

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-40 05 01 «Информационные
системы и технологии (по направлениям)»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2022

УДК 621.3:62-83
ББК 31.2:32.85
О75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «04» января 2022 г.,
протокол № 4

Составители: канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов;
ст. преподаватель В. В. Писарик;
ст. преподаватель И. А. Черкасова

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. Н. Емельянов

Методические рекомендации предназначены для использования студентами специальности 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии (по направлениям)» очной и заочной форм обучения при выполнении лабораторных работ.

Учебно-методическое издание

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания...	5
2 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания..	7
3 Лабораторная работа № 3. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением индуктивности, резистора и конденсатора	8
4 Лабораторная работа № 4. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора	11
5 Лабораторная работа № 5. Определение параметров и основных характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя.....	14
6 Лабораторная работа № 6. Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением	18
7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона.....	22
8 Лабораторная работа № 8. Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов.....	26
9 Лабораторная работа № 9. Исследование схем на основе операционных усилителей.....	30
10 Лабораторная работа № 10. Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей.....	33
11 Лабораторная работа № 11. Исследование работы логических элементов и триггеров.....	37
12 Лабораторная работа № 12. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов.....	43
Список литературы.....	48

Введение

В учебные планы подготовки инженеров неэлектротехнических специальностей входит ряд общеобразовательных дисциплин, к которым относится и курс «Основы электротехники, электроники и автоматизированного электропривода».

Необходимость в усвоении базовой системы знаний, умений и навыков в данной области обусловлена широким использованием электромагнитных явлений, электрических аппаратов и электрических методов измерений.

В формировании этой системы знаний, умений и навыков большое значение имеют лабораторные занятия.

Целью электротехнических дисциплин является теоретическая и практическая подготовка инженеров неэлектротехнических специальностей в области электротехники и электроники в такой степени, чтобы они могли выбирать необходимые электротехнические устройства, электронные и электроизмерительные приборы, уметь их правильно эксплуатировать и составлять совместно с инженерами-электриками технические задания на разработку электрических частей автоматизированных установок для управления производственными процессами.

Лабораторные занятия по данной дисциплине имеют целью:

- закрепить теоретический материал;
- дать возможность подробно ознакомиться с устройствами и характеристиками наиболее важных электротехнических приборов, аппаратов, составляющих предмет лабораторной практики;
- помочь овладеть практическими способами управления электротехническими устройствами и настройки их на заданный режим;
- научить технике проведения экспериментального исследования физических моделей;
- научить выполнять определенные расчеты с использованием компьютерных программ;
- выработать умение выносить суждения о рабочих свойствах и степени пригодности исследованных и исследуемых устройств для решения тех или иных практических задач.

1 Лабораторная работа № 1. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания

Цель работы: закрепление навыков расчета линейных электрических цепей с одним источником питания; исследование мостовой цепи постоянного тока.

1.1 Основные теоретические сведения

1.1.1 Мост постоянного тока – это сложная электрическая цепь, в которой четыре резистора R_{20} , R_{22} , R_{23} , R_1 , называемые плечами, образуют замкнутый четырехугольник, в одну диагональ которого включается нагрузка R_{24} , а в другую – источник постоянного тока (рисунок 1.1).

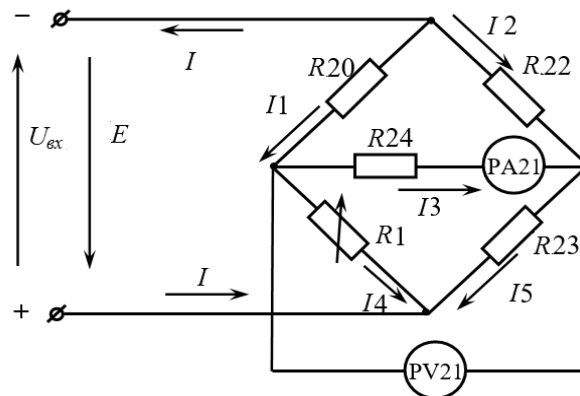


Рисунок 1.1 – Мост постоянного тока

1.1.2 Условие равновесия моста постоянного тока

$$R_1 \cdot R_{22} = R_{20} \cdot R_{23}.$$

Откуда

$$R_1 = \frac{R_{20} \cdot R_{23}}{R_{22}}$$

при значении тока $I_3 = 0$.

1.1.3 Величина сопротивления резистора R_{24} определяется по закону Ома:

$$R_{24} = \frac{U_{PV21}}{I_3}.$$

1.1.4 Рассчитать значение выходного напряжения $U_{вых}$ моста постоянного тока можно, используя метод эквивалентного генератора (рисунок 1.2):

$$U_{вых} = I_3 \cdot R_{24},$$

где

$$I_3 = \frac{U_{x.x}}{R_{24} + R_{к.з}},$$

здесь $U_{x.x}$ – напряжение холостого хода при разомкнутом резисторе R_{24}

(SA13 в положении «3» (рисунок 1.3));

$R_{к.з.}$ – сопротивление относительно точек разрыва моста при закороченном источнике входного напряжения.

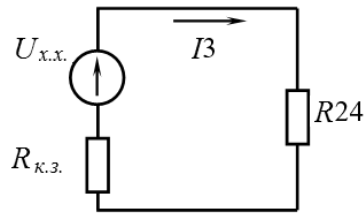


Рисунок 1.2 – Эквивалентная схема электрической цепи для расчёта тока I_3

1.1.5 Сопротивление $R_{к.з.}$ можно определить экспериментально:

$$R_{к.з.} = \frac{U_{x.x.}}{I_{к.з.}}$$

1.2 Исследуемые схемы

Для выполнения лабораторной работы собирается схема (рисунок 1.3). Измерительный мост включается тумблером SA7.

Технические данные измерительного моста указаны на стенде.

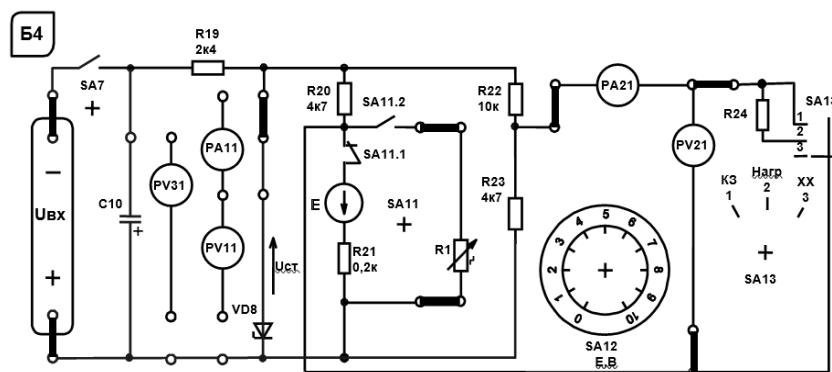


Рисунок 1.3 – Схема для экспериментального исследования электрической цепи постоянного тока с одним источником питания

1.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1.3.1 Изучить схему измерительного моста. Рассчитать величину сопротивления резистора $R1$ из условия равновесия моста постоянного тока.

1.3.2 Построить зависимость $U_{вых} = f(R1)$.

1.3.3 При максимальном $U_{вых}$ рассчитать сопротивление резистора $R24$.

1.3.4 Методом эквивалентного генератора рассчитать величину выходного напряжения моста при значении сопротивления $R1$, заданном преподавателем.

1.3.4.1 Экспериментально измерить ток $I_{к.з.}$ и рассчитать сопротивление $R_{к.з.}$.

1.3.4.2 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 1.1) в среде Multisim.

1.3.4.3 Сделать выводы по результатам работы.

1.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему моста постоянного тока, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и моделирования, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Охарактеризуйте мостовую схему постоянного тока.
- 2 Порядок расчёта электрических цепей методом эквивалентного генератора напряжения.

2 Лабораторная работа № 2. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания

Цель работы: закрепление на практике основных методов расчета цепей постоянного тока с несколькими источниками постоянного напряжения; исследование моста постоянного тока с генераторным датчиком.

2.1 Основные теоретические сведения

2.1.1 Для расчёта цепей постоянного тока с несколькими источниками напряжения широко используют метод контурных токов. Этот метод заключается в том, что вместо токов в ветвях определяются на основании второго закона Кирхгофа так называемые контурные токи (рисунок 2.1), замыкающиеся в контурах. Число уравнений, записываемых для контурных токов по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров.

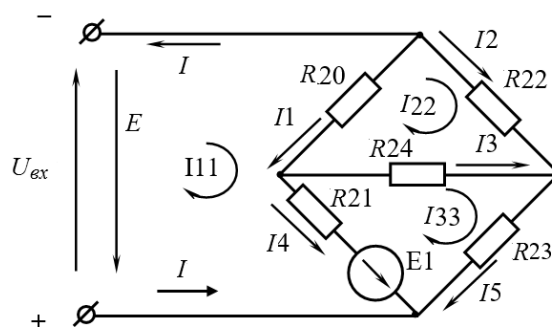


Рисунок 2.1 – Электрическая цепь постоянного тока с двумя источниками питания

Система уравнений для расчета контурных токов

$$\begin{aligned} I_{11} \cdot (R_{20} + R_{21}) - I_{22} \cdot R_{20} - I_{33} \cdot R_{21} &= E_1 - E; \\ -I_{11} \cdot R_{20} + I_{22} \cdot (R_{20} + R_{24} + R_{22}) - I_{33} \cdot R_{24} &= 0; \\ -I_{11} \cdot R_{21} - I_{22} R_{24} + I_{33} \cdot (R_{21} + R_{23} + R_{24}) &= -E_1. \end{aligned}$$

I_{11}, I_{22}, I_{33} – контурные токи, $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I$ – токи ветвей.

Решив систему уравнений, определяют значение тока I_3 :

$$I_3 = I_{33} - I_{22}.$$

Выходное напряжение моста

$$U_{\text{вых}} = I_3 \cdot R_{24}.$$

2.2 Исследуемые схемы

Для выполнения лабораторной работы используется схема, в которой вместо резистора $R1$ включается источник $E1$ (тумблер $SA11$ выключен). Схема включается тумблером $SA7$. Величину ЭДС источника $E1$ устанавливают с помощью переключателя $E1$. Технические данные измерительного моста указаны на стенде.

2.3 Порядок выполнения лабораторной работы

2.3.1 Методом контурных токов рассчитать токи в ветвях I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 и величину выходного напряжения моста $U_{\text{вых}}$ при заданном ЭДС $E1$.

2.3.2 Снять экспериментально зависимость $U_{\text{вых}} = f(E1)$, изменяя $E1$ от 1 до 10 В. Сопоставить $U_{\text{вых}}$ для заданного значения $E1$ с расчетным.

2.3.3 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 2.1) в среде Multisim.

2.3.4 Сделать выводы по результатам работы.

2.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему электрической цепи, систему уравнений для расчета контурных токов, результаты расчёта, моделирования и эксперимента, зависимость $U_{\text{вых}} = f(E1)$, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите метод расчёта цепей постоянного тока с двумя источниками питания.
- 2 Порядок расчёта методом контурных токов.

3 Лабораторная работа № 3. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением индуктивности, резистора и конденсатора

Цель работы: определение параметров схемы замещения катушки индуктивности с магнитопроводом; изучение основных режимов работы, расчётов электрической цепи переменного тока при последовательном соединении R -, L -, C - элементов.

