, i_{2(\omega_0 - \Omega)}, i_{2(\omega_0 + \Omega)},$$

где I_0 – постоянная составляющая тока, i_Ω – низкочастотная составляющая спектра сигнала сообщения, 2Ω – вторая гармоника сигнала сообщения, высокочастотные спектральные составляющие: ω_0 – несущей частоты, $\omega_0 + \Omega$ и $\omega_0 - \Omega$ – верхняя и нижняя боковые частоты, $2\omega_0$ – вторая гармоника несущей частоты, $2(\omega_0 - \Omega)$, $2(\omega_0 + \Omega)$ – верхняя и нижняя боковые частоты, $2\omega_0 - \Omega$, $2\omega_0 + \Omega$ – комбинационные частоты.

Для получения на выходе детектора напряжения звуковой частоты используется RC-фильтр. Сопротивление ёмкости С фильтра для радиочастот должно быть во много раз меньше резисторного сопротивления, и гораздо больше R для звуковых частот. При выполнении этих неравенств ВЧ колебания (8 составляющих) пройдут через ёмкость С и не будут создавать падения напряжения на резисторе R. На сопротивлении фильтра R выделятся постоянная составляющая тока I_0 , первая гармоника сигнала сообщения Ω (полезная) и вторая гармоника 2Ω (вредная) этого сигнала.

Амплитуда напряжения низкой частоты Ω пропорциональна U^2 , поэтому детектирование называется квадратичным. Разделительный конденсатор C_p не пропускает в цепь нагрузки R_H постоянную составляющую тока. Поэтому выходной сигнал будет содержать только две гармоники Ω и 2Ω . Коэффициент нелинейных

искажений равен:

$$k_{ни} = \frac{U_{2\Omega}}{U_\Omega} = \frac{m}{4}$$

достигает 25% при 100% модуляции. Поэтому коэффициент модуляции берут $m \approx 30\%$, тогда $k_{ни} \approx 7.5$.

Эта схема низкого качества, применяется в тех случаях, когда нужно иметь

минимальное число деталей.

На практике широко используется линейное детектирование – это детектирование сильного сигнала. Вольт-амперная характеристика нелинейного элемента при этом может быть аппроксимирована двумя отрезками с разной крутизной S_1 и S_2 , кривизной которых в точке перегиба можно пренебречь. Детектирование получается в результате нарушения детектором симметрии колебаний и усреднения полученных импульсов тока. Колебания низкой частоты Ω можно получить отыскивая среднее значение тока I_0 в положительный и отрицательный полупериод ВЧ колебаний.

К достоинствам линейного детектора можно отнести отсутствие нелинейных искажений, т. к. нет высших гармоник составляющих сигнала.

Оборудование и материалы

1. Многофункциональный генератор SDG-1025
2. Осциллограф GDS-71042
3. Осциллографические пробники HP-9060

Задания для работы на занятии

Задание 1. Изучение АМ колебаний.

1. Ознакомьтесь с оборудованием используемом для изучения временных и спектральных характеристик амплитудно-модулированного сигнала, при различных формах сигналов сообщения.
2. Собрать схему .
3. Генератором SDG-1025 установить частоту сигнала сообщения Ω в пределах 10 кГц - 20 кГц, а за тем частоту несущей $\omega=300\text{кГц}$
4. Зарисуйте временные характеристики каждой из этих частот.
5. Клавишами управления генератора модуляция «Mod» установить глубину модуляции 40%
6. Клавишами управления «уровень» и «F2» и установить аттенюатор 40дБ.
7. Изменять форму сигнала сообщения клавишами управления генератора SDG-1025.
8. Зарисовать временные характеристики для разной формы сигналов сообщения.

Задание 2. Изучение ЧМ колебаний.

1. Генератором SDG-1025 установить частоту сигнала сообщения Ω в пределах 10кГц-20кГц, а за тем частоту несущей $\omega=300\text{кГц}$
2. Клавишами управления генератора модуляция «Mod» установить тип FM
3. Клавишами управления генератора «ЧМ дев.» установить частоту девиации 2 кГц
4. Зарисовать амплитудно-частотный спектры, изменяя колесом прокрутки генератора частоту девиации от 2 до 60 кГц

Задание 3. Изучение детекторов АМ сигналов.

1. Ознакомьтесь с оборудованием используемом для изучения временных характеристик детектора амплитудно-модулированного сигнала. Собрать схему Генератором SDG-1025 установить частоту сигнала сообщения Ω в пределах 10кГц-15кГц, а за тем частоту несущей $\omega=300\text{кГц}$
2. Клавишами управления генератора модуляция «Mod» установить глубину модуляции 40%
3. Клавишами управления «уровень» и «F2» и установить аттенюатор 40дБ.
4. Зарисовать амплитудно-частотный спектры для разной формы сигналов сообщения.

Содержание отчёта.

1. Представить осциллограммы сигналов.

- Исследовать зависимость коэффициента передачи напряжения АМ детектора для модулированного сигнала от глубины модуляции (частота модулирующего сигнала $f_{\Omega} = 1000$ Гц, $R = 10$ кОм, $C = 6800$ пФ, $f_0 = 100 - 110$ кГц).
- Сделать выводы по результатам экспериментальных исследований.

Контрольные вопросы.

- Дайте обоснование необходимости модуляции в радиосвязи.
- Чем определяется выбор несущей частоты радиосигнала?
- Чем определяется выбор вида модуляции несущих колебаний?
- Каков физический смысл коэффициента модуляции АМ и ЧМ сигнала?
- Объясните процессы, происходящие в схемах получения
 - амплитудно-модулированных колебаний.
 - частотно-модулированных колебаний.
- Какой режим электронного прибора используется в схемах получения АМ и ЧМ сигнала?
- Укажите основные недостатки амплитудной модуляции и частотной модуляции.
- Какое детектирование АМ сигнала называется линейным?
- Как выбираются параметры RC-фильтра?
- При каких условиях в схеме детектора возникают частотные и нелинейные искажения?
- Сравнить помехоустойчивость АМ и ЧМ сигналов.

Тестовые задания

- Если модулируемая величина изменяется по закону $I_{m0}[1 + mF(t)]$, то это
 - модуляция амплитудная ;
 - модуляция частотная;
 - модуляция фазовая;
 - модуляция угловая.
- Если модулируемая величина изменяется по закону $\omega_0[1 + m_{\Omega}F(t)]$, то это
 - модуляция амплитудная ;
 - модуляция частотная;
 - модуляция фазовая;
 - модуляция угловая.
- Если модулируемая величина изменяется по закону $\varphi_0[1 + m_{\varphi}F(t)]$, то это
 - модуляция амплитудная ;
 - модуляция частотная;
 - модуляция фазовая;
 - модуляция угловая.
- Если модулируемая величина изменяется по закону, $I_{m0}[1 + m \cos \Omega t] \cos(\omega_0 t + \varphi)$, то это
 - модуляция амплитудная ;
 - модуляция частотная;
 - модуляция фазовая;
 - модуляция угловая.
- При модуляции сигналы
 - Перемножаются;
 - Складываются;
 - Вычитаются;
 - Делятся.
- При воздействии сигнала сообщения на управляющий или выходной электрод электронного прибора, осуществляется
 - модуляция амплитудная ;
 - модуляция частотная;
 - модуляция фазовая;
 - модуляция угловая.
- При воздействии сигнала сообщения на параметр (L или C) колебательного контура генератора, осуществляется модуляция:
 - модуляция амплитудная ;
 - модуляция частотная;

- 3). модуляция фазовая; 4). модуляция угловая.
8. Амплитудное ограничение служит для
- 1). подавления паразитной амплитудной модуляции;
 - 2). нарушения симметрии колебаний и усреднения полученных импульсов тока;
 - 3). получения напряжения, величина которого определяется мгновенной частотой входного колебания.
9. Детектирование получается в результате
- 1). нарушения симметрии колебаний и усреднения полученных импульсов тока;
 - 2). подавления паразитной амплитудной модуляции
 - 3). получения напряжения, величина которого определяется мгновенной частотой входного колебания

Список литературы

Основная: 1, 2, 3

Дополнительная 1, 2.

Учебно-методическая 1, 2, 3

Лабораторная работа №9.

Изучение электронных схем логических элементов. дешифратора с трёхразрядным счётчиком

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию цифровой электроники: электронных схем логических элементов. дешифратора с трёхразрядным счётчиком

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать принцип работы электронных схем логических элементов. дешифратора с трёхразрядным счётчиком и физические процессы, протекающие в них (ОПК-1, ПК-3)
- уметь читать электрические схемы, использовать современную измерительную аппаратуру, применять основные методы анализа электрических схем (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность ознакомиться с работой электронных схем дизъюнктора, конъюнктора, инвертора, элементов Пирса и Шеффера, а также диодного матричного двоично-восьмеричного дешифратора с параллельным трехразрядным счетчиком на триггерах.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо изучить электронные схемы дизъюнктора, конъюнктора, инвертора, элементов Пирса и Шеффера, а также диодного матричного двоично-восьмеричного дешифратора с параллельным трехразрядным счетчиком на триггерах. Основными логическими функциями являются логическое умножение (конъюнкция), логическое сложение (дизъюнкция) и логическое отрицание (инверсия).

Логический элемент НЕ называют инвертором, т.к. он инвертирует логическую величину X в $\bar{X}$: $Y = \bar{X}$. Функция инверсии обозначена кружком на выходе схемы. Этот кружок можно перенести и на вход схемы, что является справедливым только в случае инвертора. Инверсия, выполненная дважды, восстанавливает первоначальную величину.

В практической схеме инвертора может быть использован транзистор, выполняющий функции электронного ключа. Для реализации двух значений переменной используются два режима работы транзистора: режим отсечки (транзистор закрыт) и режим насыщения (транзистор открыт). Выходное напряжение определяется формулой: $U_{\text{вых}} = -(E_r - I_k R_k)$. Если напряжение $U_{\text{вх}} = 0$ (соответствует логическому 0), то под действием напряжения смещения $E_{\text{см}}$ транзистор будет закрыт, т.е. $I_k \approx 0$. Падение напряжения на резисторе R_k , равно $I_k R_k \approx 0$. Поэтому напряжение $U_{\text{вых}} \approx -E_k$, что соответствует логической 1. При подаче на вход напряжения, соответствующего логической 1, транзистор открывается. При этом $I_k R_k \approx E_k$, $U_{\text{вых}} \approx 0$, что соответствует логическому 0. Рассмотренная схема инвертора представляет собой пример резисторно-транзисторной логики (РТЛ).

Дизъюнктор осуществляет операцию в соответствии с равенством:

$$Y = X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_n$$

Это значит, что сигнал на выходе дизъюнктора действует тогда, когда имеется сигнал хотя бы на одном из его входов. Для сигнала положительной полярности диод включен в прямом направлении. При этом прямое сопротивление диода $R_{\text{пр}} \ll R_H$. В результате $U_{\text{вых}} \approx U_{\text{сиг}} = U_{\text{вх}}$. В данном случае напряжение на выход попадает непосредственно от источника сигнала. Рассмотренная схема представляет собой пример резисторно – диодной логики (РДЛ).

При логическом сложении два и более аргумента X соединены союзом или. Обозначают эту операцию $\vee$, $+$. $Y = X_1 \vee X_2$ (читается X_1 или X_2).

Конъюнктор осуществляет операцию в соответствии с равенством:

$$Y = X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_n$$

Это значит, что сигнал на выходе конъюнктора действует тогда, и только тогда, когда действуют сигналы на всех его входах. Если хоть одна переменная равна 0 ($X_k = 0$), то выходная функция $Y = 0$.

При отсутствии сигналов на V_{x1} , V_{x2} , ..., V_{xn} , все диоды $VD1$, $VD2$, ..., VDn открыты под действием напряжения E на выходе внутреннего источника тока. При этом выходное сопротивление схемы $R_{\text{вых}} = (R_{\text{пр}} + r) : n \ll R$ ($R_{\text{пр}}$ – сопротивление диодов в прямом направлении, $r \approx R_{\text{пр}}$ – малое внутреннее сопротивление источников сигналов). Напряжение на выходе $U_{\text{вых}} \approx 0$ (соответствует логическому нулю). Если на всех входах действует напряжение по модулю большее E , то все диоды закрыты и выходное сопротивление схемы $R_{\text{вых}} = (R_{\text{обр}} + r) : n \gg R$ ($R_{\text{обр}}$ – обратное сопротивление диодов). В этом случае $U_{\text{вых}} \approx E$ (соответствует логической 1). Если хоть одного из напряжений на входе нет, то сопротивление соответствующей цепи $(R_{\text{пр}} + r) \ll R$ и $U_{\text{вых}} \approx 0$. В данном случае напряжение на выход схемы поступает от внутреннего источника тока E . Сигналы, подаваемые на входы, переводят диоды в закрытое состояние. Рассмотренная схема тоже представляет пример резисторно-диодной логики (РДЛ).

Конъюнкцией, дизъюнкцией и инверсией можно выразить любые другие более сложные операции над аргументами X . Поэтому система функций $Y = X_1 \wedge X_2$; $Y = X_1 \vee X_2$; $Y = \bar{X}$ обладает функциональной полнотой.

Логический элемент ИЛИ-НЕ (“стрелка Пирса”) осуществляет операцию в соответствии с равенством:

$$Y = \overline{X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_n}$$

Это значит, что на выходе элемента Пирса есть сигнал тогда, и только тогда, когда нет сигнала ни на одном из его входов.

В состав схемы элемента Пирса входят дизъюнктор и инвертор. Функции сопротивления нагрузки дизъюнктора R_H выполняют последовательно включенные резисторы R_B и R . Сигнал с выхода дизъюнктора (точка А) подается на вход инвертора. Поэтому последовательно выполняются операции дизъюнкции и инверсии.

Элемент Пирса - универсальный логический элемент. При различных способах соединения только этих элементов можно осуществить любую из основных логических операций: инверсию, дизъюнкцию и конъюнкцию.

Элемент И-НЕ (“штрих Шеффера”) осуществляет операцию в соответствии с равенством: $Y = \overline{X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_n}$

Это значит, что на выходе элемента Шеффера нет сигнала тогда, и только тогда, когда сигналы действуют на всех его входах.

В состав схемы элемента Шеффера входят n транзисторных ключей, транзисторы которых VT1, VT2,..., VTn включены последовательно с общим сопротивлением нагрузки R_K . Только при наличии сигналов на всех входах все транзисторы открыты, при этом $I_K R_K \approx E_K$ и $U_{\text{вых}} \approx 0$. Если же хотя бы одного из входных сигналов нет, то соответствующий транзистор закрыт, в этом месте цепь разомкнута, следовательно, $I_K \approx 0$, $I_K R_K \approx 0$ и $U_{\text{вых}} \approx E_K$. Элемент Шеффера часто собирается с использованием многоэмиттерного транзистора (МЭТ). Так появились элементы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ).

Элемент Шеффера, как и элемент Пирса, является универсальным логическим элементов. При различных способах соединения только элементов Шеффера можно тоже осуществить любую из основных логических операций: инверсию, конъюнкцию и дизъюнкцию.

Диодный матричный двоично-восьмеричный дешифратор с параллельным трехразрядным счетчиком на триггерах.

Трехразрядный параллельный счетчик включает в себя 3 триггера. В схему каждого триггера входят: 2 транзистора; 2 резистора R_1 (нагрузочных); 2 резистора R_3 (через них осуществляется передача сигнала с коллектора одного транзистора на базу другого); 2 резистора R_4 (через них на базы транзисторов подается напряжение смещения) и 2 кнопки Кн (для управления триггерами).

Триггер ТГ1 является триггером 1-го (нижнего) разряда. Состояние ТГ1, при котором транзистор VT5 закрыт, а транзистор VT6 открыт, является нулевым. При этом на коллекторе VT5 действует напряжение высокого уровня (соответствующее логической 1), а на коллекторе VT6 – низкого уровня (соответствующего логическому 0). В нулевое состояние ТГ1 приводится в результате замыкания контактов Кн5. Если замкнуть контакты Кн6 (нажав на нее), то ТГ1 перейдет в единичное состояние, при этом напряжение высокого уровня (соответствующее логической 1) будет действовать на коллекторе VT6, а низкого уровня (соответствующего логическому 0) – на коллекторе VT5.

Аналогично работают триггеры 2-го (ТГ2) и 3-го (ТГ3) разрядов. В нулевое состояние они приводятся при нажатии соответственно кнопок Кн3 и Кн1, а в единичное – Кн4 и Кн2. Установка "0" (или "1") в каждом разряде независимы, следовательно, счетчик является параллельным.

В целом счётчик, состояние которого определяется состоянием трех триггеров, может фиксировать 8 (2^n , где n - число разрядов) двоичных трехразрядных чисел. Какие следует нажимать кнопки при задании каждого из этих 8 чисел, показано в таблице 1.

Дешифратор.

Двоично-восьмеричный диодный матричный дешифратор включает в себя восемь трехходовых конъюнкторов. В схему каждого конъюнктора входят три диода VD и резистор R_2 , поэтому счетчик называется диодным. Входами конъюнкторов являются аноды диодов, выходом – общая катодная шина (работа такого конъюнктора подробно рассмотрена выше). На входы конъюнкторов напряжение высокого уровня (соответствующего логической 1) подается с коллекторов закрытых транзисторов. Номер конъюнктора (номер шины) совпадает с восьмеричным числом (таблица 1). Соединение анодов диодов произведено в соответствии с таблицей 1. А именно: входы “0” конъюнктора присоединены к коллекторам VT5, VT3, VT1. Следовательно, на выходе этого конъюнктора (на выходе “0” шины) будет действовать напряжение, соответствующее логической 1, только в состоянии счётчика, представленном первой строкой таблицы 1; входы “1” конъюнктора присоединены к коллекторам VT6, VT3 и VT1, следовательно, на выходе этого конъюнктора (на выходе “1” шины) будет действовать напряжение, соответствующее логической 1, только в состоянии счётчика, представленном второй строкой таблицы 1 и т.д.

Оборудования и материалы.

- 1.Стенд №1 по вычислительной технике.
- 2.Стенд №2 по вычислительной технике.
- 3.Источник питания НУ-2005
- 4.Высокоомный вольтметр М-2018 с пределом измерения 15 В.
- 5.Комплект соединительных проводов.

Задание 1.

Изучите устройство стенда №1..Используя материал теоретической части работы, определите назначение блоков 1, 2 и 3 этого стенда. Составьте таблицы истинности (в логических переменных) для следующих случаев:

- а) для 1-го блока.
 - б) в случае последовательного включения 2-го и 1-го блоков.
 - в) в случае последовательного включения 3-го и 1-го блоков
- Заготовьте таблицы состояний для этих трех случаев. При этом логическому 0 соответствует нулевое напряжение, а логической 1 – 12В (на входе). Столбцы выходных напряжений будут заполнены вами после проведения измерений напряжения на выходе 1-го блока высокоомным вольтметром.

Задание 2.

Подайте напряжение питания на стенд №1 (24В), проконтролируйте правильность его полярности.

Заполните последний столбец таблицы состояний для 1-го блока. При этом надо иметь в виду следующее. При нажатой красной клавише напряжение 12В (соответствующее логической 1) подается на вход 1-го блока. При отжатой красной клавише на входе этого блока напряжение равно нулю (соответствует логическому 0), если обе черные клавиши выключены (отжаты).

Сопоставьте таблицы истинности и состояний для 1-го блока. Сделайте выводы.

Задание 3.

При нажатой средней черной клавише работают последовательно включенные 2-й и 1-й блоки (красная и правая черная клавиши должны быть отжаты). В этом случае напряжение (12В) подается на входы 2-го блока при помощи средних белых клавиш.

Измеряя напряжение на выходе 1-го блока, составьте таблицу состояний второго случая. Сравните таблицы истинности и состояний для этого случая, сделайте выводы.

Задание 4.

Нажмите вторую (крайнюю справа) черную клавишу. Теперь работают последовательно включенные 3-й и 1-й блоки. Напряжение (12В) на входы 3-го блока подается при помощи расположенных справа двух белых клавиш.

Измеряя напряжение на выходе 1-го блока, составьте таблицу состояний для 3-го случая. Сравните таблицы истинности и состояний для этого случая, сделайте выводы.

Задание 5.

Изучите устройства стенда №2. Подайте напряжение питания (18В) к стенду, соблюдая указанную на нем полярность.

Заполните следующую таблицу состояний:

Двоичное число	Нажатые кнопки П2	Включённая клавиша переключателя П1							
		7	6	5	4	3	2	1	0
000	1, 3, 5								
001	1, 3, 6								
010	1, 4, 5								
011	1, 4, 6								
100	2, 3, 5								
101	2, 3, 6								
110	2, 4, 5								
111	2, 4, 6								

В каждой клетке таблицы следует записать измеренное вольтметром напряжение на выходе при соответствующих кратковременно нажатых кнопках П2 и включенных клавишах П1.

В соответствии с заполненной таблицей состояний двоично-восьмеричного дешифратора с трехразрядным счетчиком, составьте таблицу истинности (в логических переменных).

6. Составьте отчет о работе.

Контрольные вопросы.

1. Инвертор, таблица истинности, электронная схема.
2. Дизъюнктор, таблица истинности, электронная схема.
3. Конъюнктор, таблица истинности, электронная схема.
4. Логические функции и логические элементы.
5. Элемент ИЛИ-НЕ, таблица истинности, электронная схема.
6. Элемент И-НЕ, таблица истинности, электронная схема.
7. Триггер в схеме двоичного счетчика.
8. Трехразрядный счетчик на триггерах.
9. Конъюнктор в схеме двоично-восьмеричного дешифратора.
10. Диодный матричный двоично-восьмеричный дешифратор с параллельным трехразрядным счетчиком на триггерах.

Тестовые задания

- 1.: Вычислите $1011 + 101$
10000; 10110; 11100 10100
- 2.: Вычислите $1001 + 1011$
10000; 10110; 11100 10100
- 3.: Вычислите $1111 + 111$
10000; 10110; 11100 10100
- 4.: Вычислите $1101 + 1111$
10000; 10110; 11100 10100
- 5.: Вычислите $10000 - 1011$
0101; 1101; 1001; -:1111
6. Вычислите $10100 - 1011$
0101; 1101; 1001; -:1111
7. Вычислите $10110 - 111$
0101; 1101; 1001; -:1111

8.Вычислите 11100-1111

0101; 1101; 1001; -:1111

9.Базисные логические функции НЕ

$$Y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \quad Y = \overline{x}; \quad Y = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \quad Y = \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge x_3}$$

10.Базисные логические функции ИЛИ

$$Y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \quad Y = \overline{x}; \quad Y = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \quad Y = \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge x_3}$$

11.:Базисные логические функции И

$$Y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \quad Y = \overline{x}; \quad Y = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \quad Y = \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge x_3}$$

12.:Базисные логические функции И-НЕ

$$Y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \quad Y = \overline{x}; \quad Y = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \quad Y = \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge x_3}$$

13Базисные логические функции ИЛИ-НЕ

$$Y = \overline{x_1 \vee x_2 \vee x_3}; \quad Y = x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \quad Y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \quad Y = \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge x_3}$$

14. $Y = x_1 \wedge x_2 = 1$, при

$$x_1 = x_2 = 1; \quad x_1 = 1, x_2 = 0; \quad x_1 = x_2 = 0; \quad x_1 = 0, x_2 = 1;$$

15. $Y = x_1 \vee x_2 = 0$, при

$$x_1 = x_2 = 1; \quad x_1 = 1, x_2 = 0; \quad x_1 = x_2 = 0; \quad x_1 = 0, x_2 = 1;$$

16. $Y = x_1 \wedge x_2 = 0$, при

$$x_1 = x_2 = 1; \quad x_1 = 1, x_2 = 0; \quad x_1 = x_2 = 0; \quad x_1 = 0, x_2 = 1;$$

17.: $Y = x_1 \vee x_2 = 1$, при

$$x_1 = x_2 = 1; \quad x_1 = 1, x_2 = 0; \quad x_1 = x_2 = 0; \quad x_1 = 0, x_2 = 1;$$

18.Транзистор работает в режиме отсечки, то выходное напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}} \approx 0 \quad |U_{\text{ВЫХ}}| \approx |E_K|; \quad U_{\text{ВЫХ}} < E_K \quad U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{БЭ}}$$

Список литературы

Основная:1, 2, 3

Дополнительная 1, 2.

Учебно-методическая 1, 2, 3

Лабораторная работа №10

Знакогенераторы ЭВМ.

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию цифровой электроники.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

– знать принцип работы электронных схем знакогенератора ЭВМ, практические схемы включения микросхем К155РЕ 21-24 и физические процессы, протекающие в них (ОПК-1,ПК-3)

– уметь читать электрические схемы, использовать современную измерительную

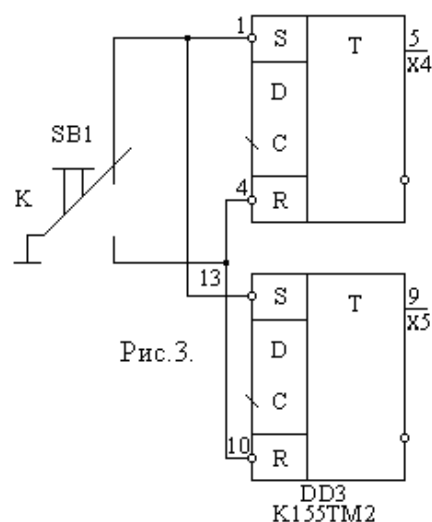
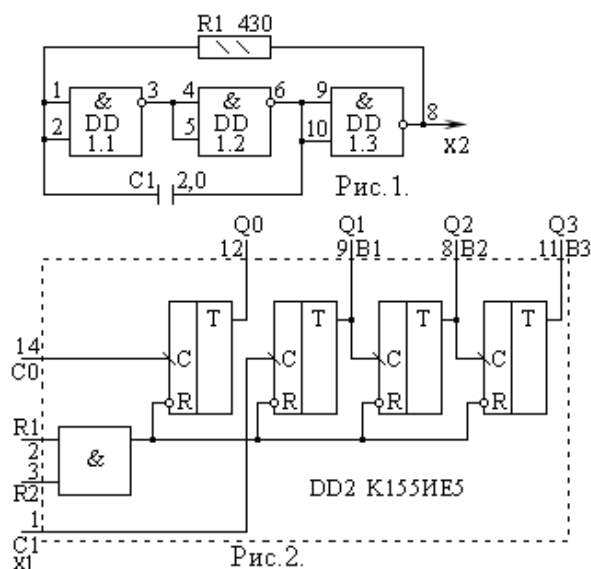
аппаратуру, применять основные методы анализа электрических схем (ПК-1,ПК-3)

– владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1,ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность ознакомиться с работой электронных схем знакогенератора ЭВМ. Ознакомиться с большими интегральными схемами серии К155: РЕ 21, РЕ 22, РЕ 23 и РЕ 24, выполняющими функции знакогенераторов ЭВМ. Изучить практические схемы включения микросхем К155РЕ 21-24; формирования умений и навыков, применение их на практике, развитие логического мышления; приобретения навыков самостоятельной работы

Функции генератора импульсов выполняет мультивибратор, построенный на трех интегральных инверторах: ИС DD1 К155ЛА3 (рис. 1)



Принцип действия такого мультивибратора прост. Пусть в момент включения на входе 1,2 сигнал низкого уровня. При этом на выходе 3 (входе 4,5) сигнал высокого, на выходе 6 (входе 9,10) -низкого и выходе 8 – высокого уровня. Конденсатор С1 начинает заряжаться через резистор R1 от выхода 8. Когда напряжение на входе 1,2 достигает уровня логической 1, уровни сигналов на всех входах - выходах меняются на противоположные. В результате конденсатор С1 начинает разряжаться через резистор R1 (на выходе 8 низкий уровень). В момент, когда потенциал на входе 1,2 падает до уровня логического 0, сигналы на входах-выходах опять меняются на противоположные, и все начинается сначала. При этом на выходе 8 периодически появляются импульсы напряжения прямоугольной формы.

Микросхема DD2 K155IE5 (рис.2) представляет собой четырехразрядный асинхронный счетчик импульсов. Счетчик IE5 состоит из двух частей: делителя на 2 (выход Q0, тактовый вход C0), который в данном случае не используется, и делителя на 8 (выходы Q1-Q3, тактовый вход C1). Сигналы с выходов Q1, Q2 и Q3 подаются на входы В1, В2 и В3 знакогенератора для осуществления развертки символа по вертикали (по строкам). При этом выход Х2 генератора импульсов должен быть соединен с входом Х1 счетчика. Частота следования импульсов на выходе мультивибратора (рис.1), а значит, на

входе счетчика выбрана такой, чтобы последовательно высвечиваемые элементы 1, 2, 3, ... строк слились в общую картину символа.

Для того чтобы показать, как построчно формируются символы на светодиодной матрице, предусмотрено управление работой счетчика DD2 (K155IE5) вручную при помощи кнопки SB1. С целью устранениядребезга переключающего контакта кнопки используется RS-триггер с инверсными входами (DD3, ИС K155TM2, рис.3). При нажатии кнопки SB1 на S – входах триггеров действует низкий активный уровень, при этом оба триггера переходят в единичное состояние и на их прямых выходах Q появляется высокий уровень сигнала (логическая 1). С прямого выхода любого из двух триггеров (X4 или X5) сигнал подается на вход X1 счетчика. В результате при каждом следующем нажатии кнопки SB1 высвечиваются соответствующие светодиоды первой, второй, третьей, ... строк матрицы HL1 ... HL35. Практически все необходимые переключения при переходе от автоколебательного режима к ручному управлению осуществляются при помощи первого (слева) тумблера на панели стенда.

Переходим теперь к описанию работы знакогенератора.

Основой знакогенераторов (ЗГ) телевизионных и других систем отображения информации (СОИ) является постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), в котором хранится информация о графике всех используемых знаков. Запись информации в матрицы накопителя ПЗУ производится при помощи фотошаблона на заводе-изготовителе. Достоинство таких ЗГ заключается в высокой надежности хранения информации и низкой стоимости при массовом выпуске интегральных схем (ИС).

Примером ЗГ могут быть ИС серии K155PE21 - PE24 (биполярная технология ТТЛ). Накопитель (НК) каждой из больших интегральных схем (БИС) PE21 - 24 имеет следующую исходную организацию: 32 знака из 8 строк (первая строка информации не несет) по 4 элемента в строке ($32 \cdot 8 \cdot 4$), что позволяет разместить графику этих знаков без одного - пятого - столбца матрицы (из 7 строк и 5 столбцов). Графика 5 столбца матрицы записана в НК БИС K155PE24. Такая организация позволяет повысить полезную информационную емкость стандартных НК $256 \cdot 4$.

В матрицы НК записаны буквы русского алфавита (PE21), латинского алфавита (PE22), арифметические знаки и цифры (PE23) и дополнительные знаки (пятый столбец) к каждой из перечисленных БИС (PE24). В совокупности эти БИСы образуют ЗГ на 94 знака форматов $7 \cdot 5$. Реализация ЗГ возможна только при совместном включении каждой БИС PE21, PE22, PE23 или их всех трех с БИС PE24, дополняющей 5 разряд символа (Y5).

Пример построения ЗГ на микросхемах PE21 - PE24 приведен на рис. 4. Выбор нужного символа производится с помощью 7 разрядного входного кода A1 ... A7 (код отображения информации КОИ - 7). Управление выбором одной из БИС DD4 PE21, DD5 PE22 или DD6 PE23 и одного из трех разрядов дополнительного ПЗУ (DD7 PE24) осуществляется вспомогательным дешифратором (ИС DD8 K155ИД4), который “разрешает” работу только одной из БИС PE21-PE23, а также мультиплексора (ИС DD9 K155КП2), который передает информацию из соответствующих ячеек памяти PE24. Управление дешифратором и мультиплексором происходит под действием адресного кода двух старших разрядов A6 и A7 в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2.

Код старших разрядов	Включенная БИС	Выбор разряда БИС PE24
----------------------	----------------	------------------------

A7	A6		
0	1	PE21	Y 5. 1 (Вывод 10)
1	0	PE22	Y 5. 2 (Вывод 11)
1	1	PE23	Y 5. 3 (Вывод 12)

Работа дешифратора DD8 (ИС ИД4, рис. 5) в схеме генератора символов (рис. 4) происходит в соответствии с таблицей 3 (используется один из двух дешифраторов).

Таблица 3.