3.1 Основные теоретические сведения

3.1.1 Схема для изучения цепи переменного тока с резистивным, индуктивным и ёмкостным элементами приведена на рисунке 3.1.

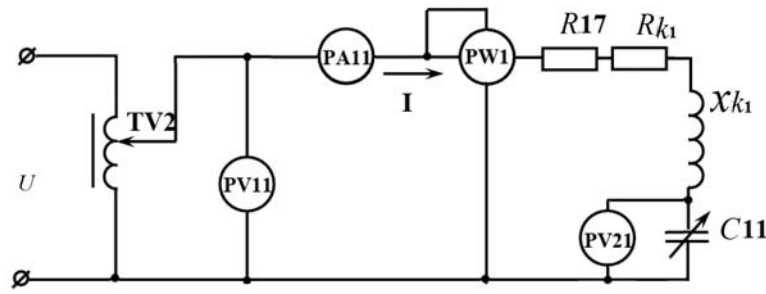


Рисунок 3.1 – Электрическая цепь переменного тока с последовательно соединёнными R -, L -, C -элементами

Для определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с магнитопроводом L_{K1} и R_{K1} в номинальном режиме $I_n = 1,0$ А снимают показания приборов: PA11 – ток I_n через катушку; PW1 – активную мощность P , потребляемую катушкой; PV11 – напряжение U на катушке.

Зная показания приборов, определяют значение параметров схемы замещения катушки:

$$R_{\Sigma} = \frac{P}{I_n^2}; \quad Z_{\Sigma} = \frac{U}{I_n}; \quad L_{K1} = \frac{X_{K1}}{2\pi f}; \quad X_{K1} = \sqrt{Z_{\Sigma}^2 - R_{\Sigma}^2}; \quad R_{K1} = R_{\Sigma} - R17,$$

где $R17 = 17$ Ом;

$f = 50$ Гц.

3.1.2 Определение величины емкости $C11$, при которой в цепи наступает резонанс напряжений. Значение $C11$ определяется исходя из условия возникновения резонанса напряжений:

$$C11 = \frac{1}{2\pi f X_{K1}}.$$

3.1.3 Коэффициент мощности цепи

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}.$$

Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на рисунке 3.2.

3.2 Исследуемые схемы

Для определения параметров схемы замещения катушки индуктивности собирают схему, приведенную на рисунке 3.3. Номинальный ток $I_n = 1,0$ А выставляют с помощью лабораторного автотрансформатора TV2. Для исследования резонанса напряжения собирают схему, приведенную на рисунке 3.4.

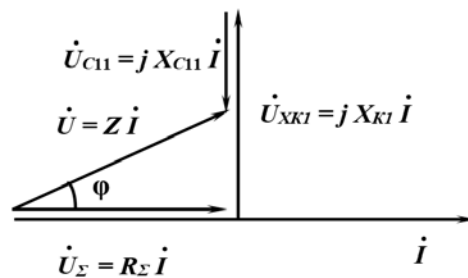


Рисунок 3.2 – Векторная диаграмма

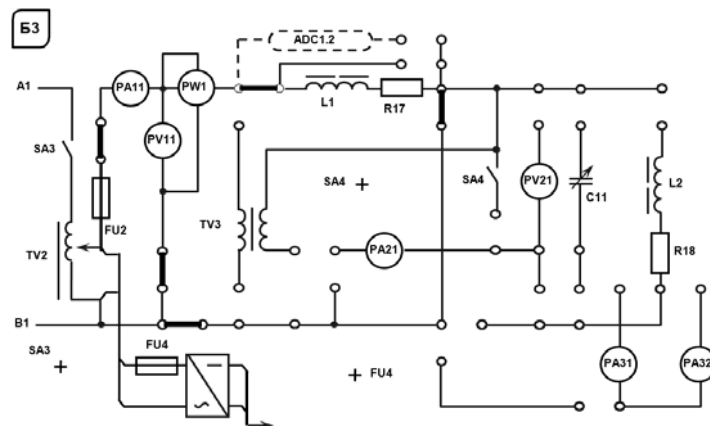


Рисунок 3.3 – Схема для экспериментального исследования параметров схемы замещения катушки индуктивности

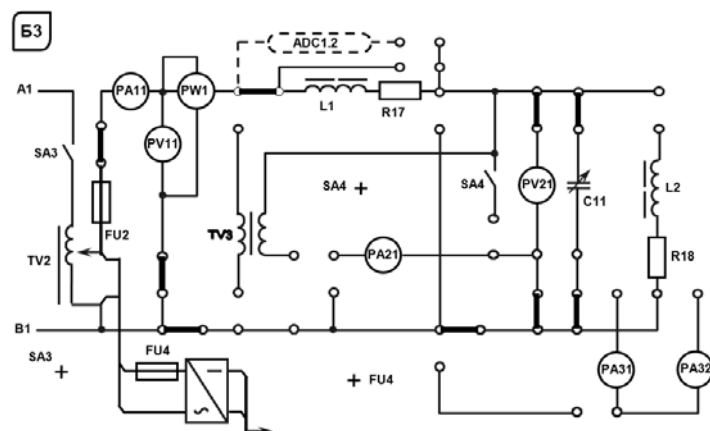


Рисунок 3.4 – Схема для экспериментального исследования резонанса напряжений

3.3 Порядок выполнения лабораторной работы

3.3.1 Собрать на стенде схему (см. рисунок 3.3) для расчета параметров схемы замещения катушки индуктивности L_{K1} и R_{K1} для номинального режима работы $I_n = 1,0$ А, определить значения этих параметров.

3.3.2 Определить величину емкости $C11$ конденсатора, при которой в цепи наступает резонанс напряжений.

3.3.3 Снять зависимости $I = f(C11)$ и $\cos\varphi = f(C11)$ при U_{\min} .

3.3.4 Построить векторную диаграмму напряжений и тока.

3.3.5 Провести моделирование работы схемы (см. рисунок 3.1) в среде Multisim.

3.3.6 Сделать выводы по результатам работы.

3.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему исследуемой цепи переменного тока с последовательно соединёнными R -, L -, C -элементами, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и моделирования, зависимости $I = f(C11)$ и $\cos\varphi = f(C11)$, векторную диаграмму напряжений и тока, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Каково условие резонанса напряжений?
- 2 Чему равен коэффициент мощности цепи в режиме резонанса, почему?

4 Лабораторная работа № 4. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

Цель работы: изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора; изучение схем замещения трансформатора и определение их параметров.

4.1 Основные теоретические сведения

Для определения коэффициента трансформации n , а также параметров схемы замещения и потерь мощности в трансформаторе проводят опыт холостого хода (опыт ХХ) и опыт короткого замыкания (КЗ) трансформатора.

Схема замещения трансформатора представлена на рисунке 4.1.

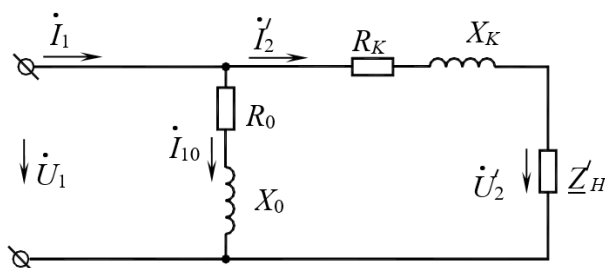


Рисунок 4.1 – Схема замещения однофазного трансформатора

Схема опыта холостого хода представлена на рисунке 4.2.

Показания приборов $PW1$, $PA1$, $PV3$, $PV2$ дают возможность определить параметры схемы замещения трансформатора в режиме холостого хода:

$$R_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2}; \quad Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}; \quad n = \frac{U_{1H}}{U_{20}},$$

где n – коэффициент трансформации трансформатора.

Показания приборов $PW1$, $PV3$, $PA1$, $PA2$ дают возможность определить параметры схемы замещения в режиме короткого замыкания:

$$R_K = \frac{P_K}{I_{1H}^2}; \quad Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1H}}; \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}.$$

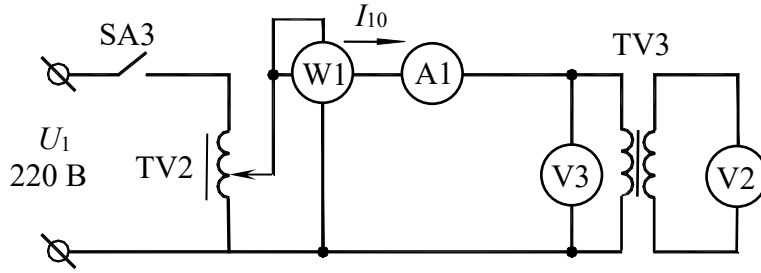


Рисунок 4.2 – Опыт холостого хода трансформатора

Схема опыта короткого замыкания представлена на рисунке 4.3.

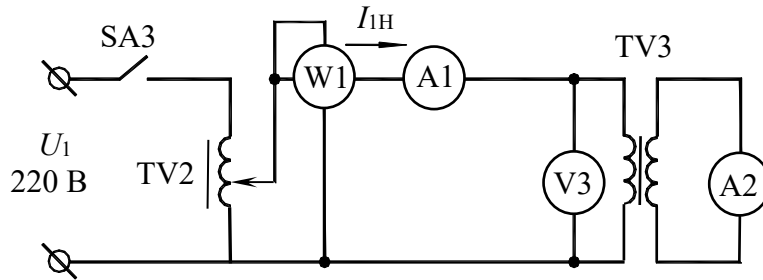


Рисунок 4.3 – Опыт короткого замыкания трансформатора

КПД трансформатора

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_{2H}}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_{2H} + P_0 + \beta^2 \cdot P_K},$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора, $\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$;

S_H – полная мощность трансформатора, $S_H = U_{1H} \cdot I_{1H} = U_{2H} \cdot I_{2H}$.

Внешняя характеристика трансформатора $U_2 = f(\beta)$ строится по следующему уравнению:

$$U_2 = U_{2H} \left(1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100 \%} \right),$$

где $\Delta U_2 \% = \beta \cdot (U_{\kappa.a} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\kappa.p} \cdot \sin \varphi_2)$;

$U_{\kappa.a}$ – активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, $U_{\kappa.a} \% = \frac{I_{1H} R_K}{U_{1H}} 100 \% = \frac{P_K}{S_H} 100 \%$;

$U_{\kappa.p}$ – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора, $U_{\kappa.p} \% = \frac{I_{1H} X_K}{U_{1H}} 100 \%$.

4.2 Исследуемые схемы

Исследование однофазного трансформатора производится по схеме, представленной на рисунке 4.4.

Для определения параметров схемы замещения трансформатора $U_2 = f(\beta)$ проводят опыты холостого хода (SA4 выключен) и короткого замыкания (SA4 включен) (рисунок 4.5).

Опыт короткого замыкания производят при пониженном напряжении на первичной обмотке трансформатора (выключатель SA4 включен).