Входы разрешения		Адресные входы		Выходы			
D	S1	A7	A6	D1	D2	D4	D8
B	H	H	H	H	B	B	B
B	H	H	B	B	H	B	B
B	H	B	H	B	B	H	B
B	H	B	B	B	B	B	H

Активный уровень на выходах дешифратора низкий. Входы S1, S2 разрешения БИС PE21-PE23 инверсные: работает та из них, на входах S1 и S2, которой действует сигнал низкого уровня (соответствующий логическому 0).

Работа мультиплексора DD9 (ИС КП2) в схеме происходит в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4.

Вход разрешения S1.	Адресные входы.		Передача сигнала на выход D происходит со входа.
	A7	A6	
H	H	H	D1
H	H	B	D2
H	B	H	D3
H	B	B	D4

Входы В₁-В₃ используются для подачи сигнала с целью развертки символа по вертикали: при коде 001 на выходах Y1-Y5 действуют сигналы, соответствующие 5 элементам первой строки символа, при коде 010 - второй, при коде 011 - третьей, ... и при коде 111 - седьмой.

Рассмотрению СОИ на базе светодиодной матрицы HL1- HL35.

В результате поочередной подачи сигнала низкого (активного) уровня от дешифратора строк DD10 на базы транзисторов VT1-VT7 происходит поочередное открывание этих транзисторов - электронных ключей строк. Работа дешифратора при этом происходит в соответствии с таблицей истинности, представленной ниже.

Поступление сигналов низкого (активного) уровня из НК ПЗУ на входы Y1-Y5 является причиной открывания соответствующих транзисторов VT8 - V12 - электронных ключей столбцов. Через светодиоды, включенные на пересечении эмиттерных цепей открытых транзисторов (ключей строк) и коллекторных цепей открытых транзисторов

(ключей столбцов), течет большой прямой ток. Это приводит к свечению диода. Если же хотя бы один из ключей (строк или столбцов) находится в режиме отсечки (транзистор закрыт), то текущий через соответствующий светодиод ток, очень мал и свечения диода не вызывает.

Оборудования и материалы

1. Лабораторный стенд G.2 для изучения знакогенераторов ЭВМ.
2. Стабилизированный выпрямитель НУ 3005.
3. Соединительные провода.

Задание 1.

Изучите, как выполнен монтаж лабораторного стенда G.2 для исследования работы знакогенераторов. Определите местонахождение всех составных частей устройства: генератора и счетчика импульсов; триггера для устранениядребезга контактов кнопки; знакогенераторов (БИС PE21-PE24); дешифратора и мультиплексора, входящих в схему ЗГ; дешифратора строк СОИ; транзисторных ключей строк и столбцов, а также светодиодной матрицы.

Внимательно рассмотрите, как выполнена трассировка цепей В1, В2, В3 сигналов развертки символа, а также А7А6 выбора группы символов. При этом нужно пользоваться принципиальной схемой ЗГ (рис. 4).

Рассмотрите также трассировку цепей управления транзисторными ключами строк и транзисторными ключами столбцов.

Задание 2.

Исследуйте работу ЗГ при ручном управлении счетчиком импульсов, определяющим уровни сигналов на шинах В1, В2, В3. Составьте таблицу 6 уровней сигналов на этих шинах и уровней сигналов на шинах Y1 ... Y5 при высвечивании элементов первой, второй, третьей, и седьмой строк конкретного символа (по указанию преподавателя).

Таблица 6.

Символ:							
В3	В2	В1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Н	Н	Н					
Н	Н	В					
Н	В	Н					
Н	В	В					
В	Н	Н					
В	Н	В					
В	В	Н					
В	В	В					

Экспериментально проверьте составленную таблицу. При этом на чертеже матрицы (7x5 клеток) отмечаются светящиеся светодиоды.

ВНИМАНИЕ !!!

Время работы ЗГ в режиме ручного управления от кнопки (высвечивание элементов символа по строкам) необходимо по возможности сократить, чтобы предупредить выход из строя светодиодов матрицы.

Задание 3.

Проверьте работу ЗГ в целом (в автоколебательном режиме при высвечивании всего символа на светодиодной матрице). С этой целью нужно составить таблицу 7.

При ее заполнении в пустых клетках каждой строки против соответствующего кода столбца таблицы записываются высвечиваемые на светодиодной матрице символы. Соответствующие уровни сигналов задаются при помощи семи тумблеров А7, А6, А5, А4, А3, А2, А1 (в таком порядке они расположены на стенде). При повороте головки

Таблица 7.

Код таблицы символов		Код строки таблицы		Код столбца таблицы							
				А3 А2 А1							
А7	А6	А5	А4	111	110	101	100	011	010	001	000
0	1	0	0								
0	1	0	1								
0	1	1	0								
0	1	1	1								
1	0	0	0								
1	0	0	1								
1	0	1	0								
1	0	1	1								
1	1	0	0								
1	1	0	1								
1	1	1	0								
1	1	1	1								

тумблера “от себя” устанавливается низкий уровень (логический 0), “к себе” - высокий уровень (логическая 1).

Проанализируйте полученные результаты.

6. Составьте отчет о работе.

Контрольные вопросы.

1. Что собой представляет генератор импульсов стенда? Как он работает?
2. Каково назначение счетчика импульсов? В соответствии с какой таблицей истинности он работает?
3. Какую функцию выполняет триггер? Когда он используется?
4. Каково назначение знакогенераторов?
5. Какова исходная организация знакогенераторов РЕ21-РЕ24?
6. Каким образом осуществляется выбор нужного символа при использовании ЗГ РЕ21-РЕ24? Для чего служат два старших разряда КОИ-7 (таблица истинности)?
7. Как работает дешифратор в схеме ЗГ (таблица истинности)?

8. Как работает мультиплексор в схеме ЗГ (таблица истинности)?
9. Под действием, каких сигналов происходит развертка символа по вертикали (по строкам)?
10. Каким образом дешифратор строк управляет работой электронных ключей строк? Таблица истинности этого дешифратора.
11. Какими сигналами управляются электронные ключи столбцов?
12. Как включены светодиоды матрицы? Какой из них светится?
13. Как сигнал с проводящей дорожки расположенной на одной стороне печатной платы, переходит на проводящую дорожку другой стороны этой платы?
14. Для чего шины, соединенные с выходами счетчика, подключены к входам ЗГ PE21-PE24?
15. Почему шины двух старших разрядов КОИ-7 подключены только к адресным входам дешифратора (работавшего в схеме ЗГ) и мультиплексора?
16. Каковы результаты анализа данных таблицы 7?

Лабораторная работа №11

Цифро-аналоговый преобразователь.

Цели и задачи: формирование общенаучной методологической компетенции, предполагающей знание современных концептуальных подходов к исследованию вопросов цифровой электроники.

Знания, умения и владения, приобретаемые студентами в результате освоения темы, в рамках формируемых компетенций:

- знать принцип работы электронных схем цифро-аналоговых преобразователей, практические схемы матриц и физические процессы, протекающие в них (ОПК-1, ПК-3)
- уметь читать электрические схемы, использовать современную измерительную аппаратуру, применять основные методы анализа электрических схем (ПК-1, ПК-3)
- владеть основными навыками экспериментального изучения различных явлений и процессов, методами физического эксперимента и средствами анализа экспериментальных данных (ПК-1, ПК-3).

Актуальность темы лабораторного занятия

Тема дает возможность ознакомиться с назначением цифро-аналогового преобразователя информации (ЦАП), основными узлами схемы ЦАП, работой матриц с весовыми резисторами и матриц типа R-2R.

Теоретическая часть

При рассмотрении данной темы необходимо обратить внимание на то, что получаемый от источника информации сигнал обычно представляет собой непрерывно меняющиеся по своему значению напряжение или ток (аналоговый сигнал).

Непосредственное использование и обработка аналоговых сигналов в цифровых устройствах не возможны. В результате возникает необходимость преобразования аналогового сигнала в цифровую форму. Соответствующая операция реализуется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). После цифровой обработки данных до передачи информации на исполнительные устройства эта информация поступает на преобразователи, позволяющие осуществить переход от цифровой формы обратно к аналоговой форме, которые называются цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП). Данная работа посвящена изучению ЦАП.

Принцип действия ЦАП основан на том, что любое двоичное число может быть представлено в виде суммы степеней числа 2. При этом вес 1 в записи двоичного числа растёт от младшего разряда к старшим в последовательности 1, 2, 4, 8, ... (2 в степенях 0, 1, 2, 3, ...). При преобразовании двоичного кода числа в аналоговую величину - напряжение или ток - необходимо каждой единице поставить в соответствие напряжение или ток со своим весом, зависящим от позиции данной единицы в записи числа, а затем выполнить суммирование.

Основные параметры ЦАП:

1. Разрешающая способность, определяемая количеством двоичных разрядов входного кода и характеризующаяся числом возможных уровней аналогового сигнала.

2. Точность, определяемая наибольшим значением отклонения аналогового сигнала от его расчетного значения. Она обычно выражается в виде половины уровня сигнала, соответствующего младшему значащему разряду (МЗР). Суммарная ошибка, вносимая элементами ЦАП не должна превышать погрешность квантования, равную МЗР.

3. Нелинейность, характеризующаяся максимальным отклонением линейно-нарастающего входного напряжения от прямой линии, соединяющей точки нуля и максимального выходного сигнала (как правило, не более $\pm 0,5$ значения уровня сигнала, соответствующего МЗР).

4. Время преобразования (установления), определяемое интервалом времени от момента подачи цифрового сигнала до момента достижения выходным сигналом установившегося значения.

Схема ЦАП содержит: резисторную матрицу, с помощью которой формируются выходные сигналы, пропорциональные входному коду; блок электронных ключей, коммутирующих резисторы матрицы; источник опорного стабилизированного напряжения.

Для матрицы с *весовыми резисторами* резистор, соответствующий младшему разряду – R_0 . Резисторы всех следующих разрядов меньше R_0 во столько раз, во сколько раз больше весовой код следующего старшего двоичного разряда. Двухпозиционные электронные ключи, коммутирующие резисторы матрицы, обозначены числами, равными весовым кодам соответствующих разрядов.

Каждый резистор может быть либо заземлен (левая позиция ключа), либо подсоединен к источнику опорного напряжения (правая позиция ключа).

Напряжение на выходе матрицы с весовыми резисторами равно произведению опорного напряжения на сумму весовых кодов находящихся в правой позиции ключей N ,

деленному на полную сумму всех весовых кодов ключей N_{max} :
$$U_{вых} = U_0 \frac{N}{N_{max}}$$

Недостатки матрицы с весовыми резисторами: к резисторам старших разрядов предъявляются жесткие требования по точности и стабильности, так как отклонение проводимости резистора старшего разряда от номинального значения не должно превышать проводимости резистора младшего разряда. нагрузка источника опорного напряжения изменяется в зависимости от положения ключей, что требует применения источника с малым внутренним сопротивлением для ослабления влияния этого сопротивления на величину опорного напряжения при разных токах нагрузки.

От перечисленных выше недостатков свободна схема ЦАП с матрицей типа $R-2R$, в которой используются резисторы только двух номиналов – R и $2R$, что значительно

облегчает их изготовление с необходимой степенью точности. Кроме того, матрица типа $R-2R$ обладает постоянным равным $3R$ сопротивлением, которым нагружен источник опорного напряжения (независимо от положения ключей).

Выходное напряжение определяется умножением уровня сигнала на сумму весовых кодов находящихся в правой позиции ключей.

$$U_{вых} = \frac{U_0}{3} \frac{1}{2^{n-1}} \sum a_i$$

Электронные ключи.

Матрицы резисторов ЦАП построены так, чтобы весовые коды ключей и соответствующих разрядов регистра, хранящего информацию о преобразуемом цифровом сигнале, были одинаковы. При этом сигналы с прямого и инверсного выходов каждого разряда регистра поступают на управляющие входы пар транзисторных ключей. Один из ключей пары обеспечивает подачу опорного напряжения, а другой - заземление резистора матрицы.

В схемах электронных ключей ЦАП обычно используются МОП – транзисторы с индуцированным каналом.

В качестве источников опорного напряжения применяются выпрямители с транзисторными стабилизаторами выходного напряжения. При этом изменение стабилизированного напряжения должно быть не более $\pm 0,5$ значения уровня сигнала, соответствующего МЗР.

При использовании матрицы с весовыми резисторами стабилизация осуществляется как по напряжению питания (на выходе выпрямителя, так и по току нагрузки). При применении матрицы типа $R-2R$ достаточна стабилизация только по напряжению питания, так как ток нагрузки остается постоянным.

На лицевой панели стенда установлены 9 пар гнезд для подключения резисторов матриц. Если в пары гнезд RC, RE и RG установлены перемычки, а в пары гнезд RB, RD, RF и RH - вставки с резисторами соответственно 120, 60, 30 и 15 кОм, то реализуется матрица с весовыми резисторами (пары гнезд RA и RL при этом остаются свободными). Если же в пары гнезд RA, RB, RD, RF, RH и RL включены вставки с резисторами по 30 кОм, а в пары гнезд RC, RE и RG по 15 кОм, то оказывается собранной резисторная матрица типа $R-2R$.

Схема ЦАП лабораторного стенда предельно упрощена. В ней отсутствуют источник опорного напряжения и электронные ключи, а коммутацию резисторов матриц осуществляет сам регистр счетчика DD1 (микросхема K155ИЕ7). В данном случае функции опорного напряжения выполняет напряжение уровня логической 1, и вывод резистора считается заземленным, когда на нем действует напряжение уровня логического 0.

При оценке работоспособности такой схемы необходимо иметь в виду следующее: разброс уровней напряжений соответствующий логическим 1 и 0 на разных выходах (Q0, Q1, Q2 и Q3) регистра, отличие напряжения уровня логического 0 от истинного нуля. И то и другое не должно приводить к большому изменению выходного напряжения, чем половина шага его квантования. Такое требование может быть удовлетворено только в случае малого (не более 4) числа разрядов ЦАП, при котором шаг квантования достаточно велик.

Непосредственное подключение к выходам регистра счетчика светодиодных индикаторов приводит к падению напряжения уровня логической 1 и в результате уменьшению разброса этого уровня более чем в 1,5 раза. Таким образом, облегчается выполнение сформулированного выше требования.

ЦАП лабораторного стенда может работать с ручным управлением и в автоматическом режиме (переключатель SA1,). В первом случае, где с целью предупреждения влияния дребезга контактов кнопки SB2 используется RS-триггер с инверсными входами (DD2, микросхема K155TM2). На входе “+1” счетчика рабочий перепад уровней 0/1 действует при отпускании кнопки. Во втором случае счетные импульсы поступают с выхода мультивибратора (DD3, микросхема K155ЛА3). Частота следования импульсов может быть грубо изменена при помощи переключателя SA4 и плавно - резистора R2

Для быстрого обнуления счетчика используется кнопка SB3 (его обнуление происходит при высоком уровне сигнала на входе R).

Уровни напряжений (В или Н) на выходах Q0, Q1, Q2 и Q3 счетчика контролируются светодиодными индикаторами HL1-HL4. Для измерения величин напряжений на этих выходах и выходе резисторной матрицы имеются специальные гнезда

Оборудование и материалы

5. Осциллограф АСК-21060.
6. Источник питания НУ-3003 – 2 шт.
7. Стенд для изучения цифро-аналогового преобразователя.
8. Осциллографические пробники НР-9060

Задание 1.

Пользуясь схемами рис.2 - 6, докажите, что напряжение на выходе матрицы соответственно в 1, 2, 3, 4 и 5 раз больше уровня **МЗР**.

Задание 2.

Рассчитайте точность, которую должен иметь резистор старшего разряда в матрице с весовыми резисторами, если число разрядов равно 4, 6, 8 и 10.

Задание 3.

Нарисуйте схемы (аналогичные схеме рис.8), когда в правой позиции находятся только 4-й, 2-й или 1-й ключи (рис.7). Используя метод схем замещения, докажите, что в этих случаях выходное напряжение соответственно в 6, 12 и 24 раза меньше опорного.

Задание 4.

Рассчитайте на сколько процентов может отклоняться опорное напряжение от его среднего значения (коэффициент стабилизации) в 4-х и 10-и разрядных **ЦАП** с матрицами с весовыми резисторами и типа **R-2R**.

Задание 5.

Изучите схему лабораторного стенда (рис.18).