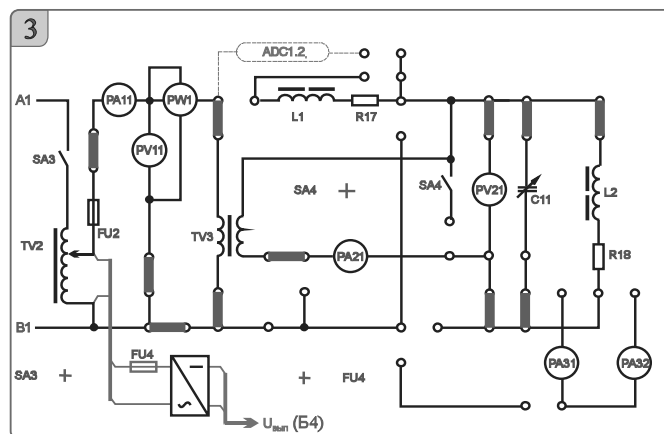


Рисунок 4.4 – Схема исследования однофазного трансформатора

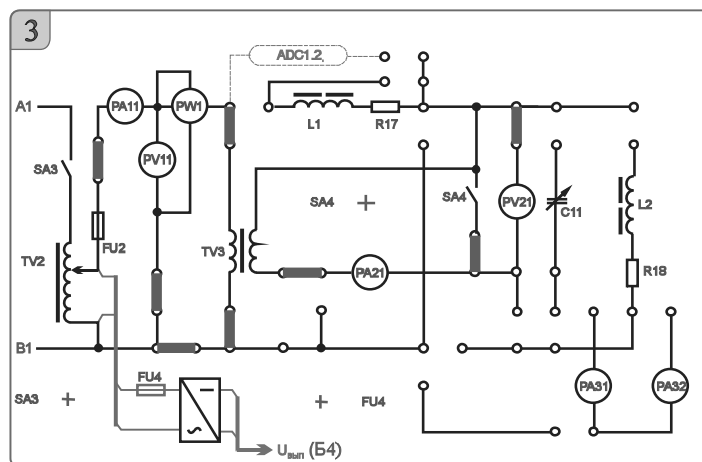


Рисунок 4.5 – Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания

4.3 Порядок выполнения лабораторной работы

4.3.1 Собрать схему, приведенную на рисунке 4.2, для проведения опыта холостого хода.

4.3.2 Подключить питание ЛАТРа TV2 (тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа SA70 в блоке 10 в положение «100 ← 0 В», тумблер SA3 в блоке 3 устанавливается в положение «включено»).

4.3.3 Снять параметры холостого хода трансформатора TV3 при напряжении питания 220 В (по прибору PV11). Снять показания приборов PA11 (I_{10}), PV11 ($U_{1x.x}$), PW1 (P_0), PV21 (U_{20}), рассчитать параметры трансформатора в ре-

жиме холостого хода и занести их в таблицу 4.1.

4.3.4 Собрать схему, приведенную на рисунке 4.5, для проведения опыта короткого замыкания.

4.3.5 Снять параметры короткого замыкания, для чего включить тумблеры SA4 и SA3, установив во вторичной обмотке трансформатора TV3 ток 0,8 А (по прибору PA21). Рассчитать параметры трансформатора в режиме короткого замыкания и занести их в таблицу 4.2.

Таблица 4.1 – Показания приборов в опыте холостого хода трансформатора

Экспериментальные данные				Расчетные значения					
U_{1H} , В (PV11)	I_{10} , А (PA11)	P_0 , Вт (PW1)	U_{20} , В (PV21)	S , В·А	Z_0 , Ом	X_0 , Ом	R_0 , Ом	$\cos \varphi$	φ , град
220									

Таблица 4.2 – Показания приборов в опыте короткого замыкания

Экспериментальные данные				Расчетные значения					
U_{1K} , В (PV11)	I_{1H} , А (PA11)	P_K , Вт (PW1)	I_2 , В (PA21)	S , В·А	Z_K , Ом	X_K , Ом	R_K , Ом	$\cos \varphi$	φ , град
	0,8								

4.3.6 Измерить вторичное напряжение при нагрузке R_{18} , L_2 (см. рисунок 4.5).

4.3.7 Построить внешнюю характеристику трансформатора $U_2 = f(\beta)$.

4.3.8 Провести моделирование работы трансформатора в среде Multisim.

4.3.9 Сделать выводы по результатам работы.

4.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания, основные расчётные формулы, результаты эксперимента, моделирования и расчёта (см. таблицы 4.1 и 4.2), внешнюю характеристику трансформатора, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы однофазного трансформатора.
- 2 Определение параметров схемы замещения трансформатора с помощью опытов холостого хода и короткого замыкания.

5 Лабораторная работа № 5. Определение параметров и основных характеристик трехфазного асинхронного электродвигателя

Цель работы: изучение принципа действия трехфазного асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором; построение механической характеристики двигателя $M = f(S)$; построение рабочих характеристик двигателя.

5.1 Основные теоретические сведения

Частота вращающегося магнитного поля статора АД

$$n_0 = \frac{60f_1}{p},$$

где f_1 – частота напряжения сети;

p – число пар полюсов машины (в частности, три обмотки статора создают одну пару полюсов, шесть обмоток – две пары и т. д.).

Разность частот вращения поля статора и ротора называют частотой скольжения, а её отношение к частоте n_0 – *скольжением* S :

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0}.$$

Уравнение механической характеристики $M = f(S)$ (формула Клосса)

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}},$$

где M_K – максимальный момент, развиваемый двигателем, $M_K = \lambda \cdot M_H$ (здесь λ – коэффициент перегрузки двигателя, $\lambda = 1,5 \dots 2,5$);

M_H – номинальный момент двигателя, $M_H = 9,55 P_H / n_H$;

S_K – критическое скольжение, $S_K = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$;

S_H – номинальное скольжение, $S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0}$.

Расчет КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1},$$

где P_2 – мощность на валу двигателя,

$$P_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30} \cdot M,$$

здесь M – текущее значение момента на валу двигателя;

n_2 – текущее значение частоты вращения двигателя;

P_1 – мощность, потребляемая двигателем из сети. P_1 определяется по показаниям ваттметров [1].

5.2 Исследуемая схема

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 5.1.

В работе исследуют и строят механическую $M = f(S)$ и рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos \varphi = f(P_2)$ при включении обмоток статора звездой. Частоту вра-

щения вала двигателя n_2 измеряют цифровым измерителем (ИС) в относительных единицах. Для определения истинного значения нужно воспользоваться формулой

$$n_2 = \frac{N \cdot 3000}{100},$$

где N – текущее показание измерителя.

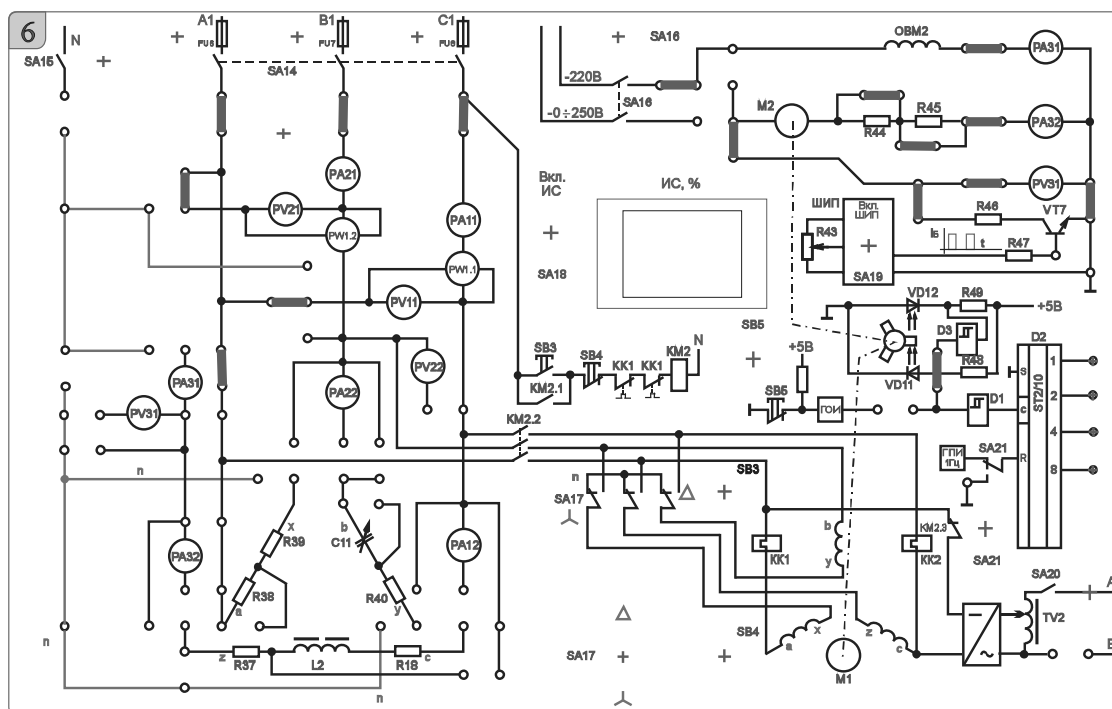


Рисунок 5.1 – Схема исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

5.3 Порядок выполнения лабораторной работы

5.3.1 Рассчитать по паспортным данным номинальный ток двигателя и номинальный момент. Пересчитать полученные значения для фазного напряжения 127 В.

Номинальный момент двигателя

$$M_H = 9,55 \cdot \frac{P_H}{n_H}.$$

5.3.2 Собрать схему, приведенную на рисунке 5.1.

5.3.3 Установить тумблер SA17 в положение «Y», резистор R43 установить в положение «min».

5.3.4 Тумблер SA21 должен находиться в положении «ВКЛ».

5.3.5 Включить стенд автоматическими выключателями QF1, QF2, QF3, включить измеритель скорости тумблером SA18, включить тумблер SA14, нажать на кнопку SB3 для подключения асинхронного двигателя к сети через пускатель KM2.

5.3.6 Для нагрузки используется генератор постоянного тока ПЛ-062. Для подключения обмотки возбуждения включить тумблер SA16.

5.3.7 Включить ШИП при помощи тумблера SA19.

5.3.8 Установить номинальный ток для пониженного напряжения I'_H (контролировать по прибору PA11), увеличивая нагрузку резистором R43, плавно поворачивая его в сторону «max».

5.3.9 Снять показания приборов PA11 (I'_{1H}), PV11 ($U_{1Л}$), PW1 (P_1), PA31(I_B), PA32(I_A), ИС.

5.3.10 Вернуть рукоятку резистора R43 в начальное положение «min».

5.3.11 Считая M_0 независимым от частоты вращения и изменяя I_A (PA32), с помощью R43 снять показания приборов PA11 (I'_1), PV11 ($U_{1Л}$), PW1 (P_1), PA31(I_B), PA32(I_A), ИС с различной величиной нагрузки на валу. Данные опыта записать в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты исследования

Номер опыта	$n, \%$	I_A (PA32), А	P_1 (PW1), Вт	$U_{1\phi} \left(\frac{PV11}{\sqrt{3}} \right), В$	I_ϕ (PA11), А

5.3.12 Считая, что к валу асинхронного двигателя (АД) была приложена номинальная мощность, определить M_0 по экспериментальным данным п. 5.3.11.

$$M_0 = M'_H - M_G = M'_H - C_M \Phi \cdot I_A,$$

где M_0 – статический момент нагрузки холостого хода;

M_G – момент генератора постоянного тока;

I_{AG} – ток якоря генератора постоянного тока (прибор PA32);

$C_M \Phi$ – магнитная постоянная нагрузочного генератора,

$$C_M \Phi = \frac{M_{HG}}{I_{AH}} = \frac{0,573}{0,76} = 0,753947.$$

5.3.13 Рассчитать для каждой нагрузки момент на валу M , КПД, скольжение S , полную мощность двигателя S_1 , мощность на валу P_2 и $\cos \varphi$.