Задание 6.

Установите на выходе стабилизированного источника тока напряжение **5В**. В правильной полярности подайте питание к стенду.

Внимание! При повышенном напряжении и неправильной полярности подключения источника тока микросхемы стенда выходят из строя!

Задание 7.

Проверьте работу счетчика DD1. Установите переключатель SA1 (рис.19) в

положение, соответствующее ручному пуску. Нажав кнопку SB3, обнулите счетчик. Высокоомным вольтметром (выбрав нужный предел измерения) измерьте напряжение на выходах Q0, Q1, Q2 и Q3 счетчика. Полученные данные занесите в первую строку таблицы 1.

Таблица 1.

Число входных импульсов.	Напряжение на выходах счетчика.			
	Q3	Q2	Q1	Q0
0				
1				
2				
...				
15				

Затем по одному разу нажимая и отпуская кнопку SB2, заполните все следующие строки этой таблицы.

Сопоставьте уровень сигнала, соответствующего половине шага квантования выходного напряжения, с разбросом данных для напряжения уровня логических 1 и 0, а также с величинами напряжений уровня логического 0.

Задание 8.

Проверьте работу ЦАП с матрицами с весовыми резисторами и типа R-2R. С этой целью после обнуления счетчика подавайте по одному импульсу на его вход и измеряйте напряжение на выходе матриц. Полученные данные занесите в таблицу 2.

Таблица 2.

Число входных импульсов.		Матрица с весовыми резисторами.	Матрица типа R-2R.
		Выходное напряжение	Выходное напряжение.
0			
1			
2			
...			
14			
15			

По данным таблицы 2 постройте 2 графика. Используя эти графики, оцените нелинейность ЦАП с первой и второй резисторными матрицами.

Задание 9.

Переключением SA1 установите автоматический режим работы ЦАП. Подайте сигнал с выхода стенда на осциллограф. Варьируя частоту следования импульсов (переключателем SA4) и изменяя частоту развертки осциллографа, получите устойчивую осциллограмму работы ЦАП (аналогичную приведенной на рис.18). Сопоставьте осциллограммы при использовании в ЦАП матриц с весовыми резисторами и типа R-2R (обе осциллограммы следует зарисовать).

Поочередно вынимая отдельные вилки с резисторами (или коротко замыкающие перемычки) по осциллограмме наблюдайте изменения в работе стенда. По результатам

наблюдений сделайте выводы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Каково назначение ЦАП?
2. В чем заключается принцип действия ЦАП?
3. Каковы основные параметры ЦАП?
4. Из каких основных блоков состоит схема ЦАП?
5. Какие функции в схеме ЦАП выполняет резисторная матрица?
6. Что собой представляют электронные ключи и каково их назначение?
7. Какие требования предъявляются к источнику опорного напряжения?
8. Каковы недостатки матрицы с весовыми резисторами?
9. В чем заключаются достоинства матрицы типа $R-2R$?

Список литературы

1. Основная: 1, 2, 3.
2. Дополнительная 1, 2.
3. Учебно-методическая 1, 2.

Список литературы

Основная:

1. Кульгина, Л. М. Радиофизика и электроника: учеб. пособие: Направление 011200.62 - Физика. Профиль подготовки - Физика Земли и планет. Бакалавриат / Л. М. Кульгина; Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь: СКФУ, 2013. - 56 с. : ил.

2. Кульгина Л.М., Закинян А.Р., Дорожко Д.С. Радиофизика и электроника: учебное пособие. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2020- 140 с.

3. Щука, А. А. Электроника: учеб. пособие для вузов / А.А. Щука. - 2-е изд. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. - 739 с.: ил.; 24. - (Учебная литература для вузов). - Гриф: Рек. УМО. - Предм. указ.: с. 731-739. - Библиогр. в конце разд. - ISBN 978-5-9775-0160-6

4. Кубанов В.П., Ружников В.А., Сподобаев М.Ю.,

Основы теории антенн и распространения радиоволн: Учебное пособие / Под ред. В.П.– С.: ИНУЛ-ПГУТИ, 2016. – 258 с.: ил.

Дополнительная:

1. Котельников, В. А. Собрание трудов: [науч. изд.] / В.А. Котельников ; Ин-т радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Моск. энерг. ин-та (техн. ун-та), Т. 1, Радиофизика, информатика, телекоммуникации. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 520 с. : ил. - Прил.: с. 450-518. - Библиогр.: с. 519. - ISBN 978-5-9221-1011-2

2. Кульгина, Л. М. (СКФУ). Радиофизика и электроника: Курс лекций / Л. М. Кульгина ; Федеральное агентство по образованию, Ставроп. гос. ун-т. - Ставрополь : Изд-во СГУ, 2005. - 130 с. - Библиогр.: с. 126

3. Антенны и распространение радиоволн: учебник / В.Т. Ерёменко [и др.].

– Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2017. – 329 с.

Учебно-методическая:

1. Методические указания по организации самостоятельной работы по дисциплине "Радиофизика и электроника". Направление подготовки 03.03.02 - Физика. Направленность (профиль) - Физика конденсированного состояния вещества. Физика Земли и планет. Квалификация выпускника - Бакалавр. Форма обучения - Очная. Учебный план 2015 г. Изучается в 6 семестре / сост. Л. М. Кульгина; Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь: СКФУ, 2015. - 36 с.

2. Радиофизика и электроника: учеб.-метод. пособие : (спец. 010701 - Физика) / авт.-сост. Л. М. Кульгина ; Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО "Ставроп. гос. ун-т". - Ставрополь: Изд-во СГУ, 2009. - 94 с. - Библиогр.: с. 92.

3. Анищенко В.С., Стрелкова Г.И. Радиофизика и нелинейная динамика. Учебное пособие. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2017. 167 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАДИОФИЗИКА

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Фундаментальная и прикладная физика»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Радиофизика»

1. План-график выполнения самостоятельной работы
2. Контрольные точки и виды отчетности по ним
3. Методические рекомендации по изучению теоретического материала
5. Методические указания к самостоятельным работам
6. Форма промежуточной аттестации
7. Список рекомендуемой литературы

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 студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

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 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.

1. Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Радиофизика»

Самостоятельная работа проводится в виде собеседования и проверки лабораторных занятий. Основной целью этих видов самостоятельной работы является улучшение профессиональной подготовки специалистов высшей квалификации, направленное на формирование действенной системы фундаментальных и профессиональных знаний, умений и навыков, которые они могли бы свободно и самостоятельно применять в практической деятельности.

В ходе организации самостоятельной работы решаются следующие задачи:

- углублять и расширять их профессиональные знания;
- формировать у них интерес к учебно-познавательной деятельности;
- научить студентов овладевать приемами процесса познания;
- развивать у них самостоятельность, активность, ответственность;
- развивать познавательные способности будущих специалистов.

В ходе постановки целей и задач необходимо учитывать, что их выполнение направлено не только на формирование общеучебных умений и навыков, но и определяется рамками данной предметной области.

При самостоятельной работе над лекционным курсом используются записи лекций, учебники и учебные пособия, в которых содержится соответствующий теоретический материал. На контролируемую самостоятельную работу студентов отводится примерно 33% времени, отводимого на изучение каждой дисциплины, куда входит самостоятельное конспектирование и изучение теоретического материала по учебникам и учебным пособиям, а затем собеседование с ведущим преподавателем курса по изученным темам (коллоквиумы).

Для успешной работы над курсом «Радиофизика и электроника» необходимо выполнить задания для самостоятельной работы. Для этого предназначены настоящие рекомендации к самостоятельным работам. Для каждого задания сформулирована цель и даны методические рекомендации по выполнению, представлен список литературы, необходимой для выполнения самостоятельной работы.

2. План-график выполнения самостоятельной работы

Наименование тем дисциплины	Вид самостоятельной работы	Неделя
Тема 1. Сигналы сообщения. Основные положения о теории эклектических цепей.	Собеседование	3 неделя
Тема 2. Электронные приборы.	Собеседование	5 неделя
Тема 3.	Собеседование	7 неделя

Электронные усилители.		
Тема 4. Генераторы гармонических и релакционных колебаний.	Собеседование	9 неделя
Тема 5. Преобразование сигнала в нелинейных системах	Собеседование	11 неделя
Тема 6. Введение в цифровую электронику.	Собеседование	13 неделя

3.Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количес тво баллов
1.	Собеседование по темам 1-2	5 неделя	20
2.	Собеседование по теме 3,4	9 неделя	20
3.	Собеседование по теме 5,6	13 неделя	15
	Итого за 7 семестр		55
	Итого		55

4. Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Задания для самостоятельной работы

Тема 1. Сигналы сообщения. Основные положения о теории эклектических цепей.

1. Найти емкость конденсатора, который необходимо подключить к индуктивности $L=250$ мкГн, при $\lambda=900$ м.
2. Определить величину R , при которой в контуре с $L=75$ мкГн, $C=1200$ пФ, разряд конденсатора будет аperiodическим.
3. Найти полосу пропускания последовательного контура, имеющего $f_0=460$ кГц, $Q=46$.
4. Последовательный колебательный контур имеет $C=400$ пФ, $L=0,1$ мГн, $R=0,5$ Ом. Определить собственную частоту f_0 , логарифмический декремент d и добротность Q .
5. Резонансная частота последовательного контура $f_0=200$ кГц, $C=1000$ пФ, $2\Delta f=10$ кГц. Определить активное сопротивление R и добротность Q .
6. Последовательный колебательный контур имеет $R=10$ Ом, $X_L=500$ Ом (при резонансной частоте) $U=5$ В. Определить U_L , U_C , U_R , Q , $\cos \varphi$.
7. Найти полное сопротивление при резонансе параллельного контура, если $L=100$ мкГн, $C=625$ пФ, $R=5$ Ом.
8. Найти резонансное сопротивление и добротность параллельного контура со следующими данными: $L=0,4$ мГн, $C=800$ пФ, $R=6$ Ом.
9. Найти полосу пропускания контура и добротность со следующими данными: $L=150$ мГн, $R=5$ Ом, $\lambda=500$ м.
10. Найти добротность, волновое сопротивление, резонансную частоту и полосу пропускания контура со следующими данными: $L=50$ мГн, $C=200$ пФ, $R=10$ Ом, $E=1$ В.

Рекомендуемая литература:

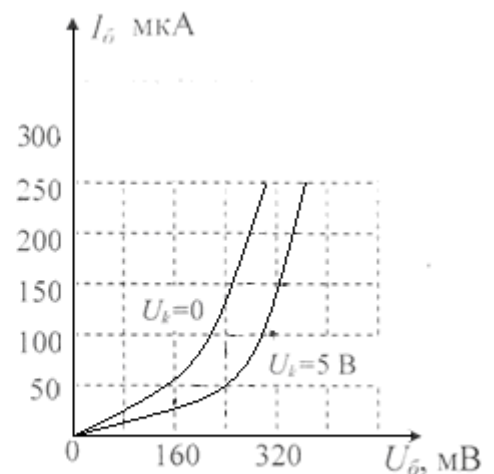
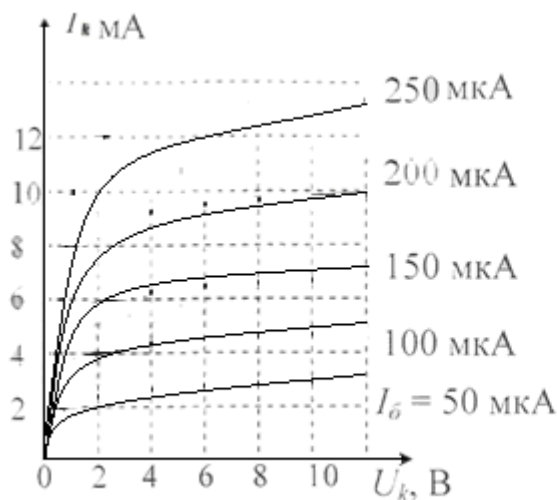
[1],[3],[8],[11]; Доп. [4]; Internet [1],[2]

Тема 2. Электронные приборы

1, Какие параметры используются при описании транзистора как четырехполюсника?

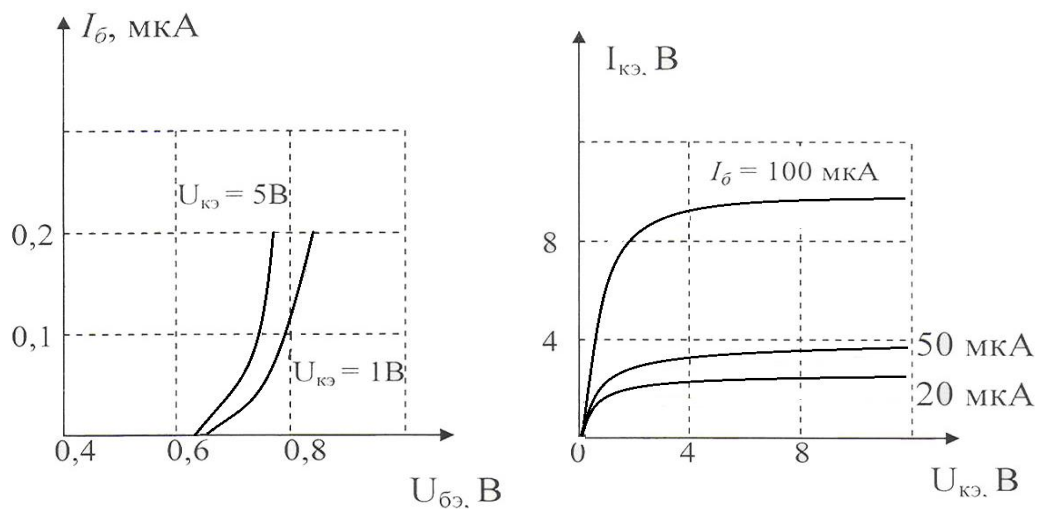
2, Запишите систему уравнений, определяющих Z-параметры. На основании этой системы постройте схему замещений, представляющую прибор как четырехполюсник. В каком режиме определяются Z-параметры? Как создать этот режим?

3, Запишите систему уравнений, определяющих Y-параметры, постройте схему замещений, представляющую транзистор как четырехполюсник. В каком режиме определяются Y-параметры, как создать этот режим?



4. Запишите систему уравнений, определяющих H-параметры, постройте схему замещения, представляющую транзистор как четырехполюсник. В каком режиме определяются H-параметры?

5. Найти H'-параметры транзистора ГТ 321А по его характеристикам, соответствующим схеме с ОЭ, для $U_k = 5\text{В}$, $I_{\text{б}} = 150\text{мкА}$. Изобразить схему замещения транзистора.



6. Рассчитать H'-параметры транзистора КТ 333 по его характеристикам, соответствующим схеме с ОЭ, для $U_{\text{к}} = 5\text{ В}$, $I_{\text{б}} = 100\text{ }\mu\text{А}$. Какие параметры используются при описании транзистора как четырехполюсник.

Запишите систему уравнений, определяющих Z-параметры. На основании этой системы постройте схему замещений, представляющую прибор как четырехполюсник. В каком режиме определяются Z-параметры? Как сделать этот режим? Запишите систему уравнений, определяющих Y-параметры, постройте схему замещений, представляющую транзистор как четырехполюсник. В каком режиме определяются Y-параметры, как создать этот режим?

Запишите систему уравнений, определяющих H-параметры, постройте схему замещения, представляющую транзистор как четырехполюсник. В каком режиме определяются H-параметры?

Установите связь между Y- и H-параметрами.

Установите связь между Z- и H-параметрами.

Измеренные H-параметры транзистора имеют следующие значения: $H_{11} = 1500\text{ }\Omega$, $H_{22} = 10^{-4}\text{ }\Omega^{-1}$, $H_{21} = 50$, $H_{12} = 10^{-5}\text{ }\Omega^{-1}$. Вычислить Y-параметры этого транзистора.

Найдите связь между H- и H'-параметрами.

Установить связь между Z- и Y-параметрами.

Рекомендуемая литература:

[2],[3],[5],[6]; Доп. [1],[5],[6]; Internet [4],[5]

Тема 3. Электронные усилители.