5.3.14 По результатам измерений и расчетов построить механическую характеристику $M = f(S)$, рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos \varphi = f(P_2)$.

5.3.15 Рассчитать механическую характеристику по формуле Клосса для пониженного напряжения и сравнить с результатами эксперимента.

5.3.16 Сделать выводы по результатам работы.

5.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, основные расчётные формулы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, результаты эксперимента и расчёта, механическую характеристику $M = f(S)$, рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos \varphi = f(P_2)$, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Опишите принцип работы трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2 Механическая характеристика трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

3 Рабочие характеристики трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

6 Лабораторная работа № 6. Определение параметров и основных характеристик электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия ДПТ с независимым возбуждением; расчет и построение механических характеристик ДПТ.

6.1 Основные теоретические сведения

На рисунке 6.1 представлена схема включения двигателя постоянного тока.

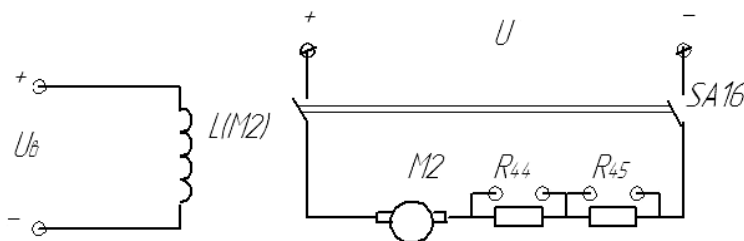


Рисунок 6.1 – Схема включения двигателя постоянного тока

Момент ДПТ рассчитывается по формуле

$$M = C_M \Phi \cdot I_{яH},$$

где C_M – моментная постоянная двигателя;

$I_{яH}$ – номинальный ток якоря;

$C_M \cdot \Phi$ – необходимо определять при номинальном токе возбуждения.

Важнейшей характеристикой ДПТ является механическая $n = f(M)$, представляющая зависимость частоты вращения n якоря от развиваемого ДПТ момента вращения M при условии постоянства напряжения и сопротивлений в цепи якоря и в цепи возбуждения. Уравнение механической характеристики ДПТ

$$n = \frac{U}{C_E \cdot \Phi_H} - \frac{R_{я} + R_{доб}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi_H^2} \cdot M,$$

где U – напряжение источника питания двигателя;

Φ_H – номинальное значение магнитного потока двигателя;

$R_{я}$ – сопротивление обмотки якоря;

$R_{доб}$ – сопротивление добавочного резистора в цепи якоря;

M – момент на валу двигателя;

C_E – конструктивная постоянная двигателя, $C_E = 0,1 \cdot C_M$.

КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1},$$

где P_2 – мощность на валу двигателя;

P_1 – потребляемая двигателем мощность из сети,

$$P_1 = U \cdot I = U \cdot I_{\text{я}} + U \cdot I_{\text{в}},$$

где I – потребляемый двигателем ток;

ΔP – потери мощности в двигателе,

$$\Delta P = \Delta P_{\text{я}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{м}};$$

$$\Delta P_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}};$$

$$\Delta P_{\text{в}} = I_{\text{в}}^2 R_{\text{в}} = U_{\text{в}} I_{\text{в}};$$

$\Delta P_{\text{м}}$ – магнитные и механические потери, составляют несколько процентов от потребляемой мощности [2].

Сопротивление обмотки якоря

$$R_{\text{я}} = 0,5 \cdot (1 - \eta_{\text{н}}) \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}}.$$

6.2 Исследуемые схемы

Исследование двигателя постоянного тока (ДПТ) с независимым возбуждением производится по схеме, представленной на рисунке 6.2.

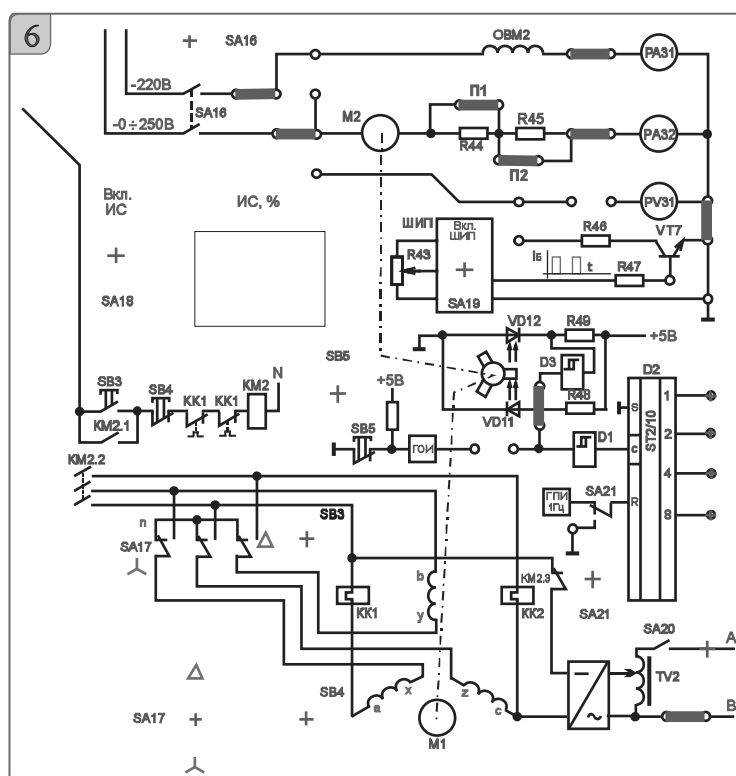


Рисунок 6.2 – Схема исследования ДПТ

Для построения естественной механической характеристики шунтируют добавочные резисторы в цепи якоря $R44$ и $R45$ и, изменяя нагрузку (SA20 включен) с помощью АД, включенного в режим динамического торможения (схема соединения обмоток – звезда), измеряют ток якоря ДПТ и частоту вращения для нескольких значений нагрузки. Частоту вращения ДПТ на холостом ходу устанавливают с помощью резистора $R12$. Величина нагрузки регулируется изменением напряжения, подаваемого на обмотки АД с трансформатора TV2.

Для построения реостатной механической характеристики включают добавочные резисторы $R44$ и $R45$ в цепь якоря и при неизменном выходном напряжении управляемого выпрямителя повторяют процедуры, изложенные ранее.

6.3 Порядок выполнения лабораторной работы

6.3.1 Собрать схемы, приведенные на рисунках 6.3 и 6.4. Перемычки П1 и П2 должны быть установлены.

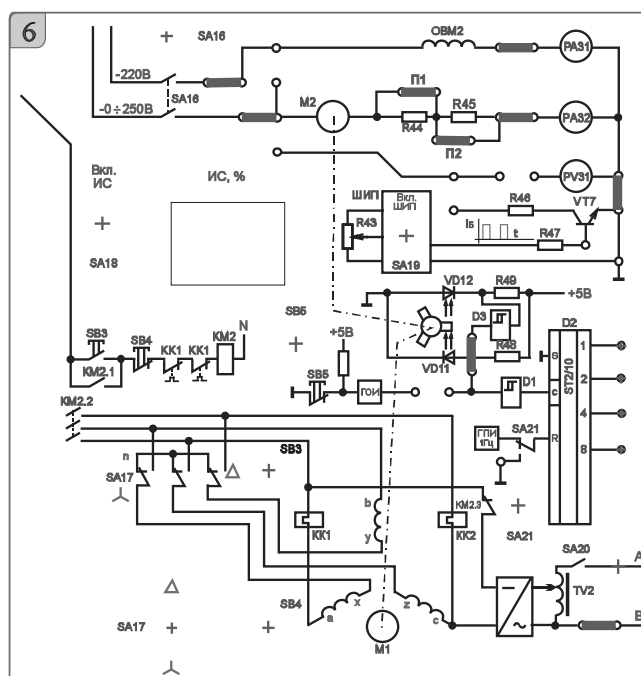


Рисунок 6.3 – Схема исследования ДПТ

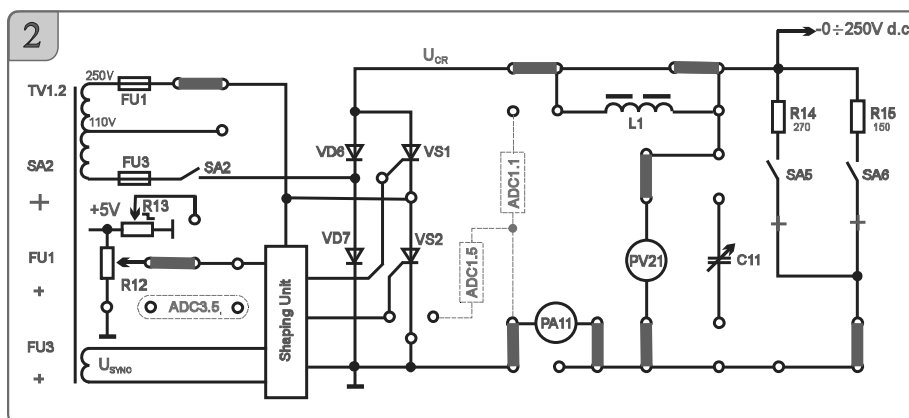


Рисунок 6.4 – Схема источника питания обмотки возбуждения ДПТ

6.3.2 Установить тумблер SA17 в положение «Y».

6.3.3 Тумблер SA21 должен находиться в положении «ВКЛ».

6.3.4 Подключить резистор R14 к управляемому выпрямителю тумблером SA5.

6.3.5 Включить стенд автоматическими выключателями QF1, QF2, QF3.

6.3.6 При помощи «Задатчика» выбрать профиль отображения приборов L8.

6.3.7 Для нагрузки используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АИР56 в режиме динамического торможения. Подключить обмотку возбуждения и якорь к питанию при помощи тумблера SA16. Включить тумблер SA18 (положение «ВКЛ») для включения измерителя.

6.3.8 Убедиться, что ток в обмотке возбуждения не превышает 200 мА (РА31).

6.3.9 Включить тумблер SA2.

6.3.10 Плавно вращая рукоятку резистора R12, установить частоту вращения двигателя 1500 мин^{-1} (по прибору ИС 50 %).

6.3.11 Для нагрузки необходимо подключить ЛАТР TV2 к статору асинхронного двигателя тумблером SA20.

При подключении ЛАТРа TV2 к двигателю положения органов управления ЛАТРОм SA70, SA71 и SA72 должны находиться в начальном положении.

6.3.12 Для нагрузки двигателя постоянного тока необходимо увеличивать ток динамического торможения двигателя. Для этого следует постепенно увеличивать напряжение на выходе ЛАТРа TV2 переключателями SA71 и SA72.

6.3.13 Измерить ток якоря ДПТ и частоту вращения для нескольких значений нагрузки. Значения занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Естественная механическая характеристика ДПТ

Опыт		Расчет		
$n_2, \%$	$I_{я}, \text{А}$	$n_2, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\eta, \%$

6.3.14 Выключить тумблер SA2, переключатели SA70, SA71 и SA72 вернуть в начальное положение (положение рукоятки резистора R12 не менять!).

6.3.15 Выключить тумблер SA16.

6.3.16 Для снятия первой реостатной характеристики расшунтировать R44 (убрать перемычку П1).

6.3.17 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера SA16.

6.3.18 Включить тумблер SA2.

6.3.19 Не меняя положение рукоятки резистора R12, измерить ток якоря ДПТ и частоту вращения для нескольких значений нагрузки (пп. 6.3.12 и 6.3.13). Значения занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Реостатная механическая характеристика R44 ДПТ

Опыт		Расчет		
$n_2, \%$	$I_{я}, \text{А}$	$n_2, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\eta, \%$

6.3.20 Выключить тумблер SA2, переключатели SA70, SA71 и SA72 вернуть

в начальное положение (положение рукоятки резистора R_{12} не менять!).

Выключить тумблер SA16.

6.3.21 Для снятия второй реостатной характеристики расшунтировать R_{44} и R_{45} (убрать перемычку П2 и П1).

6.3.22 Подключить обмотку возбуждения и якорь к цепям питания при помощи тумблера SA16.

6.3.23 Включить тумблер SA2.

6.3.24 Не меняя положение рукоятки резистора R_{12} , измерить ток якоря и частоту вращения для нескольких значений нагрузки. Данные занести в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Реостатная механическая характеристика $R_{44} + R_{45}$ ДПТ

Опыт		Расчет		
$n_2, \%$	I_a, A	$n_2, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	$\eta, \%$

6.3.25 Выключить стенд в следующем порядке: выключить тумблеры SA2, SA20, SA16; вернуть органы управления в начальное положение; выключить тумблер SA18; выключить стенд выключателями QF1, QF2, QF3; вернуть рукоятку резистора R_{12} в начальное положение («min»); убрать перемычки.

6.3.26 Рассчитать момент на валу и КПД двигателя при различных нагрузках на валу двигателя. Расчеты занести в таблицы 6.1–6.3.

6.3.27 Построить механические характеристики двигателя по значениям, занесенным в таблицы 6.1–6.3.

6.3.28 Сделать выводы по результатам работы.

6.4 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схему включения двигателя постоянного тока, основные расчётные формулы, результаты эксперимента и расчёта (см. таблицы 6.1–6.3), механические характеристики двигателя, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Опишите принцип работы двигателя постоянного тока.
- 2 Запишите уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы выпрямительного диода и стабилитрона

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик и параметров выпрямительных диодов и стабилитронов.

7.1 Основные теоретические сведения

Полупроводниковый прибор, который имеет два электрода и один (или несколько) p – n -переходов, называется диодом.

На рисунке 7.1, а приведено условное графическое обозначение полупроводникового диода на электрических схемах, его структура – на рисунке 7.1, б. Электрод диода, подключенный к области p , называют анодом, а электрод, подключенный к области n , – катодом.

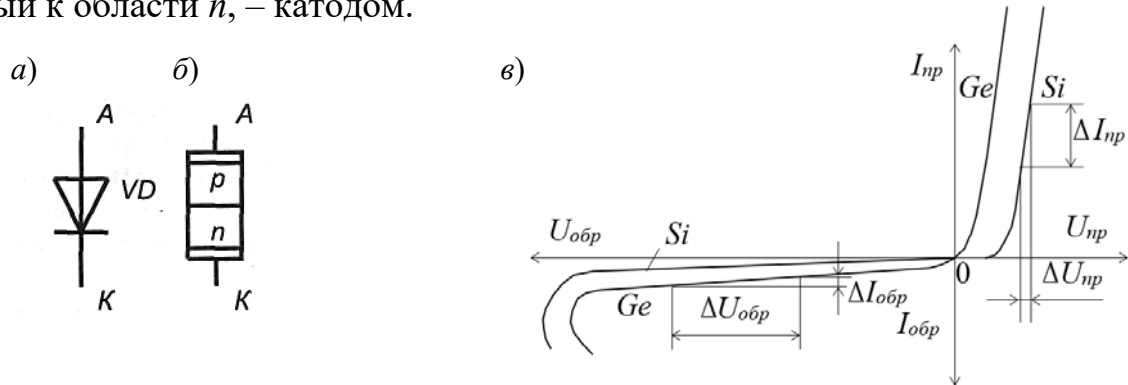


Рисунок 7.1 – Условное обозначение (а), структура (б) и статическая вольт-амперная характеристика (в) полупроводникового диода

Стабилитрон – это сильно легированный кремниевый диод, на котором напряжение сохраняется с определённой точностью при изменении протекающего через него тока в заданном диапазоне. Стабилитроны в основном используют в параметрических стабилизаторах напряжения (рисунок 7.2, а), в которых максимальное напряжение на нагрузке U_n ограничено некоторой заданной величиной.

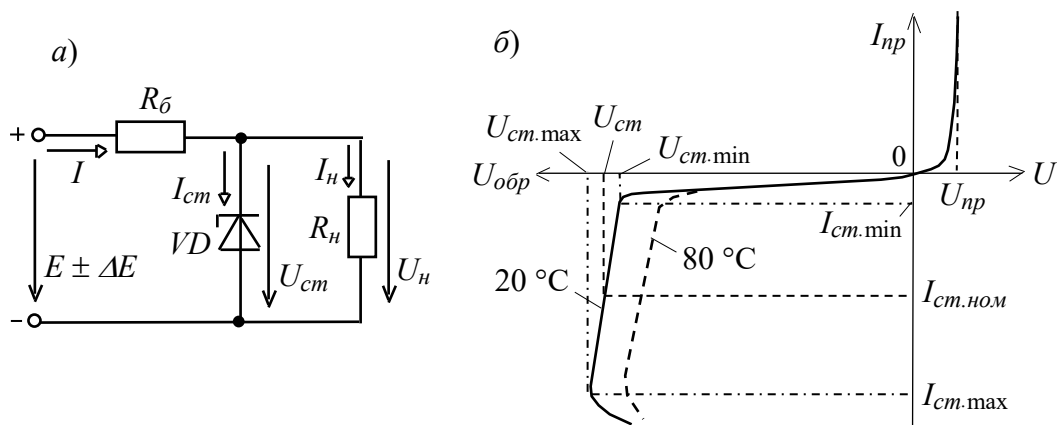


Рисунок 7.2 – Параметрический стабилизатор (а) и статическая вольт-амперная характеристика (б) стабилитрона

Сопротивление балластного резистора определяют по формуле

$$R_{\text{б}} = \frac{E_{\text{ср}} - U_{\text{см}}}{I_{\text{см.ср}} + I_{\text{н}}},$$

где $E_{\text{ср}}$, $I_{\text{см. ср}}$ – средние значения ЭДС входного источника напряжения и тока стабилизации соответственно [3].

7.2 Порядок выполнения работы

7.2.1 Для заданных преподавателем диодов выписать из справочника их основные параметры.

7.2.2 Для построения вольт-амперной характеристики диода в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 7.3. Осуществить моделирование её работы, изменяя ЭДС источников питания.

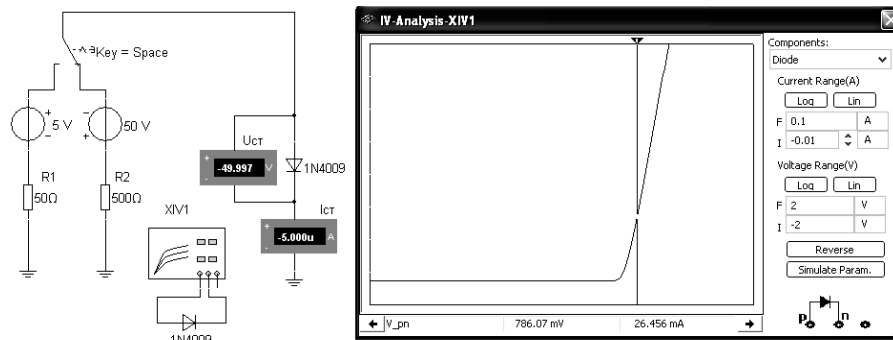


Рисунок 7.3 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

Диод выбирается из библиотеки элементов согласно заданию и подключается к источнику постоянного напряжения. Для снятия обратной ветви ВАХ с помощью ключа меняется полярность источника ЭДС.

ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

7.2.3 По полученным ВАХ диода определить:

- прямое статическое сопротивление при токе, равном $0,5 I_{np \max}$,

$$R_{np} = \frac{U_{np}}{I_{np}};$$

- обратное статическое сопротивление при напряжении, равном $0,5 U_{обр \max}$,

$$R_{обр} = \frac{U_{обр}}{I_{обр}};$$

- прямое дифференциальное сопротивление диода

$$R_{диф} = \frac{\Delta U_{np}}{\Delta I_{np}}.$$

Результаты занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты измерений и вычислений

Результат измерения						Результат вычисления		
U_{np} , В	I_{np} , мА	$U_{обр}$, В	$I_{обр}$, мА	ΔU_{np} , В	ΔI_{np} , мА	R_{np} , Ом	$R_{обр}$, Ом	$R_{диф}$, Ом

7.2.4 На основании заданного типа стабилитрона, параметров источника входного напряжения (E_{\min} , E_{\max}), параметров нагрузки (U_n , R_n) необходимо рассчитать сопротивление балластного резистора R_{δ} (см. рисунок 7.2). Заполнить

таблицы 7.2 и 7.3.

Таблица 7.2 – Параметры стабилитрона

Данные	$U_{ст\ ном},$ В	$U_{ст\ min},$ В	$U_{ст\ max},$ В	$I_{ст\ min},$ мА	$I_{ст\ max},$ мА	$I_{ст\ ср},$ мА	$R_{диф},$ Ом
Паспортные данные							
Моделирование							

Таблица 7.3 – Параметры параметрического стабилизатора

$E_{min},$ В	$E_{max},$ В	$E_{ср},$ В	$R_H,$ Ом	$I_H,$ мА	$U_{ст},$ В	$I_{ст},$ мА	$R_{\delta},$ Ом

7.2.5 Получить вольт-амперную характеристику стабилитрона (ВАХ) в программе Multisim с помощью характериографа XIV1 (рисунок 7.4). Стабилитрон выбирается из библиотеки элементов согласно заданию.