1. Начертить принципиальную схему УННЧ на различных активных элементах, объяснить назначение элементов в схеме.
2. Нарисовать полную схему замещения УННЧ. Для чего нужна схема замещения, как она составляется?
3. При выполнении каких условий создается упрощенная схема замещения УНЧ для СЧ. Рассчитать коэффициент передачи усилителя на средних частотах.
4. Пользуясь упрощенной схемой замещения для ВЧ, рассчитать коэффициент передачи усилителя на верхних частотах. Определить коэффициент частотных искажений M_v . Как влияют величины элементов схемы на АЧХ усилителя? Зная C_0 и R_3 определить верхнюю граничную частоту F_{vgr} , если емкость C_0 увеличить в 2 раза?
5. Пользуясь упрощенной схемой замещения для НЧ рассчитать коэффициент передачи для нижних частот $K_{нч}$. Определить M_n . Как влияет величина элементов схемы на АЧХ усилителя? Зная C_p и R определить нижнюю граничную частоту $F_{нгр}$. Как изменится $F_{нгр}$, если емкость C_p увеличить в 4 раза? Уменьшить в 4 раза?
6. Как влияет величина сопротивления нагрузки на коэффициент усиления, на коэффициент нелинейных искажений усилителя? Объясните, пользуясь треугольником мощностей.

7. На вход усилителя приложено напряжение

$$U_c + \Delta U_c = U_c + U_{cm} \sin \omega t = -2 + 0.05 \omega t.$$

Зависимость выходных характеристик активного элемента $i_a = i_a(U_a)$ при $U_c = \text{const}$ изображена на рис.

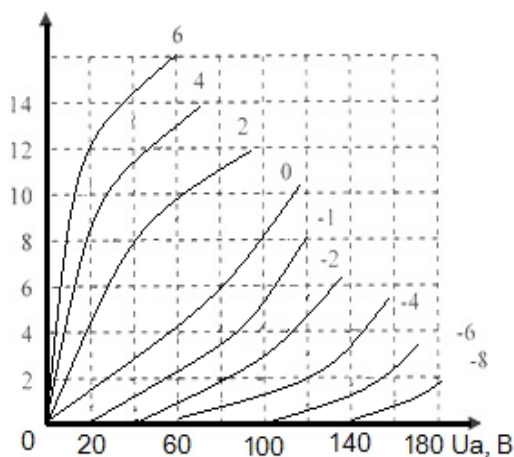


Рис.

1. Напряжение питания $E_a=150$ В, $U_c=-2$ В, $R_H=15$ кОм. Найти параметры триода: внутреннее сопротивление $R_{\text{в}}$, крутизну характеристики S , статический коэффициент усиления μ в рабочей точке. Положение рабочей точки определить графически. Определить амплитудное и мгновенное значение токов активного элемента

8. Определить коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности схемы (рис. 2), предназначенной для усиления слабых синусоидальных колебаний. Входные характеристики транзистора изображены на рис. 3., выходные - на рис. 4. Сопротивление нагрузки $R_H=500$ Ом, э.д.с. источника питания $E_{\text{кз}}=10$ В, э.д.с. смещения в цепи управления $E_{\text{бз}}=0,25$ В.

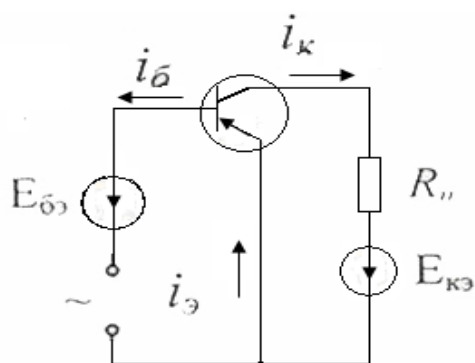


Рис. 2

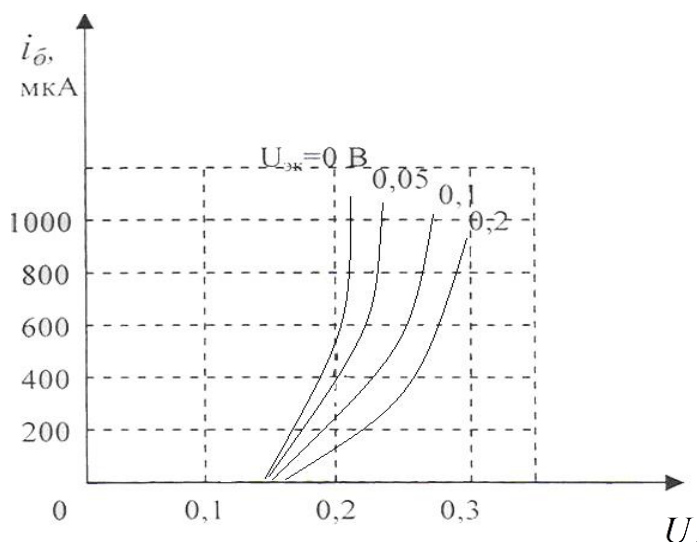
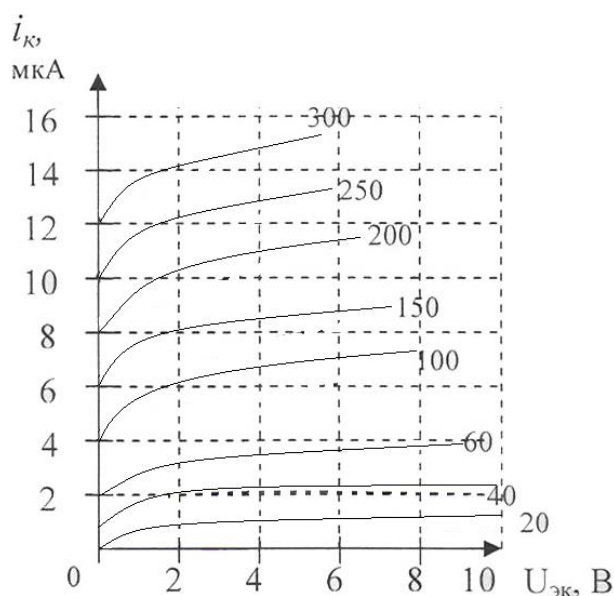


рис. 3



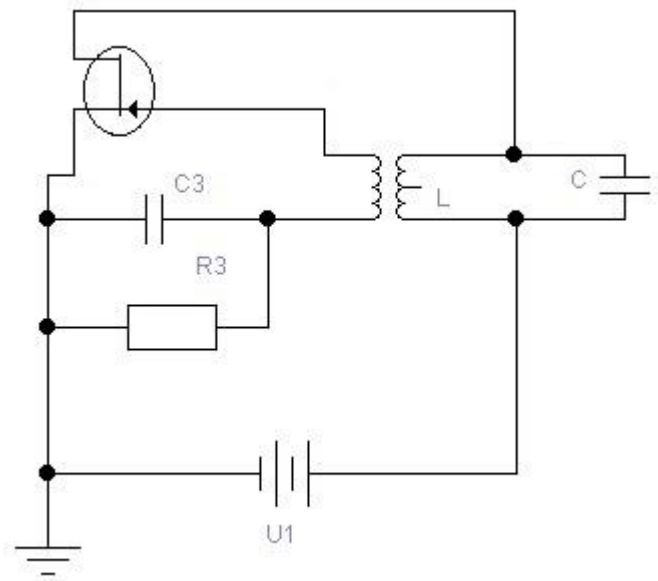
Рекомендуемая литература:

[1],[4],[6],[12]; Доп. [6]; Internet [1],[3]

Тема 4. Генераторы гармонических и релаксационных колебаний
Самостоятельная контролируемая работа.

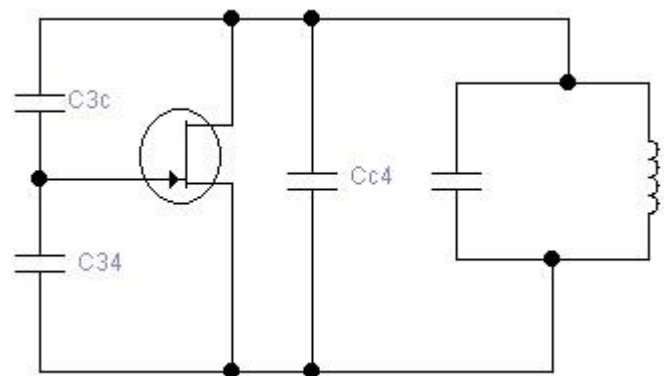
1. В схеме последовательного питания автогенератора с трансформаторной связью между стоковой и затворной цепями включен контур со следующими параметрами: $L=1,6\text{ мГн}$ $C=0,0016\text{ МкФ}$, $R=6\text{ Ом}$, $R_i=10^4\text{ Ом}$, $M=0,08\text{ мГн}$ $\mu_0=100$.

Пользуясь линейной теорией генератора, установить, будет ли данная схема самовозбуждаться, и рассчитать частоту генерации.



2. Определить диапазон волн, который можно получить от генератора последовательного питания, собранного на триоде с контуром в анодной цепи, если известны: минимальная и максимальная емкости конденсатора. Настройки контура: $C_{\text{мин}} = 20\text{ см}$ и

$C_{\text{макс}} = 250\text{ см}$; внутриэлектронные емкости транзистора (см рис. Затворная цепь не показана): $C_{зс} = 2,3\text{ см}$; $C_{си} = 0,9\text{ см}$; $C_{зи} = 2,5\text{ см}$. индуктивность контурной катушки $L=25000\text{ см}$.

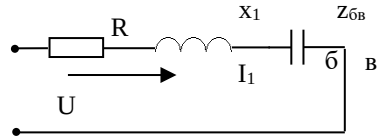


Рекомендуемая литература:

[6],[10]; Доп. [3],[4]; Internet [2],[4]

Тема 5. Преобразование сигнала в нелинейных системах

1. Источник модулированного напряжения $u(t) = 10\cos 10^4 t \sin 10^6 t$, В питает последовательный резонансный контур, настроенный на частоту $\omega = 10^6 \text{ с}^{-1}$. Добротность контура $Q = 100$, сопротивление резистора $R = 10 \text{ Ом}$. Определить закон изменения тока в цепи.



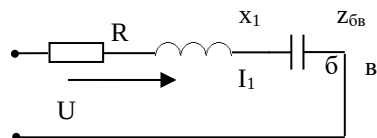
2. Напряжение, модулированное по амплитуде имеет вид:

$$u(t) = 10\sin(10^4 t - 45^\circ) - 4\sin(11 \cdot 10^3 t + 45^\circ)$$

Построить график этого напряжения в функции во времени.

3. Источник тока $i(t) = 0.1(1 - 0.5\sin 2 \cdot 10^4 t)\sin 50 \cdot 10^4 t$, А питает последовательный резонансный контур, настроенный на частоту $\omega = 50 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. Добротность контура $Q = 100$, $R = 10 \text{ Ом}$. Рассчитать действующие значения тока и напряжения на зажимах источника тока.

4. Источник модулированного напряжения $u(t) = 10\cos 10^4 t \sin 10^6 t$, В питает последовательный резонансный контур, настроенный на частоту $\omega = 10^6 \text{ с}^{-1}$. Добротность контура $Q = 100$, сопротивление резистора $R = 10 \text{ Ом}$. Определить закон изменения тока в цепи.



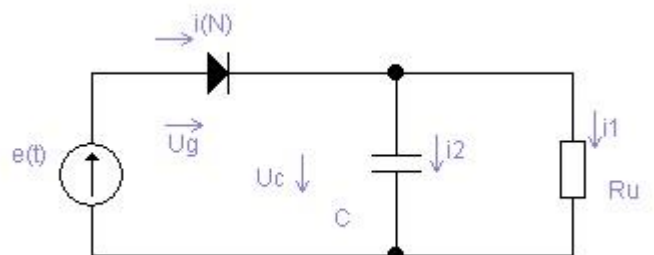
5. Напряжение, модулированное по амплитуде имеет вид:

$$u(t) = 10\sin(10^4 t - 45^\circ) - 4\sin(11 \cdot 10^3 t + 45^\circ)$$

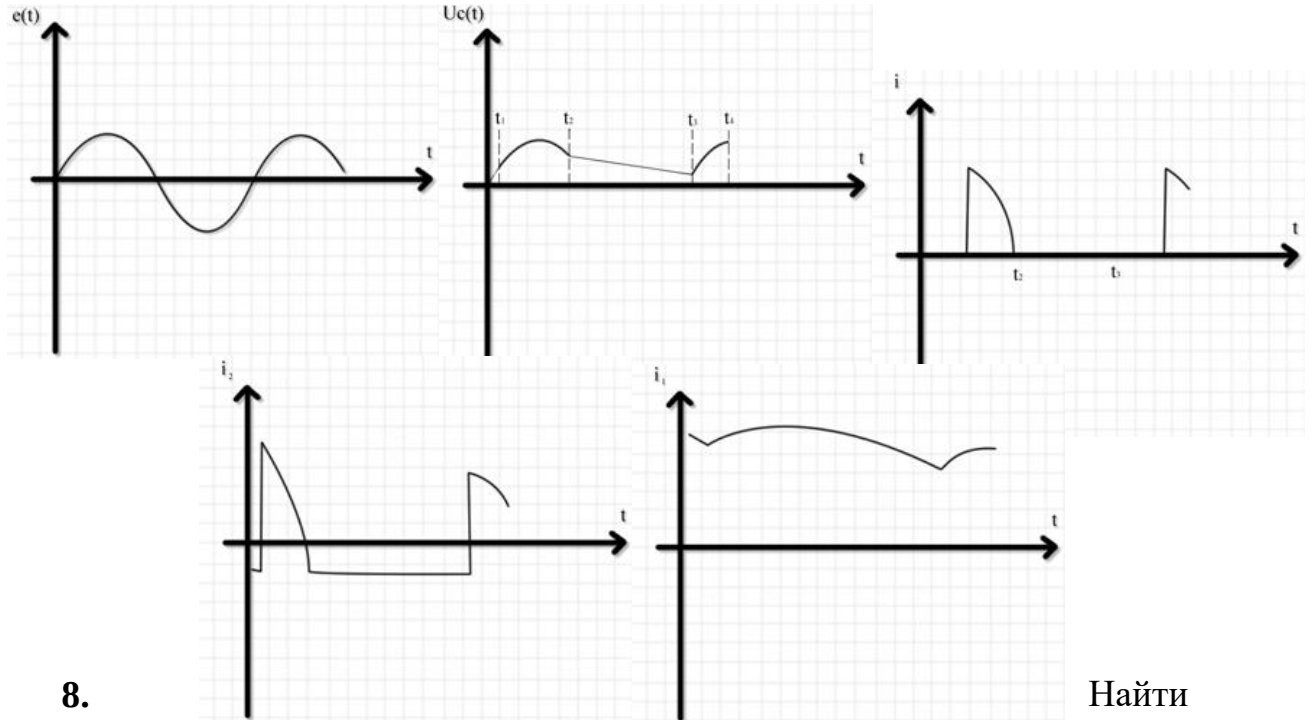
Построить график этого напряжения в функции во времени.

6. Источник тока $i(t) = 0.1(1 - 0.5\sin 2 \cdot 10^4 t)\sin 50 \cdot 10^4 t$, А питает последовательный резонансный контур, настроенный на частоту $\omega = 50 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. Добротность контура $Q = 100$, $R = 10 \text{ Ом}$. Рассчитать действующие значения тока и напряжения на зажимах источника тока.

7. Рассмотреть схему однополупериодного выпрямителя когда сопротивление нагрузки шунтированной емкостью построить графики зависимости от времени ЭДС $e(t)$, $U_c(t)$, напряжение на конденсаторе тока



через диод $i(t)$ тока через нагрузку $i_1(t)$ тока через емкость $i_2(t)$



8.

Найти

коэффициент модуляции, если максимальное значение амплитуды напряжения при модуляции 100 в, а минимальное 20 в. Найти амплитуду напряжения U_0 до модуляции.

9. Модулированные колебания получаются подачей модулирующего напряжения на сток полевого транзистора. Контур генератора имеет данные $L=10^5 \text{ см}$, $C=4 \cdot 10^2 \text{ см}$, $R=10 \text{ Ом}$. Амплитуда тока в контуре изменяется в пределах от $I_{\text{макс}}=9a$ до $I_{\text{мин}}=3a$. Амплитуда тока до модуляции $I_0=6a$.

10. Контур настроен на волну $\lambda=600 \text{ м}$ и имеет $C=600 \text{ см}$, $R=10 \text{ Ом}$. В контур введена модулирующая Э.Д.С. $E=100 \text{ в}$ с глубиной модуляции $M=0,8$, наибольшая частота модуляции $\Omega_{\text{макс}}=5000 \text{ гц}$.

Определить, во сколько раз ослабляются токи боковых частот по сравнению с токами на несущей частот.

Рекомендуемая литература:

[3],[6],[11]; Доп. [3],[8]; Internet [2],[3]

Тема 6. Введение в цифровую электронику

1. Системы счисления. Выполнение арифметических операций.
2. Основные элементы алгебры логики.

3. Триггеры, разновидности, функциональное назначение.
4. Таблицы истинности и временные диаграммы асинхронного и синхронного JK – триггеров.
5. Регистры, функциональное назначение.
6. Параллельный регистр хранения.
7. Последовательный регистр хранения.
8. Шифратор, функциональное назначение, логические уравнения работы.
9. Дешифратор, функциональное назначение, логические уравнения работы.
10. Основные параметры цифро-аналоговых преобразователей.
11. Работа ЦАП с суммированием напряжений.

5. Методические указания к самостоятельным работам

Примеры решения задач

Тема 1. Сигналы сообщения. Основные положения о теории эклектических цепей

Пример 1.

Найти продолжительность колебаний t_k и число полных колебаний N , совершившихся за это время, для контура, содержащего: $L = 40 \text{ мкГн}$, $C = 250 \text{ нФ}$, $R = 6 \text{ Ом}$; при логарифмическом декременте затухания $d = 0,05$.

Решение.

Амплитуда колебаний (тока и напряжения) убывает по экспоненциальному закону $e^{-\delta t}$, следовательно, для полного прекращения колебаний необходимо время t , равное бесконечности. Практически считают колебания закончившимися, когда амплитуда колебаний достигает 1% первоначальной величины. Обозначив время, соответствующее данному условию, через t_k , можно записать:

$$2. \quad 0,01U = Ue^{-\delta t_k}$$

$$\text{Отсюда } e^{\delta t_k} = 100, \quad t_k = \frac{\ln 100}{\delta} = \frac{4,6}{\delta}; \quad N = \frac{t_k}{T} = \frac{4,6}{d},$$

Где $d = \delta T$ - логарифмический декремент затухания.

$$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{6 \cdot 10^6}{2 \cdot 40} = 7,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}, \quad t_k = \frac{4,6}{\delta} = \frac{4,6}{7,5} \cdot 10^{-4} = 0,613 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

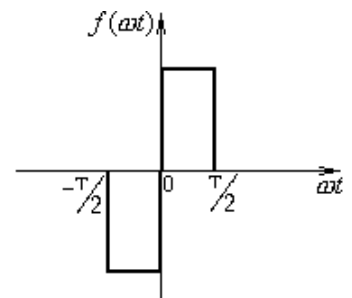
$$N = \frac{4,6}{d} = \frac{4,6}{0,05} = 92.$$

Пример 2.

Определить абсолютное и относительное значение полосы пропускания по току одиночного последовательного контура, настроенного на волну $\lambda = 500 \text{ м}$ и содержащего $L = 150 \text{ мкГн}$, $R = 50 \text{ Ом}$.

Решение.

Спектр частот, ограниченный на резонансной кривой значениями тока, равными $0,707 I_{\text{рез}}$, называется абсолютной полосой пропускания контура по току $2\Delta f$. Относительной полосой пропускания называют отношение абсолютной полосы к резонансной частоте:



$$3. \quad \mathcal{E} = \frac{2\Delta f}{f_0}$$

Абсолютная полоса пропускания связана с параметрами контура соотношением:

$$4. \quad 2\Delta f = \frac{d}{\pi} f_0 = \frac{f_0}{Q}$$

Резонансная частота f_0 равна:

$$5. \quad f_0 = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{500} = 6 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

Добротность контура:

$$6. \quad Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{2\pi \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{5} = 113,$$

откуда

$$2\Delta f = \frac{6 \cdot 10^5}{113} = 5,3 \text{ кГц}$$

$$7. \quad \mathcal{E} = \frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q} = \frac{1}{113} = 8,85 \cdot 10^{-3}.$$

Пример 3.

Разложите в ряд Фурье прямоугольный импульс

Решение.

Прямоугольный импульс симметричен относительно оси абсцисс и

начала координат, следовательно, ряд Фурье будет состоять из нечетных синусоид:

$$f(x) = A_1' \sin x + A_3' \sin 3x + A_5' \sin 5x + \dots,$$

Пусть $x = \omega t$,

Тогда:

$$f(x) = \begin{cases} A & 0 \leq t \leq T/2 \\ -A & -T/2 \leq t \leq 0 \end{cases}$$

$$A_1' = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^0 -A \sin k\omega t d\omega t + \int_0^{\pi} A \sin k\omega t d\omega t \right] =$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{k} A \cos k\omega t \Big|_{-\pi}^0 - \frac{1}{k} A \cos k\omega t \Big|_0^{\pi} \right] = \frac{A}{k\pi} [2 - 2 \cos k\pi]$$

$$k = 0, 2, 4 \quad A_k' = 0$$

$$k = 1, 3, 5 \quad A_k' = \frac{4A}{k\pi}$$

$$f(x) = \frac{4A}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots \right)$$

Тема 2. Электронные приборы

Пример 1.

Пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора П210Б (рис а, б), включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ), определить h -параметры для точки 1 с координатами $U_{K1} = -4,5B$, $I_{B1} = 47mA$. Нелинейностью характеристик на рассматриваемом участке пренебречь.

Решение

Входное сопротивление транзистора:

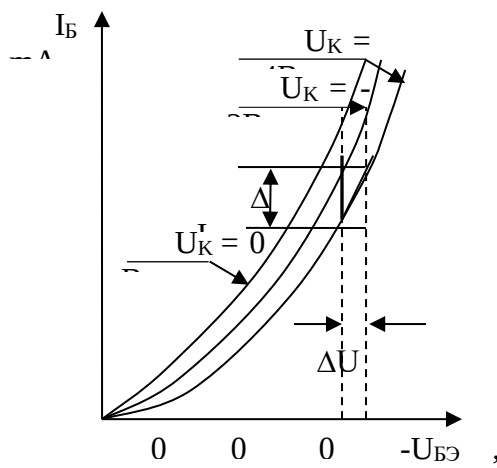
$$h_{11}' = \frac{U_{B2} - U_{B1}}{I_{B2} - I_{B1}} = \frac{\Delta U_{BЭ}}{\Delta I_B} = \frac{0,38 - 0,36}{60 - 47} = \frac{0,02}{13 \cdot 10^{-3}} = 1,54 \text{ Ом},$$

где в соответствии с входной характеристикой (рис. а), для точек 1 и 2:

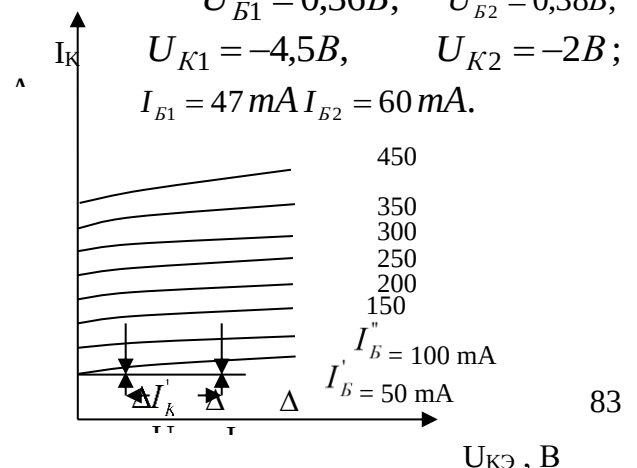
$$U_{B1} = 0,36B, \quad U_{B2} = 0,38B;$$

$$U_{K1} = -4,5B, \quad U_{K2} = -2B;$$

$$I_{B1} = 47 \text{ mA} \quad I_{B2} = 60 \text{ mA}.$$



а



б)

Коэффициент обратной связи по напряжению:

$$h'_{12} = \frac{\Delta U_B}{\Delta U_K} = \frac{0,38 - 0,36}{-2 - (-4,5)} = \frac{0,02}{2,5} = 0,008 = 8 \cdot 10^{-3},$$

здесь: $\Delta U_K = U_{K2} - U_{K1} = -2 - (-4,5) = 2,5B$

$$\Delta U_B = U_{B2} - U_{B1} = 0,38 - 0,36 = 0,02B,$$

где в соответствии с входными характеристиками транзистора (рис. а) для точек 1 и 2 $U_{K2} = -2B$, $U_{K1} = -4,5B$ при неизменном токе базы $I_{B2} = 60mA$.

Коэффициент передачи тока:

$$h'_{21} = \frac{\Delta I_K''}{\Delta I_B} = \frac{1}{0,05} = 20,$$

где $\Delta I_K'' = 1A$, $\Delta I_B = I_{B2} - I_{B1} = 100 - 50 = 50mA = 0,05A$, где в соответствии с выходной характеристикой (рис. б) транзистора при неизменном значении напряжения коллектора $U_{K1} = -4,5B$, $I_{B2} = 100mA$, $I_{B1} = 50mA$.

Выходная проводимость транзистора:

$$h'_{22} = \frac{\Delta I_K'}{\Delta U_K} = \frac{0,4}{6,5} = 0,0615 \frac{A}{B} = 61,5 \frac{mA}{B},$$

Где $\Delta I_K' = 0,4A$, $\Delta U_K = U_{K2} - U_{K1} = -4,5 - (-11) = 6,5B$; здесь в соответствии с выходными характеристиками транзистора (рис. б) при неизменном токе базы $I_B' = 50mA$ при $U_{K2} = -4,5B$, $U_{K1} = -11B$.

Пример 2.

Установить связь между системами параметров транзисторов.

Решение.

Z-, Y-, H- параметры транзисторов определяются из систем линейных уравнений:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot Z_{11} + \dot{I}_2 \cdot Z_{12} \quad (1), \quad \dot{I}_1 = \dot{U}_1 \cdot Y_{11} + \dot{U}_2 \cdot Y_{12} \quad (3),$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_1 \cdot Z_{21} + \dot{I}_2 \cdot Z_{22} \quad (2), \quad \dot{I}_2 = \dot{U}_1 \cdot Y_{21} + \dot{U}_2 \cdot Y_{22} \quad (4),$$

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \cdot H_{11} + \dot{U}_2 \cdot H_{12} \quad (5),$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 \cdot H_{21} + \dot{U}_2 \cdot H_{22} \quad (6).$$

На практике возникает необходимость в переходе от одной системы

уравнений к другой. Это возможно, так как между системами (1)-(6) существует однозначная зависимость. Формулы для такого перехода можно получить, решая соответствующие уравнения относительно независимых переменных. Так, чтобы выразить Y-параметры через H-параметры, найдем $\dot{I}_1$ из уравнения (5):

$$\dot{I}_1 = \frac{1}{H_{11}}\dot{U}_1 - \frac{H_{12}}{H_{11}}\dot{U}_2 \quad (7)$$

Подставим (7) в (6), получим:

$$\dot{I}_2 = \frac{H_{21}}{H_{11}}\dot{U}_1 + (H_{22} - H_{21}\frac{H_{12}}{H_{11}})\dot{U}_2 \quad (8)$$

Сравнивая уравнения (3) и (7), получим:

$$Y_{11} = \frac{1}{H_{11}}, \quad Y_{12} = -\frac{H_{12}}{H_{11}}$$

Сравнивая уравнения (4) и (8), установим, что:

$$Y_{21} = \frac{H_{21}}{H_{11}}, \quad Y_{22} = H_{22} - \frac{H_{21}H_{12}}{H_{11}}$$

Подобным образом можно получить и другие формулы перехода. Это рекомендуется сделать самостоятельно. Ответы приведены в таблице.

$Z_{11} = \frac{H}{H_{22}} = \frac{Y_{22}}{Y}$ $Z_{12} = \frac{H_{12}}{H_{22}} = -\frac{Y_{12}}{Y}$ $Z_{21} = -\frac{H_{21}}{H_{22}} = -\frac{Y_{21}}{Y}$ $Z_{22} = \frac{1}{H_{22}} = \frac{Y_{11}}{Y}$	$Y_{11} = \frac{1}{H_{11}} = \frac{Z_{22}}{Z}$ $Y_{12} = -\frac{H_{12}}{H_{11}} = -\frac{Z_{12}}{Z}$ $Y_{21} = \frac{H_{21}}{H_{11}} = -\frac{Z_{21}}{Z}$ $Y_{22} = -\frac{H}{H_{11}} = \frac{Z_{11}}{Z}$	$H_{11} = \frac{1}{Y_{11}} = \frac{Z}{Z_{22}}$ $H_{12} = -\frac{Y_{12}}{Y_{11}} = \frac{Z_{12}}{Z_{22}}$ $H_{21} = \frac{Y_{21}}{Y_{11}} = -\frac{Z_{21}}{Z_{22}}$ $H_{22} = \frac{Y}{Y_{11}} = \frac{1}{Z_{22}}$
--	---	---

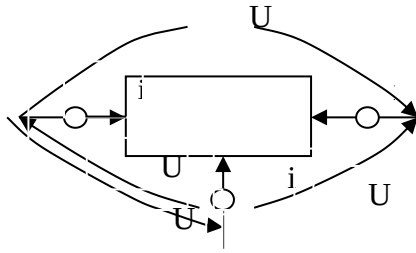
Здесь: $Z = Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}$; $Y = Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}$; $H = H_{11}H_{22} - H_{12}H_{21}$.

Пример 3.

Установить связь между параметрами транзистора при переходе от одной схемы включения к другой.

Решение.

Поскольку смысл входных ($\dot{I}_1, \dot{U}_1$) и выходных величин ($\dot{I}_2, \dot{U}_2$) зависит от схемы включения транзистора, Y – и H – параметры различны для разных схем включения (Z – параметры применяются редко, поэтому они здесь не рассматриваются). Чтобы указать для какой схемы указан данный параметр, вводится третий индекс: например $H_{11\Omega}$ – параметр H_{11} в схеме с ОЭ и т.д.



Пересчет параметров транзистора из одной схемы включения в другую может быть сделан следующим образом. Рассматривая транзистор как трехполусное устройство, обозначим токи и напряжения в нем, как показано на рисунке.

Основываясь на законах Кирхгофа, можно записать следующие уравнения:

$$I_{\text{Э}} + I_{\text{К}} + I_{\text{Б}} = 0$$

$$U_{\text{ЭБ}} = -U_{\text{БЭ}}; U_{\text{КЭ}} = U_{\text{БЭ}} + U_{\text{КБ}} \approx U_{\text{КБ}}, \text{ так как } U_{\text{БЭ}} \ll U_{\text{КБ}}$$

Уравнение Н – параметров для схемы с ОБ:

$$\dot{U}_{\text{ЭБ}} = H_{11\text{Б}} \dot{I}_{\text{Э}} + H_{12\text{Б}} \dot{U}_{\text{КБ}} \quad (1)$$

$$\dot{I}_{\text{К}} = H_{11\text{Б}} \dot{I}_{\text{Э}} + H_{22\text{Б}} \dot{U}_{\text{КБ}} \quad (2)$$

Использував соотношения для токов и направлений, получим:

$$-\dot{U}_{\text{БЭ}} = -H_{11\text{Б}} (\dot{I}_{\text{К}} + \dot{I}_{\text{Б}}) + H_{12\text{Б}} \dot{U}_{\text{КЭ}} \quad (3)$$

$$\dot{I}_{\text{К}} = -H_{21\text{Б}} (\dot{I}_{\text{К}} + \dot{I}_{\text{Б}}) + H_{22\text{Б}} \dot{U}_{\text{КЭ}} \quad (4)$$

Отсюда найдем:

$$\dot{I}_{\text{К}} = -\frac{H_{21\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}} \dot{I}_{\text{Б}} + \frac{H_{22\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}} \dot{U}_{\text{КЭ}} \quad (5)$$

$$\dot{U}_{\text{БЭ}} = \frac{H_{11\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}} \dot{I}_{\text{Б}} + \left(\frac{H_{22\text{Б}} H_{11\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}} - H_{12\text{Б}} \right) \dot{U}_{\text{КЭ}} \quad (6)$$

Сравнивая полученный результат с уравнениями Н – параметров в схеме с ОЭ, найдем, что:

$$H_{11\text{Э}} = \frac{H_{11\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}}, \quad H_{21\text{Э}} = \frac{-H_{21\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}}$$

$$H_{12\text{Э}} = \frac{H_{22\text{Б}} H_{11\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}} - H_{12\text{Б}}, \quad H_{22\text{Э}} = \frac{H_{22\text{Б}}}{1 + H_{21\text{Б}}}.$$

Аналогично можно найти соотношения и для других схем включения. Результаты этих расчетов приведены в таблице.