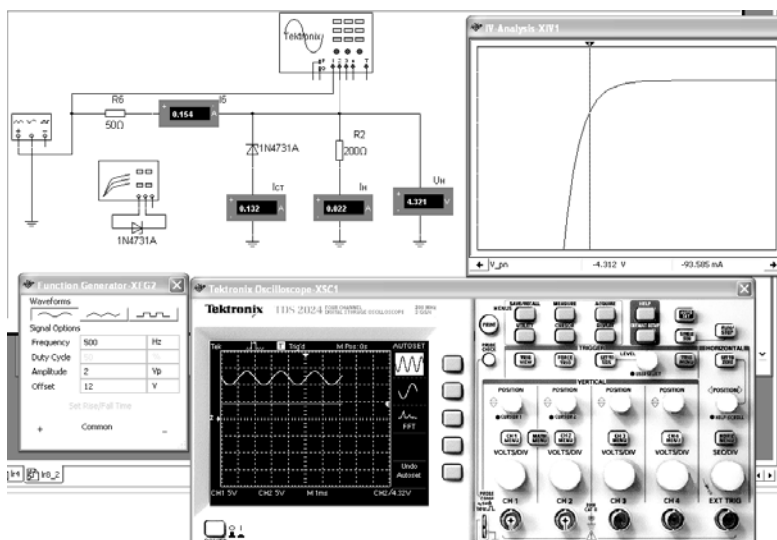


Рисунок 7.4 – Схема для снятия ВАХ стабилитрона и исследования параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim

7.2.6 По полученным ВАХ стабилитрона определить: $U_{ст}$, $I_{ст}$, дифференциальное сопротивление стабилитрона на участке стабилизации $R_{диф}$.

7.2.7 На основании выбранных элементов схемы параметрического стабилизатора напряжения осуществить моделирование его работы (см. рисунок 7.3). Входное напряжение формируется функциональным генератором XFG2, напряжения и токи в схеме отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.

7.2.8 Сделать выводы по результатам работы.

7.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы выпрямительного диода и параметрического стабилизатора напряжения

в среде Multisim, вольт-амперные характеристики диодов и стабилитрона, полученные в результате моделирования, основные параметры диода, стабилитрона, параметрического стабилизатора в виде таблиц, выводы по работе.

Контрольные вопросы

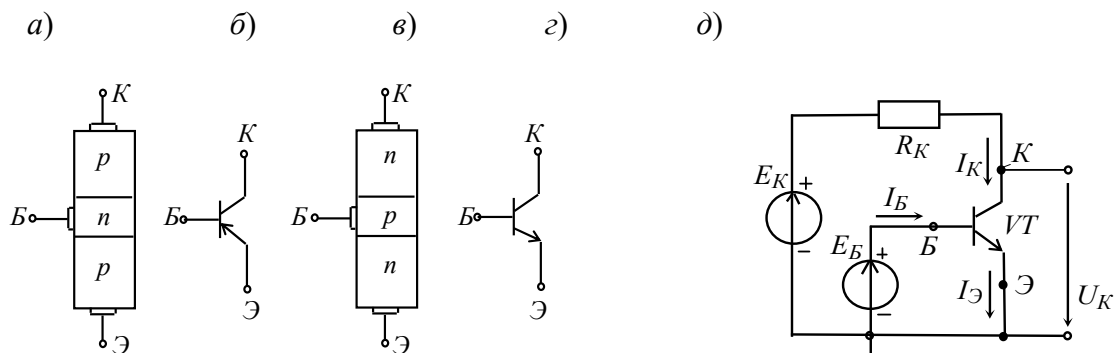
- 1 Приведите основные параметры выпрямительного диода и стабилитрона.
- 2 Опишите порядок получения ВАХ диода и стабилитрона по результатам моделирования и экспериментально.
- 3 Как по ВАХ определить статические и динамические сопротивления диода и стабилитрона?

8 Лабораторная работа № 8. Исследование характеристик биполярных и полевых транзисторов

Цель работы: получение входных, выходных характеристик и параметров биполярного транзистора; получение стоко-затворных, выходных характеристик и параметров полевого транзистора с управляющим p – n -переходом и изолированным затвором.

8.1 Основные теоретические сведения

Биполярный транзистор представляет собой кристалл полупроводника, состоящий из трех слоев с чередующейся проводимостью и снабженный тремя выводами для подключения к внешней цепи (рисунок 8.1, а, в).



Э – эмиттер; К – коллектор; Б – база

Рисунок 8.1 – Структура (а, в), обозначение биполярных транзисторов разных типов (б, г), схема включения с общим эмиттером (д)

Схема включения транзистора с ОЭ (рисунок 8.1, д) является наиболее распространенной вследствие малого тока базы во входной цепи и усиления входного сигнала как по напряжению, так и по току.

В режиме усиления *малых сигналов* для транзистора в схеме с ОЭ определяют входные и выходные параметры.

$h_{11Э}$ – входное динамическое сопротивление транзистора, $h_{11Э} = 100 \dots 1000 \text{ Ом}$,

$$h_{11Э} = \left. \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B} \right|_{U_K = \text{const}} \quad (\Delta U_K = 0).$$

$h_{12Э}$ – безразмерный коэффициент внутренней обратной связи по напряжению, значение которого лежит в пределах $0,002 \dots 0,0002$ (при расчётах им часто пренебрегают, т. е. полагают равным нулю),

$$h_{12Э} = \left. \frac{\Delta U_B}{\Delta U_K} \right|_{I_B = \text{const}} \quad (\Delta I_B = 0).$$

$h_{21Э}$ – коэффициент передачи (усиления) тока при постоянном напряжении на коллекторе, его также обозначают K_i или $\beta = 10 \dots 200$,

$$h_{21Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \right|_{U_K = \text{const}} \quad (\Delta U_K = 0).$$

$h_{22Э}$ – выходная проводимость транзистора при постоянном токе базы, $h_{22Э} = 10^{-4} \dots 10^{-6}$ См,

$$h_{22Э} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K} \right|_{I_B = \text{const}} \quad (\Delta I_B = 0).$$

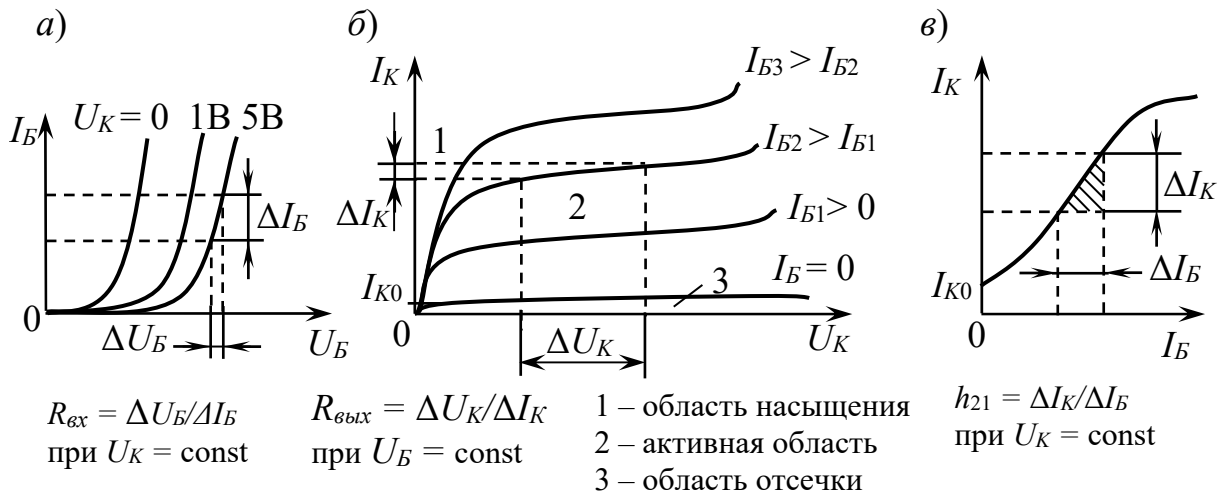


Рисунок 8.2 – Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора при включении в режиме «с общим эмиттером»

Полевой транзистор – это полупроводниковый прибор, в котором ток стока (I_C) через полупроводниковый канал n - или p -типа управляется электрическим полем, возникающим при приложении напряжения между затвором (3) и истоком (1).

Схема включения полевого транзистора с затвором типа p – n -перехода и каналом n -типа, его семейство выходных характеристик $I_C = f(U_C)$, $U_3 = \text{const}$ и стоко-затворная характеристика $I_C = f(U_3)$, $I_C = \text{const}$ изображены на рисунке 8.3.

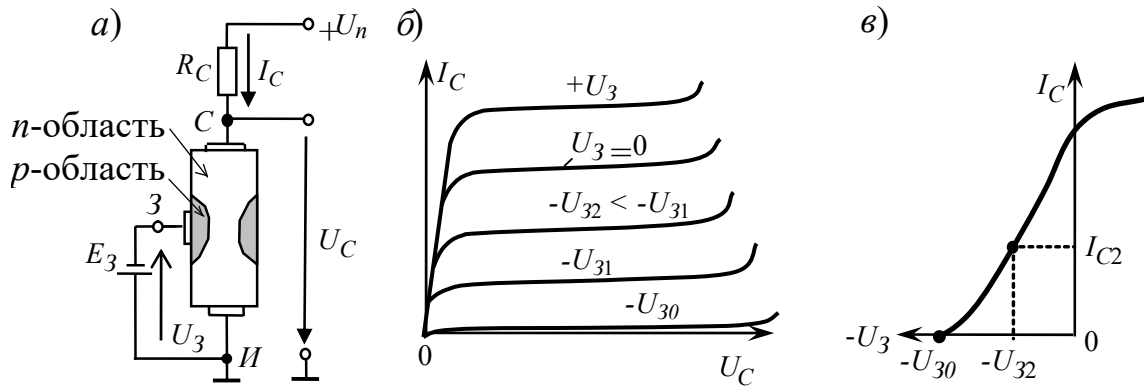


Рисунок 8.3 – Схема включения и характеристики полевого транзистора

Важнейшей особенностью полевых транзисторов является высокое входное сопротивление (десятки-сотни мегаом) и малый входной ток. Одним из основных параметров полевых транзисторов является *крутизна* $S_i = \Delta I_C / \Delta U_3$ стоко-затворной характеристики (см. рисунок 8.3, в), выражаемая в миллиампер/вольт.

Внутреннее сопротивление полевого транзистора определяется отношением напряжения стока к соответствующему изменению тока стока (напряжение на затворе при определении сопротивления должно оставаться постоянным):

$$R_i = \left. \frac{\Delta U_{cu}}{\Delta I_c} \right|_{U_{zu} = \text{const.}}$$

Усилительные свойства транзистора по напряжению характеризуются коэффициентом усиления μ_i :

$$\mu_i = \left. \frac{\Delta U_{cu}}{\Delta U_{zu}} \right|_{I_c = \text{const.}}$$

Коэффициент усиления связан с крутизной вольт-амперной характеристики и внутренним сопротивлением соотношением

$$\mu_i = S_i R_i.$$

8.2 Порядок выполнения работы

8.2.1 На основании заданного преподавателем типа биполярного транзистора необходимо рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов R_1 , R_2 (рисунок 8.4) с учётом обеспечения тока коллектора $I_k < 0,5 I_{k \text{ max}}$. Заполнить таблицу 8.1.

8.2.2 Для построения вольт-амперных входной и выходной характеристик биполярного транзистора ($n-p-n$) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 8.4. Транзистор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию. На базу подается напряжение от источника ЭДС-1 E_1 , который задает ток базы I_b , измеряемый амперметром A_1 . Напряжение эмиттер – коллектор задается источником ЭДС-2 E_1 , ток в цепи коллектора измеряется амперметром

A_2 , напряжение – вольтметром B_1 . Выходную ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1 [4].

Таблица 8.1 – Исходные данные

Тип транзистора	Параметры источников ЭДС		Параметры транзистора и ограничивающих резисторов				
	E_1 , В	E_2 , В	$I_{k \max}$, мА	$U_{кэ \max}$, В	$h_{21э} (\beta)$	R_1 , Ом	R_2 , Ом

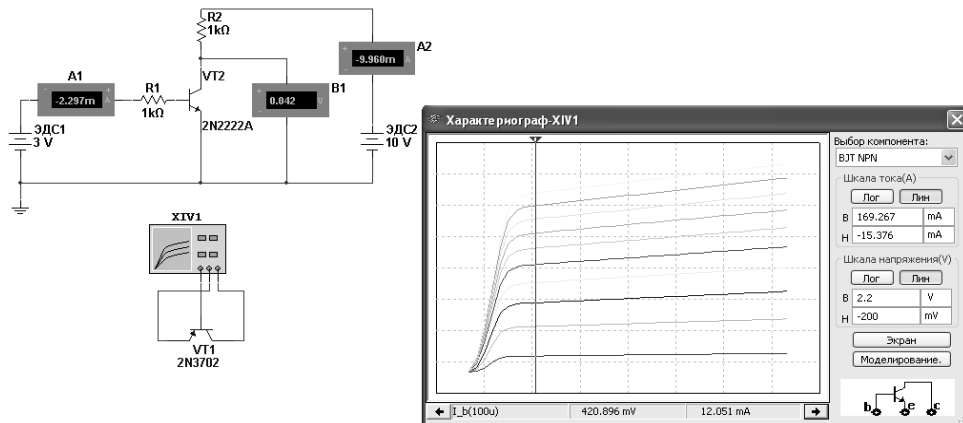


Рисунок 8.4 – Схема для снятия входных и выходных ВАХ биполярного транзистора в среде Multisim

8.2.3 Воспользовавшись графиками семейств входных и выходных ВАХ, определить h -параметры биполярного транзистора.

8.2.4 На основании заданных преподавателем типов полевых транзисторов необходимо рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов R_1 , R_2 (рисунок 8.5) с учётом обеспечения тока стока $I_c < 0,5I_{c \max}$. Заполнить таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Исходные данные

Тип транзистора	Параметры источников ЭДС		Параметры транзистора и ограничивающих резисторов					
	E_1 , В	E_2 , В	$I_{c \max}$, мА	$U_{си \max}$, В	$U_{зи \max}$, В	S , мА/В	R_1 , Ом	R_2 , Ом

8.2.5 Для построения вольт-амперных стоко-затворной и выходной характеристик полевых транзисторов ($n-p-n$) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 8.5.

Транзистор выбирается из библиотеки элементов согласно заданию. На затвор подается напряжение от источника ЭДС-1, который задает ток затвора I_z , измеряемый амперметром A_1 . Напряжение сток – исток задается источником ЭДС-2, ток в цепи стока измеряется амперметром A_2 , напряжение – вольтметром B_1 . Выходную ВАХ можно получить с помощью характериографа.

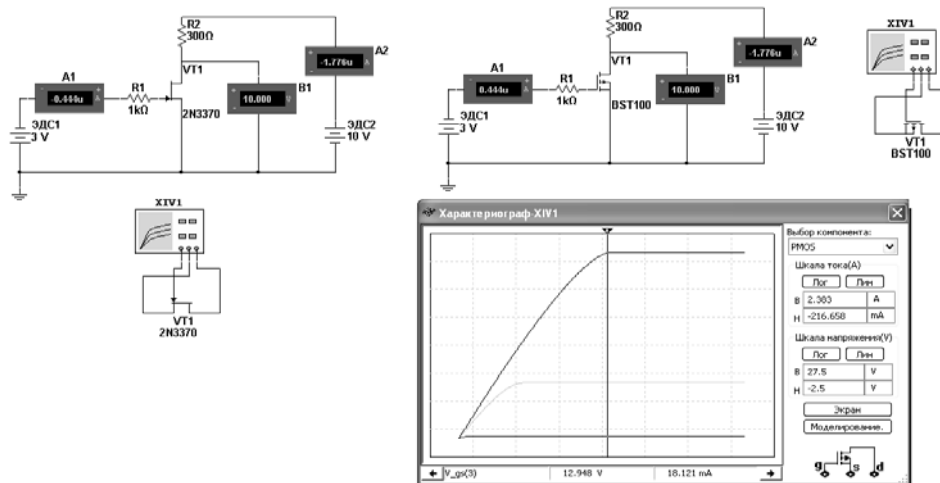


Рисунок 8.5 – Схемы для снятия стоко-затворной и выходных ВАХ полевых транзисторов с управляющим p – n -переходом и изолированным затвором в среде Multisim

8.2.6 Определить статические параметры полевого транзистора S_i , R_i , μ_i и проверить соотношение между ними.

8.2.7 Сделать выводы по результатам работы.

8.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы биполярных и полевых транзисторов в среде Multisim, полученные в результате моделирования характеристики и параметры транзисторов, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите основные параметры биполярного и полевого транзисторов.
- 2 Охарактеризуйте h -параметры транзистора и порядок их вычисления.
- 3 Как определить крутизну стоко-затворной характеристики, внутреннее сопротивление и коэффициент усиления полевого транзистора?

9 Лабораторная работа № 9. Исследование схем на основе операционных усилителей

Цель работы: изучение принципа работы, методик расчёта, характеристик устройств на базе операционных усилителей.

9.1 Основные теоретические сведения

Операционным усилителем (ОУ) называют усилитель постоянного тока с дифференциальным входом, предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми и импульсными величинами.

На рисунке 9.1 приведены условные обозначения ОУ.

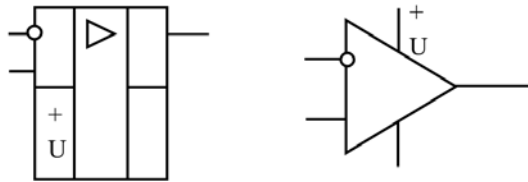


Рисунок 9.1 – Условное графическое обозначение операционного усилителя

На основе ОУ строят усилительные схемы, а также устройства для выполнения различных математических операций (рисунок 9.2): *инвертирующий усилитель* (а); *неинвертирующий усилитель* (б); *сумматор* (в), выходное напряжение которого равно инвертированной сумме входных напряжений; операционный повторитель, выходной сигнал которого практически равен входному; интегратор, выходной сигнал которого пропорционален интегралу по времени от его входного сигнала; дифференциатор, выходной сигнал которого пропорционален производной от его входного сигнала.

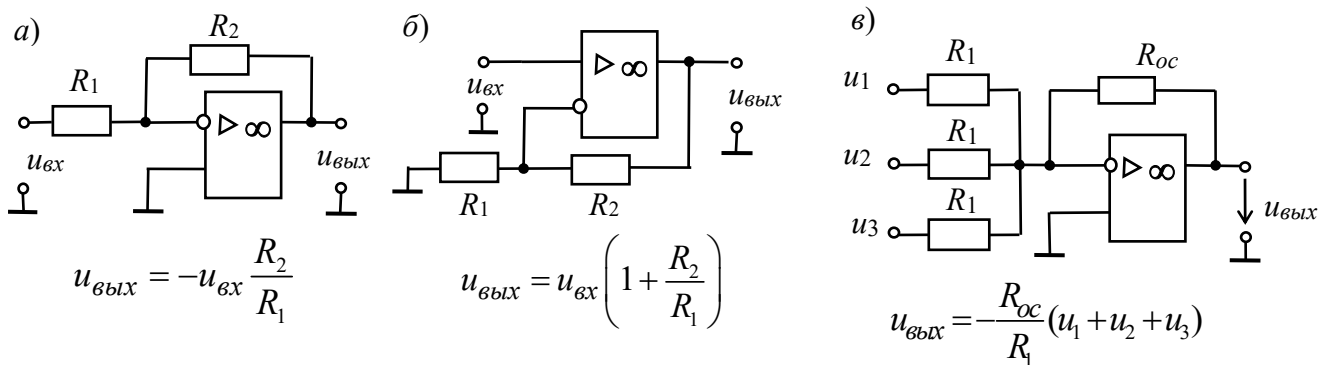


Рисунок 9.2 – Устройства на базе операционных усилителей

9.2 Порядок выполнения работы

9.2.1 По заданным параметрам заполнить таблицу 9.1. Произвести расчет устройств на рисунке 9.2, а–в, заполнить таблицу 9.2.

Таблица 9.1 – Исходные данные

Тип ОУ	Заданные параметры (см. рисунок 9.2, а)		Заданные параметры (см. рисунок 9.2, б)		Заданные параметры (см. рисунок 9.2, в)			
	$u_{вх}$, В	$u_{вых}$, В	$u_{вх}$, В	$u_{вых}$, В	u_1 , В	u_2 , В	u_3 , В	$u_{вых}$, В

Таблица 9.2 – Рассчитанные параметры

Тип ОУ	Рассчитанные параметры					
	(см. рисунок 9.2, а)		(см. рисунок 9.2, б)		(см. рисунок 9.2, в)	
	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом

9.2.2 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы устройств, представленных на рисунке 9.2, а–в в программе Multisim, построив их модели согласно рисунку 9.3. Напряжения и осциллограммы в схемах отображаются с помощью виртуальных вольтметров и осциллографа. Входной сигнал формируется функциональным генератором.