$Y_{11Э} = Y_{11Б} + Y_{12Б} + Y_{21Б} + Y_{22Б}$ $Y_{12Э} = -Y_{12Б} - Y_{22Б}$ $Y_{21Э} = +Y_{21Б} + Y_{22Б}$ $Y_{22Э} = Y_{22Б}$	$Y_{11Б} = Y_{11Э} + Y_{12Э} + Y_{21Э} + Y_{22Э}$ $Y_{12Б} = -Y_{12Э} - Y_{22Э}$ $Y_{21Б} = -Y_{21Э} - Y_{22Э}$ $Y_{22Б} = Y_{22Э}$
$H_{11Б} = \frac{H_{11Э}}{1 + H_{21Э}}$ $H_{12Б} = \frac{H_{11Э}H_{22Э}}{1 + H_{21Э}} - H_{12Э}$ $H_{21Б} = -\frac{H_{21Э}}{1 + H_{21Э}}$ $H_{22Б} = \frac{H_{22Э}}{1 + H_{21Э}}$	$H_{11Э} = \frac{H_{11Б}}{1 + H_{21Б}}$ $H_{12Э} = \frac{H_{11Б}H_{22Б}}{1 + H_{21Б}} - H_{12Б}$ $H_{21Э} = -\frac{H_{21Б}}{1 + H_{21Б}}$ $H_{22Э} = \frac{H_{22Б}}{1 + H_{21Б}}$

Пример 4.

Рассчитать значения Н-параметров транзистора типа П416, включенного по схеме с общей базой, если известны значения этих параметров при включении транзистора по схеме с общим эмиттером: $H_{11Э} = 650 \text{ Ом}$, $H_{12Э} = 32 \cdot 10^{-3}$, $H_{21Э} = 40$, $H_{22Э} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ См}$.

Решение:

При решении задачи, воспользуемся формулами пересчета, приведенными в примере 10.

Входное сопротивление транзистора при включении его по схеме с ОБ:

$$H_{11Б} = \frac{H_{11Э}}{1 + H_{21Э}} = \frac{650}{1 + 40} = 15,8 \text{ Ом}$$

Коэффициент обратной связи транзистора:

$$H_{12Б} = \frac{H_{11Э}H_{22Э}}{1 + H_{21Э}} - H_{12Э} = \frac{650 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}{1 + 40} - 32 \cdot 10^{-3} = -30,62 \cdot 10^{-3}$$

Коэффициент усиления по току:

$$H_{21Б} = -\frac{H_{21Э}}{1 + H_{21Э}} = -\frac{40}{1 + 40} = -0,975$$

Выходная проводимость:

$$H_{22Б} = \frac{H_{22Э}}{1 + H_{21Э}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{1 + 40} = 3,67 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

Пример 5.

Рассчитать значение Н-параметров транзистора типа ГТ322А, включенного по схеме с общим эмиттером, если известны его параметры при

включении по схеме с общей базой: $H_{11Б} = 5,79 \text{ Ом}$, $H_{12Б} = 0,202 \cdot 10^{-3}$, $H_{22Б} = -$
 $= - 0,9825$, $H_{22Б} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ См}$.

Решение:

При решении задачи, воспользуемся формулами пересчета, приведенными в примере 10.

Входное сопротивление транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером:

$$H_{11Э} = \frac{H_{11Б}}{1 + H_{21Б}} = \frac{5,79}{1 - 0,9825} = 331 \text{ Ом}$$

Коэффициент обратной связи транзистора:

$$H_{11Э} = \frac{H_{11Б} H_{22Б}}{1 + H_{21Б}} - H_{12Б} = \frac{5,79 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,9825} - 0,202 \cdot 10^{-3} = 1,62 \cdot 10^{-4}$$

Коэффициент усиления по току:

$$H_{12Э} = -\frac{H_{21Б}}{1 + H_{21Б}} = -\frac{0,9825}{1 - 0,9825} = -56,1$$

Выходная проводимость:

$$H_{22Э} = \frac{H_{22Б}}{1 + H_{21Б}} = \frac{1,1 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,9825} = 63 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

Тема 3. Электронные усилители

Пример 1.

Схема замещения двухкаскадного усилителя на транзисторах типа р-п-р, включенных по схеме с ОЭ, приведена на рис 1. Коэффициент усиления по напряжению в режиме холостого хода $K_U = 200$, выходное сопротивление первого каскада $R_1 = R_{вых1} = 1,5 \text{ кОм}$, входное сопротивление второго каскада $R_2 = R_{вх2} = 500 \text{ Ом}$, емкость разделительного конденсатора $C_1 = 4 \text{ мкФ}$, входная емкость второго каскада $C_1 = 0,015 \text{ мкФ}$. Определить коэффициент усиления на средних частотах K_0 , и нижнюю ω_H и верхнюю ω_B граничные частоты.

Решение.

На схеме замещения усилителя (рис. 1) $\dot{E} = K_U \dot{U}_1$ - э.д.с. получаемый на выходе первого каскада усилителя. $\dot{U}_1$ - входное напряжение, подаваемое на первый каскад.

Для упрощения анализа работы усилителя вся область частот разбивается на три части:

1.рабочая область средних частот; 2.область низких частот; 3.область высоких частот.

1. Область низких частот характеризуется тем, что сопротивление

конденсаторов $\frac{1}{\omega C_1} \ll R_2, \frac{1}{\omega C_2} \gg R_2$, ими можно пренебречь. Схема замещения для средних частот представлена на рис. 2. Коэффициент усиления на средних частотах равен:

$$K_0 = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{I}R_2}{\dot{U}_1} = \frac{K_U \dot{U}_1 R_2}{\dot{U}_1 (R_1 + R_2)} = \frac{K_U R_2}{R_1 + R_2} = \frac{200 \cdot 500}{1500 + 500} = 50 \quad (1)$$

2. На нижних частотах емкость C_1 учитывается, так как его сопротивление соизмеримо с R_2 : $\frac{1}{\omega_H C_1} \approx R_2$. Схема замещения на низких частотах представлена на рис. 3

Коэффициент усиления на нижних частотах равен:

$$K_H = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{I}R_2}{\dot{U}_1} \quad (2)$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{(R_1 + R_2) + \frac{1}{j\omega_H C_1}} = \frac{K_U \dot{U}_1}{(R_1 + R_2) + \frac{1}{j\omega_H C_1}} \quad (3)$$

Подставим (3) в (2) и разделим числитель и знаменатель на $(R_1 + R_2)$, получим:

$$K_H = \frac{K_U \dot{U}_1 R_2}{(R_1 + R_2) \dot{U}_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega_H C_1 (R_1 + R_2)}} \quad (4)$$

С учетом уравнения (1), формулу (4) можно представить в виде:

$$K_H = \frac{K_0}{1 + \frac{1}{j\omega_H C_1 (R_1 + R_2)}} \quad (5)$$

С учетом допустимых частотных искажений, уменьшения коэффициента усиления на граничных частотах допускается в $\sqrt{2}$ раз, то есть $K_H = \frac{K_0}{\sqrt{2}}$.

Уравнение (5) примет вид:

$$1 + \frac{1}{j\omega_H C_1 (R_1 + R_2)} = \sqrt{2} \quad (6)$$

В уравнении (6) перейдем от комплексных чисел к действительным:

$$\sqrt{1 + \frac{1}{\omega_H^2 C_1^2 (R_1 + R_2)^2}} = \sqrt{2} \quad (7)$$

Решая (7) относительно ω_H , получим:

$$\omega_H = \frac{1}{C_1 (R_1 + R_2)} = 2\pi f_H,$$

Отсюда

нижняя

граничная

частота:

$$f_H = \frac{1}{2\pi C_1(R_1 + R_2)} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 4(1500 + 500)} = 19,9 \text{ Гц} \quad \omega_H = 2\pi f_H = 2 \cdot 3,14 \cdot 19,9 = 125 \text{ с}^{-1}$$

3. В области верхних частот справедливы неравенства: $\frac{1}{\omega C_1} \ll R_2$, $\frac{1}{\omega C_2} \approx R_2$. Так как сопротивление параллельного конденсатора соизмеримо с R_2 следовательно, эту емкость нужно учитывать. Схема замещения усилителя на высоких частотах представлена на рис. 4.

Коэффициент усиления на верхних частотах равен:

$$K_B = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{jZ_2}{\dot{U}_1} = \frac{K_U \dot{U}_1 Z_2}{\dot{U}_1 Z} = \frac{K_U Z_2}{Z} \quad (8)$$

$$\text{где } Z_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega_B C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega_B C_2}} = \frac{R_2}{1 + j\omega_B C_2 R_2}, \quad Z = R_1 + Z_2 \quad (9)$$

С учетом уравнений (9) (8) можно представить в виде:

$$K_B = \frac{K_U Z_2}{R_1 + Z_2} = \frac{K_U}{1 + \frac{R_1}{Z_2}} \quad (10)$$

Уравнение (10) умножим и разделим на $\frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$, получим:

$$K_B = \frac{K_0}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot R_2}{Z_2(R_1 + R_2)}} \quad (11)$$

С учетом допустимых частотных искажений на граничных частотах $K_B = \frac{K_0}{\sqrt{2}}$, из уравнения (11) определим верхнюю граничную частоту ω_B .

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot (1 + j\omega_B C_2 R_2)}{R_2(R_1 + R_2)} &= \frac{(R_1 \cdot R_2) + j\omega_B C_2 R_1 R_2}{(R_1 + R_2)} = \\ &= 1 + j \frac{\omega_B C_2 R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \sqrt{2} \end{aligned} \quad (12)$$

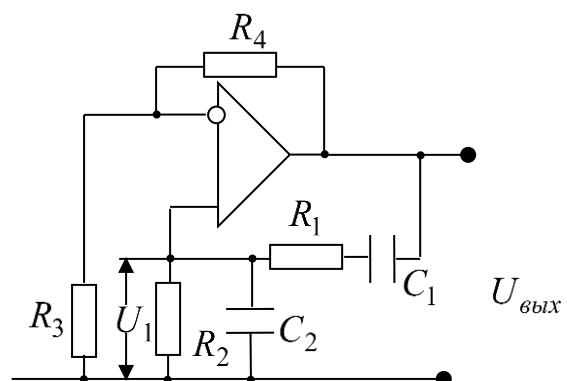
В уравнении (12) перейдем от комплексных чисел к действительным, получим:

$$\omega_B = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C_2} = \frac{1500 + 500}{1500 \cdot 500 \cdot 0,015 \cdot 10^{-6}} = 177 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$$

$$f_B = \frac{\omega_B}{2\pi} = \frac{177 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14} = 28,3 \text{ кГц}.$$

Пример 2.

Определить частоту



генерации и минимальный коэффициент усиления RC –

- генератора собранного на операционном усилителе приведена на рисунке.

Решение

Для возникновения гармонических колебаний необходимо выполнение условия самовозбуждения $\dot{K}\dot{\beta} > 1$ на частоте генерации.

Обозначим полное сопротивление:

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$Z_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_2}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} = \frac{R_2}{1 + jR_2\omega C_2}$$

При $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$, $Z_1 = R + \frac{1}{j\omega C}$, $Z_2 = \frac{R}{1 + jR\omega C}$.

Коэффициент обратной связи в схеме равен:

$$\begin{aligned} \dot{\beta} &= \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_{\text{вых}}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{\frac{R}{1 + jR\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + \frac{R}{1 + jR\omega C}} = \frac{\frac{R}{1 + jR\omega C}}{\frac{j\omega C}{j\omega C} + \frac{R}{1 + jR\omega C}} = \\ &= \frac{R}{j\omega C} \cdot \frac{1}{1 - R^2\omega^2 C^2 + 2jR\omega C + jR\omega C} = \frac{1}{3 + j(R\omega C - \frac{1}{R\omega C})} \end{aligned}$$

Для выполнения баланса фаз необходимо, чтобы $R\omega C - \frac{1}{R\omega C} = 0$. Из этого условия определится частота генерации:

$$\omega = \omega_r = \frac{1}{RC}$$

На частоте генерации $\dot{\beta} = \frac{1}{3}$. Подставим значения $\dot{\beta}$ в условие самовозбуждения генератора, получим $\frac{\dot{K}}{3} > 1$ или коэффициент усиления схемы $\dot{K} > 3$

Тема 4. Генераторы гармонических и релакционных колебаний.

Пример 1.

Рассчитать параметры симметричного мультивибратора на операционном усилителе с заданной рабочей частотой f и сопротивлением

нагрузки R_H . Для расчетов принимаем $f = 160 \text{ Гц}$ и $R_H = 68 \text{ кОм}$.

Схема симметричного мультивибратора и диаграммы напряжений, поясняющие его работу, изображены на рис.1 и 2.

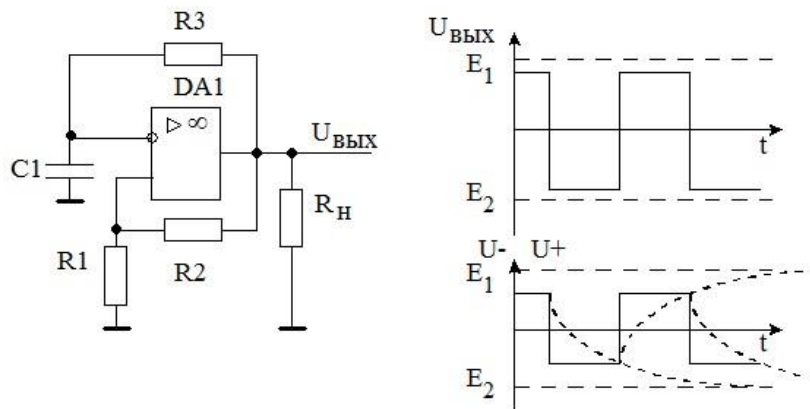


Рис.1. Схема симметричного Рис.2. Диаграммы напряжений
мультивибратора

Для расчетов выбираем операционный усилитель типа К140УД6.

Найдем коэффициент передачи делителя напряжения составленного из резисторов R_1 и R_2 по выражению:

$$k = \frac{U_{\text{диф.доп}}}{2 \cdot U_{\text{вых.м}}^+}, \quad (1)$$

где $U_{\text{диф.доп}}$ – дифференциальное допустимое напряжение,
 $U_{\text{диф.доп}} = 10 \text{ В}$.

Подставив в (1) численные значения параметров, получим

$$k = \frac{10}{2 \cdot 11} = 0,455$$

Коэффициент передачи делителя напряжения можно определить как

$$k = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Из (2) найдем отношение сопротивлений R_1 и R_2

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{k}{1 - k}.$$

Подставляя значение k , получим $\frac{R_1}{R_2} = \frac{0,4545}{1-0,4545} = 0,833$

Частота выходного сигнала мультивибратора определяется по уравнению

$$f = \frac{1}{2 \cdot \tau \cdot \ln \left(1 + 2 \cdot \frac{R_1}{R_2} \right)}, \quad (3)$$

где $\tau = R_3 \cdot C_1$ – постоянная времени цепи заряда конденсатора C_1 (рис.1), с.

Из (3) найдем τ

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot f \cdot \ln \left(1 + 2 \cdot \frac{R_1}{R_2} \right)}.$$

Подставив численные значения параметров, получим

$$\tau = \frac{1}{2 \cdot 160 \cdot \ln(1 + 2 \cdot 0,833)} = 3,183 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Зная τ , определим R_3 , приняв значение конденсатора из стандартного ряда E24 – 0,47мкф. Тогда

$$R_3 = \frac{\tau}{C_1}. \quad \text{Подставив данные, получим} \quad R_3 = \frac{3,187 \cdot 10^{-3}}{0,47 \cdot 10^{-6}} = 6,781 \cdot 10^3$$

Ом

Из стандартного ряда значений E24 выбираем $R_3 = 6,8 \text{ кОм.}$

Определим мощность и тип резистора R_3 , предварительно определив ток, протекающий через сопротивление R_3

$$I_3 = \frac{(1 + k) \cdot U_{\text{ВЫХ.М}}^+}{R_3}$$

С учетом численных значений параметров

$$I_3 = \frac{(1+0,4545) \cdot 11}{6,8 \cdot 10^3} = 0,0024 \text{ А} \quad (4)$$

В соответствии с (4)

$$P_{R_3} = 0,0024^2 \cdot 6800 = 0,039 \text{ Вт}$$

Тогда тип резистора R_3 – МЛТ – 0,05 – 6,8кОм±5%.

Из условия ограничения выходного тока $I_{\text{вых}}$ мультивибратора на допустимом уровне определим сумму сопротивлений R_1 и R_2

$$I_{\text{вых}} = U_{\text{вых.м}}^+ \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{н}}} + \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1+k}{R_3} \right) \leq I_{\text{вых.доп}}$$

Откуда

$$R_1 + R_2 = \frac{1}{\frac{I_{\text{вых.доп}}}{U_{\text{вых.м}}^+} - \frac{1}{R_{\text{н}}} - \frac{1+k}{R_3}}$$

Подставив значения параметров, получим

$$R_1 + R_2 = \frac{1}{\frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{11} - \frac{1}{68000} - \frac{1+0,4545}{6800}} = 7,556 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Для уменьшения протекающих токов увеличим сумму сопротивлений $R_1 + R_2$ в 10 раз.

Значения сопротивлений R_1 и R_2 можно найти из системы уравнений

$$\begin{cases} R_1 + R_2 = 75,56 \cdot 10^3 \\ \frac{R_1}{R_2} = 0,833 \end{cases} \quad (5)$$

Решив систему уравнений (5), получим, что $R_1 = 34340 \text{ Ом}$; $R_2 = 41220 \text{ Ом}$.

С учетом ряда E24 принимаем $R_1 = 36 \text{ кОм}$ и $R_2 = 43 \text{ кОм}$.

Определим мощность резисторов R_1 и R_2 , предварительно найдя ток протекающий через делитель напряжения R_1 и R_2 :

$$I_d = \frac{U_{\text{ВЫХ.М}}^+}{R_1 + R_2} = \frac{11}{36000 + 43000} = 1,392 \cdot 10^{-4} \text{ А}$$

Тогда в соответствии с (5) мощность резистора R_1 :

$$P_{R_1} = (1,392 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 36000 = 6,976 \cdot 10^{-4} \text{ Вт.}$$

Мощность R_2 $P_{R_2} = (6,044 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 100000 = 8,332 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}$

С учетом найденных значений выбираем резисторы: R_1 типа МЛТ – 0,01 – 36кОм±5%, R_2 типа МЛТ – 0,01 – 43кОм±5%.

Проверим правильность найденных параметров. Для этого аналитически определим максимальный ток и выходную частоту генератора и при помощи программы Electronics Workbench построим модель симметричного мультивибратора.

В соответствии с выражением (3)

$$f_{\text{пров}} = \frac{1}{2 \cdot 3,183 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(1 + 2 \cdot 0,833)} = 160,196 \text{ Гц.}$$

Подставляя в выражение

$$\Delta = \frac{f - f_{\text{пров}}}{f} \cdot 100\%$$

$$\Delta = \frac{160,196 - 160}{160} \cdot 100\% = 0,122\%$$

численные значения, определяем, что отличие найденной частоты от заданной частоты мультивибратора составляет 0,122%. Это является приемлемым на практике.

Подставляя численные значения сопротивлений и коэффициента k в (15), вычисляем выходной ток операционного усилителя

$$I_{\text{ВЫХ}} = 11 \cdot \left(\frac{1}{36000} + \frac{1}{36000 + 43000} + \frac{1 + 0,455}{6800} \right) = 2,398 \text{ мА.}$$

Полученное значение выходного тока меньше 2,5мА, поэтому найденные параметры удовлетворяют условиям задания.

Частоту выходного сигнала определяем, как

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6,3627 \cdot 10^{-3}} = 157 \text{ Гц}$$

Полученное при моделировании значение частоты f свидетельствует о правильности найденных параметров мультивибратора.

Тема 5. Преобразование сигнала в нелинейных системах

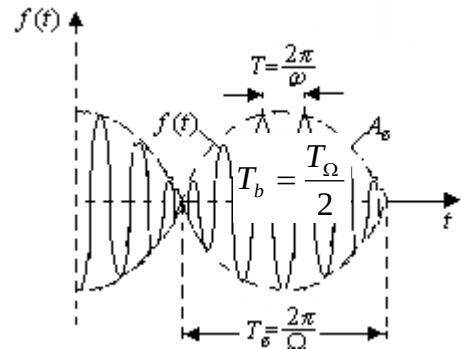
Пример 1.

На выходе схемы напряжение изменяется по закону:

$u(t) = 100\sin 900t + 100\sin 1100t$. Построить график этой функции $u = u(t)$ и определить период возникающих биений.

Решение:

Т.к.



$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \Rightarrow u(t) = 200 \cos \frac{1100 - 900}{2} t \sin \frac{900 + 1100}{2} t =$$

$$= 200 \cos 100t * \sin 1000t$$

Из полученного выражения находим $\Omega = 100 \text{ с}^{-1}$, $\omega_0 = 1000 \text{ с}^{-1}$ - частота несущих колебаний. Период огибающих колебаний $T_\Omega = \frac{2\pi}{\Omega} = 0.0628 \text{ с}$

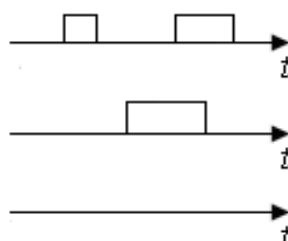
Период несущих колебаний $T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 0.00628 \text{ с}$. $T_\ell = \frac{2\pi}{\Omega}$. Период биений

$$T_b = \frac{T_\Omega}{2}$$

Тема 6. Введение в цифровую электронику

1. Составьте таблицы истинности и нарисуйте схемное обозначение трехвходовых логических элементов И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, НЕ.

2. На входы логического элемента подали сигналы X_1 и X_2 . Нарисовать временную диаграмму выходного сигнала F логической операции: а) ИЛИ, б) И, в) 2И-НЕ, г) 2ИЛИ-НЕ



3. Для RS-триггера составьте таблицу истинности. На его входы R и S поданы сигналы (рис. 1), нарисуйте временную диаграмму выходных сигналов Q и $\bar{Q}$.

4. Для синхронного RS-триггера составьте таблицу истинности. На его входы R и S поданы сигналы (рис. 1), нарисуйте временную диаграмму выходных сигналов Q и $\bar{Q}$.

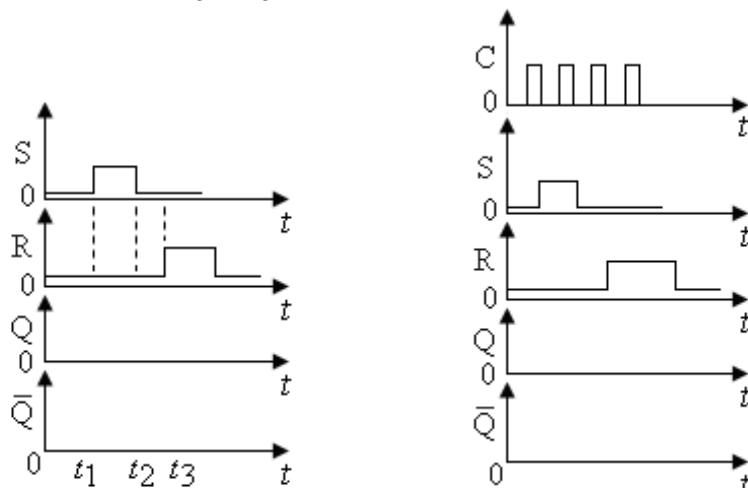


Рис. 1.

5. Для JK-триггера составьте таблицу истинности. На его входы C, J, K поданы сигналы (рис. 2), нарисуйте временную диаграмму выходных сигналов Q.

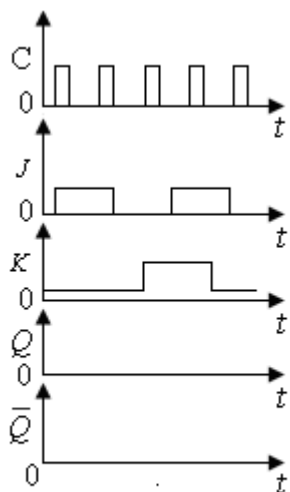


Рис. 2.

6. Объясните работу двоичного матричного дешифратора (рис. 3), работающего с трехразрядным параллельным счетчиком.

7. Заполните для схемы, показанной на рис. 3, таблицу состояний трехразрядного счетчика и его триггеров и выходов дешифратора (таблица 1). Закрытый транзистор T2 соответствует состоянию «1» триггера.

8. Составьте схему двоичного матричного дешифратора, работающего с четырехразрядным параллельным счетчиком.

Текущая аттестация студентов проводится преподавателем, ведущим лекционные и практические занятия по дисциплине. К практическому занятию студент должен подготовить ответы на вопросы, выполнить задания по теме занятия. Максимальное количество баллов студент получает, если он активно участвует в работе, владеет материалом, умеет логично и четко

излагать мысли, творчески подходит к решению основных вопросов темы, показывает самостоятельность мышления.

Основанием для снижением оценки являются:

- слабое знание темы и основной терминологии;
- пассивность участия в групповой работе;
- отсутствие умения применить теоретические знания для решения практических задач;
- несвоевременность предоставления выполненных работ.

Необходимо ознакомиться с обязательным минимумом содержания основной образовательной программы по изучаемой дисциплине. Далее необходимо изучить рабочую программу дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с лабораторных и практических занятий, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности

Вопросы для самостоятельной подготовки:

Базовый уровень:

1. Задачи и программа курса «Радиофизика и электроника». Основные понятия теории электрических цепей.
2. Базовые идеальные элементы электрических цепей и их уравнения.
3. Классификация электрических цепей.
4. Гармонические колебания. Изображение гармонических величин на комплексной плоскости.
5. Комплексная форма уравнений элементов. Мощность переменного тока
6. Цепь переменного тока с ёмкостью и активным сопротивлением: уравнения, векторная диаграмма, временные характеристики, активная, реактивная и полная мощность этой цепи.
7. Цепь переменного тока с индуктивностью и активным сопротивлением: уравнения, векторная диаграмма, временные характеристики, активная, реактивная и полная мощность этой цепи.
8. Последовательный колебательный контур. Резонанс напряжений.
9. Свободные колебания в реальном контуре
10. Величины, характеризующие быстроту затуханий в контуре
11. Уравнение резонансной кривой последовательного колебательного контура.
12. Параллельный колебательный контур. Резонанс токов.
13. Симметричная система связанных контуров
14. Четырёхполюсники, их уравнения, параметры.
15. Фильтры: классификация, основные параметры, применение.
16. Цепи с распределёнными параметрами.

17. Периодический сигнал, амплитудный и фазовый спектры. Комплексная форма ряда Фурье.
18. Спектральное представление непериодических сигналов. Отрицательные частоты.
19. Полупроводники. Электронно-дырочный переход.
20. Диоды, стабилитроны, варикапы, фото- и светодиоды.
21. Тиристор и его применение в регулируемых выпрямителях.
22. Биполярные транзисторы: устройство, схемы включения. Транзистор как линейный четырехполюсник.
23. Y -и Z-параметры транзистора. Схемы замещения.
24. H - параметры, определение их по характеристикам транзистора.
25. Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом. Параметры транзистора.
26. Полевые транзисторы с изолированным затвором со встроенным и индуцированным каналом.

Продвинутый уровень:

1. Простейшие схемы усилителей, их основные параметры.
2. Полная схема замещения усилителя низкой частоты, его упрощенная схема для верхних частот.
3. Схема замещения усилителя на средних и низких частотах.
4. Виды обратной связи. Диаграмма Найквиста. Влияние отрицательной обратной связи на свойства усилителей.
5. Дифференциальный и операционные усилители.
6. Модуляция, ее виды. Однотональная и многотональная амплитудная модуляция.
7. Угловая модуляция: частотная и фазовая, спектры, векторные диаграммы.
8. Методы получения амплитудно-модулированных сигналов.
9. Методы получения частотно-модулированных сигналов.
10. Квадратичное детектирование.
11. Линейный детектор.
12. Преобразование частотно-модулированных колебаний в амплитудно-модулированные. Амплитудное ограничение.
13. Частотный дискриминатор.
14. Детектирование ФМ - сигнала.
15. Преобразователи частоты, их схемы.
16. Мультивибратор с коллекторно-базовыми связями.
17. Мультивибратор с фиксацией коллекторных потенциалов, с отключающими диодами.
18. Автоколебания. Условия возникновения колебаний.
19. RC – генераторы.
20. Логические элементы цифровых устройств.
21. Транзисторно-транзисторная логика.

- 22. Дешифратор.
- 23. Триггер.
- 24. Регистр сдвига.
- 25. Цифро-аналоговый преобразователь.

Критерии оценивания компетенций

Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

Литература

Основная:

1. Кульгина Л.М., Заякинян А.Р., Дорошко Д.С. Радиофизика и электроника: учебное пособие. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2020.- 140 с.
2. Шука, А.А. Электроника : учеб. пособие для вузов / А.А. Шука. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2012. – 739 с : ил. ; 24. – (Учебная

литература для вузов). – Гриф: Рек. УМО. - Предм. Указ.: с. 731-739. – Библиогр. В конце разд. – ISBN 978-5-9775-0160-6

3. Нефедов В.И., Сигов А.С. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Высшая школа, 2009. – 735с.

4. Рекус Г.Г. Лабораторный практикум по основам электроники и промышленной электроники. – М. Высшая школа, 2007. – 255с.

5. Кульгина Л.М. (СКФУ). Радиофизика и электроника. Профиль подготовки – Физика Земли и планет. Бакалавриат / Л.М. Кульгина ; Сев.-Кав. Федер. Ун-т. – Ставрополь : СКФУ, 2013. – 56 с. : ил.

6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники: Учебное пособие для вузов. /2-е издание, перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 488 с.

7. Батушев В.А. Электронные приборы: Учебник для вузов. /2-е издание, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1980. – 383 с.

8. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники, 3-е издание. – СПб.: Лань, 2008. – 384с.

9. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы, 9-е издание. – СПб.: Лань, 2009. – 480с.

10. Электроника и схемотехника: Учебно-методическое пособие / сост. Л.М. Кульгина. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2011. – 172 с.

11. Электроника и схемотехника: учебное пособие / автр. – сост. Л.М. Кульгина. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2011. – 268 с.

Дополнительная:

1. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 448с.

2. Шелухин О.И. Радиоэлектронные средства бытового назначения. Учебник. – М: Академия, 2008. – 480с.

3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Гриф МОРФ. – М: Высшая школа, 2005. – 462с.

4. Хотунцев Ю.М., Лобарев А.С. Основы радиоэлектроники. – М.: Агар, 1998. – 288 с.

5. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: Высшая школа, 1991 – 622 с.

6. Горбачев Г.Н., Чаплыгина Е.Е. Промышленная электроника. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.

7. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х т. Т. 1. – М.: Мир, 1986. – 598 с.

8. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 2-х т. Т. 2. – М.: Мир, 1986. – 590 с.

Для самостоятельной работы:

1. Котельников, В. А. Собрание трудов : [науч. изд.] / В.А. Котельников ; Ин-т радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Моск. энерг. ин-та (техн. ун-та), Т.1, Радиофизика, информатика,

телекоммуникации. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 520 с. : ил. - Прил.: с. 450-518. - Библиогр.: с. 519. - ISBN 978-5-9221-1011-2

2. Кульгина, Л. М. (СКФУ). Радиофизика и электроника : Курс лекций / Л. М. Кульгина ; Федеральное агенство по образованию, Ставроп. Гос. Ун-т. – Ставрополь : Изд-во СГУ, 2005. – 130 с. – Библиогр.: с. 126

Internet ресурсы:

1. Audio Hi-Fi <http://www.audiohi-fi.narod.ru/>
2. Сайт любителей радио <http://manimaks.ru/>
3. Сайт по ламповой технике <http://www.radiolamp.ru/links/2.shtml>
4. Портал «Радиотехник» <http://shema.org.ua/>
5. Портал для радиолюбителей <http://www.radioman-portal.ru/>