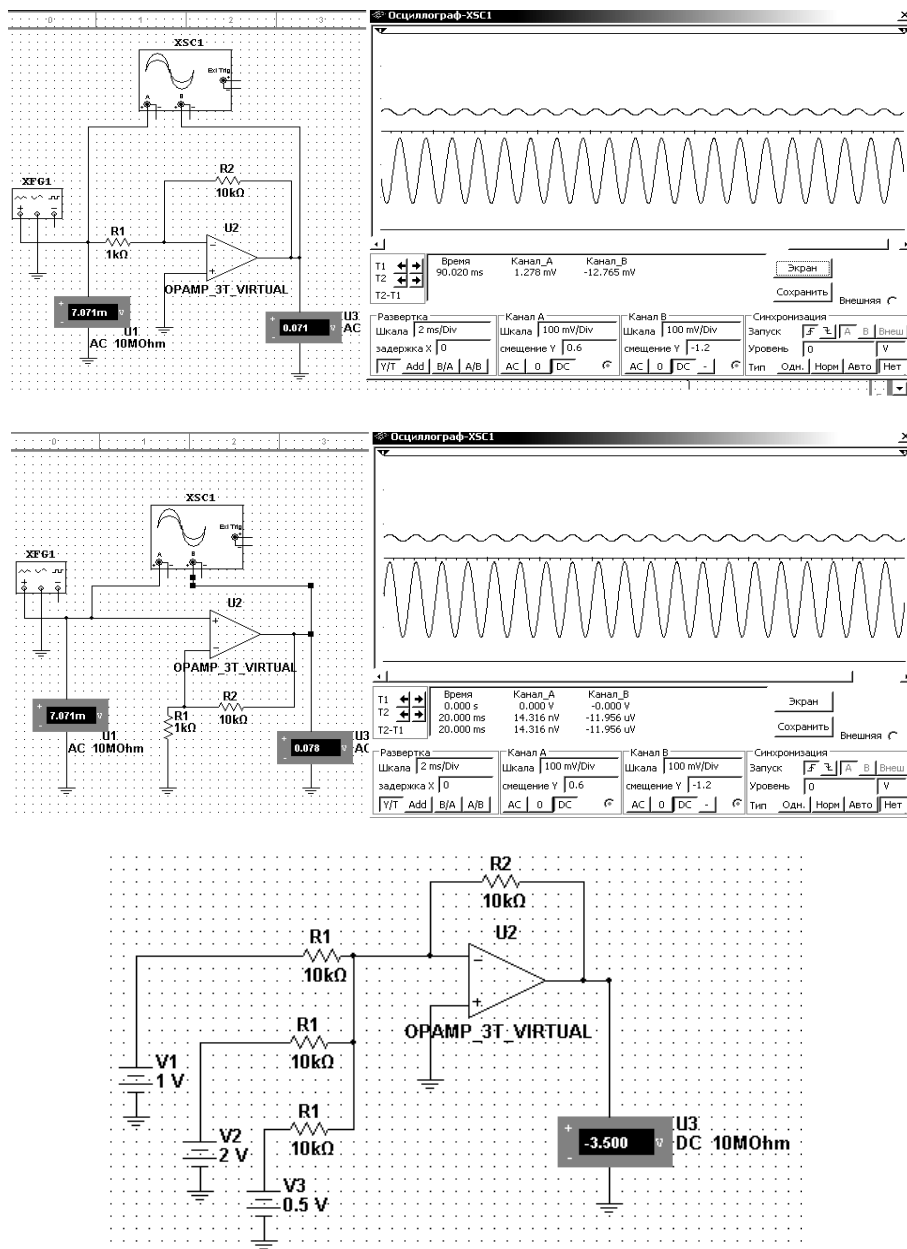


Рисунок 9.3 – Схемы инвертирующего усилителя (вверху), неинвертирующего усилителя (в центре) и сумматора (внизу) в среде Multisim

В схеме сумматора просуммировать постоянный и переменный сигналы, подав на вход 1 вместо постоянного напряжения 1 В переменное напряжение 1 В с частотой 1 кГц. Напряжение на выходе пронаблюдать с помощью осциллографа.

9.2.3 Сделать выводы по результатам работы.

9.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, исходные данные, схемы на основе ОУ, расчёт, результаты моделирования работы усилителя в среде Multisim, осциллограммы входного и выходного сигналов, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Приведите основные схемы на ОУ.
- 2 Перечислите основные выводы ОУ и нарисуйте его условное графическое обозначение.
- 3 Для чего применяется отрицательная обратная связь в усилителях?

10 Лабораторная работа № 10. Исследование работы однофазных неуправляемых выпрямителей

Цель работы: изучение принципа функционирования, методик расчёта, характеристик и параметров неуправляемых однофазных выпрямителей.

10.1 Основные теоретические сведения

Выпрямителем называется устройство преобразования переменного напряжения в постоянное. Выпрямительное устройство, помимо выпрямителя, в который входят один или несколько включенных по определенной схеме вентилях (диодов, тиристоров), содержит в себе силовой трансформатор, сглаживающий фильтр и стабилизатор.

Простейшей схемой нерегулируемого выпрямителя является однопериодная однофазная схема (рисунок 10.1, а). Графики входного и выходного напряжения, а также тока через вентиль (диод VD1) при резистивной (сплошная линия) и резистивно-емкостной нагрузке (пунктир) показаны на рисунке 10.1, б.

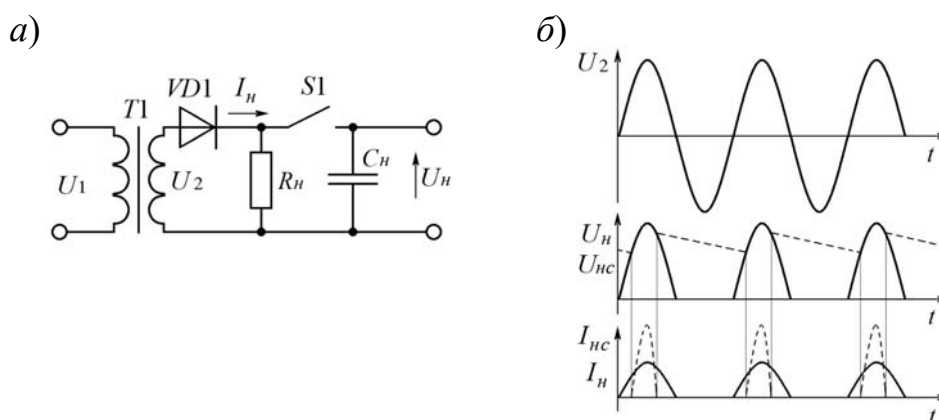


Рисунок 10.1 – Схема (а) и временные диаграммы (б) однофазного однополупериодного выпрямителя

Среднее за период выпрямленное напряжение (постоянная составляющая)

$$U_H = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi u_2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_{2m} \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{1}{\pi} U_{2m} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2,$$

где U_{2m} , U_2 – максимальное и среднее значения напряжения на входе выпрямителя.

Средний ток, протекаемый через диод, $I_a = I_H$.

Ток во вторичной обмотке трансформатора

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} I_{2m}^2 \cos^2 \omega t \cdot d\omega t} = \frac{I_{2m}}{2} = \frac{U_{2m}}{R_H} = \frac{\pi \cdot U_H}{2 \cdot R_H} = \frac{\pi}{2} I_H.$$

Мощность, получаемая вторичной обмоткой,

$$P_2 = I_2 \cdot U_2 = \frac{\pi \cdot I_H}{2} \cdot \frac{U_H}{0,45} = 3,49 \cdot P_H.$$

Аналогично для первичной обмотки при коэффициенте трансформации k_{mp}

$$P_1 = I_1 \cdot U_1 = \frac{1,21 \cdot I_H}{k_{mp}} \cdot \frac{k_{mp} \cdot U_H}{0,45} = 2,7 \cdot P_H.$$

Тогда габаритная мощность (полусумма мощностей во всех обмотках) P_2 и коэффициент использования трансформатора K_u

$$P_2 = 0,5(P_1 + P_2) = 3,1 P_H, \quad K_u = P_H / P_2 = 0,32.$$

Среднее значение мощности в нагрузке

$$P_{H\text{cp}} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} I_{2m} \cdot U_{2m} \cdot \cos^2 \omega t \cdot d\omega t = \frac{I_{2m} \cdot U_{2m}}{4} = \frac{\pi \cdot I_H \cdot \pi \cdot U_H}{4} = \frac{\pi^2 \cdot P_H}{4}.$$

Коэффициент преобразования мощности $K_{n.m} = P_H / P_{H\text{cp}} = 4 / \pi^2 = 0,41$.

Для определения коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения по первой гармонике находим ее амплитуду:

$$U_{m1} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U_{2m} \cdot \cos^2 \omega t \cdot d\omega t = \frac{U_{2m}}{2} = \frac{\pi \cdot U_H}{2} = 1,57 \cdot U_H.$$

Коэффициент пульсаций по первой гармонике с амплитудой U_{m1}

$$K_{n1} = U_{m1} / U_H = 1,57.$$

Более эффективное использование трансформатора достигается в двух-полупериодной мостовой схеме (рисунок 10.2, а). Вентили в ней работают поочередно попарно. Сердечник трансформатора здесь не подмагничивается, а временные диаграммы напряжений и токов в схеме приведены на рисунке 10.2, б.

Сравнительные показатели схем выпрямления приведены в таблице 10.1.

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения переменной составляющей напряжения на выходе выпрямителя до величины, при которой

обеспечивается нормальная работа питаемого устройства.

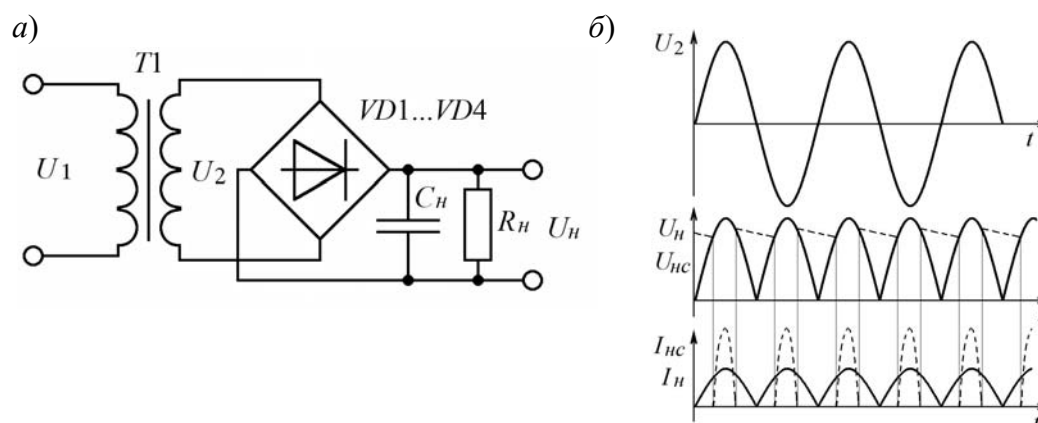


Рисунок 10.2 – Схема (а) и временные диаграммы (б) двухполупериодного мостового выпрямителя

Таблица 10.1 – Сравнительные показатели схем выпрямления

Тип схемы	m	U_2/U_n	I_2/I_n	K_{n1}	$S_{тр}/P_n$	I_a/I_n	$U_{обр\ max}/U_n$
Однополупериодная	1	2,22	1,57	1,57	3,1	1	3,14
Двухполупериодная мостовая	2	1,11	1,11	0,667	1,23	0,5	1,57

Показателем качества сглаживающих фильтров служит коэффициент сглаживания пульсаций $K_{сг}$, равный отношению коэффициентов пульсаций на входе $K_{n\ вх}$ и выходе (нагрузке) K_n фильтра: $K_{сг} = K_{n\ вх} / K_n$.

Для емкостного фильтра при $R_n \gg 1/(m \cdot \omega \cdot C)$ коэффициент пульсаций:

– для однополупериодной схемы выпрямления

$$C \geq 2/(K_{n\ вх} \omega R_n);$$

– для двухполупериодной схемы выпрямления

$$C \geq 1/(K_{n\ вх} \omega R_n).$$

10.2 Порядок выполнения лабораторной работы

10.2.1 На основании заданных параметров питающего напряжения U_1 , f_1 ; нагрузки U_n , R_n и коэффициента пульсаций на нагрузке K_n произвести расчёт параметров выпрямителей (см. рисунок 10.1 и 10.2), выбрать вентили. Заполнить таблицы 10.2 и 10.3.

Таблица 10.2 – Исходные данные

Схема выпрямления	Заданные параметры				
	U_1 , В	f , Гц	U_n , В	R_n , Ом	k_n
Однополупериодная					
Двухполупериодная мостовая					

10.2.2 Для подтверждения правильности расчётов произвести моделирование работы выпрямителей в программе Multisim, построив их модели согласно рисункам 10.3 и 10.4. Напряжения и токи в схемах отображаются с помощью

виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.

Таблица 10.3 – Результаты вычислений

Схема выпрямления	Рассчитанные параметры								
	U_2 , В	k_{mp}	I_2 , А	S_{mp} , ВА	I_a , А	$U_{обр\ max}$, В	Тип вентиля	C_{ϕ} , мкФ	$k_{сг}$

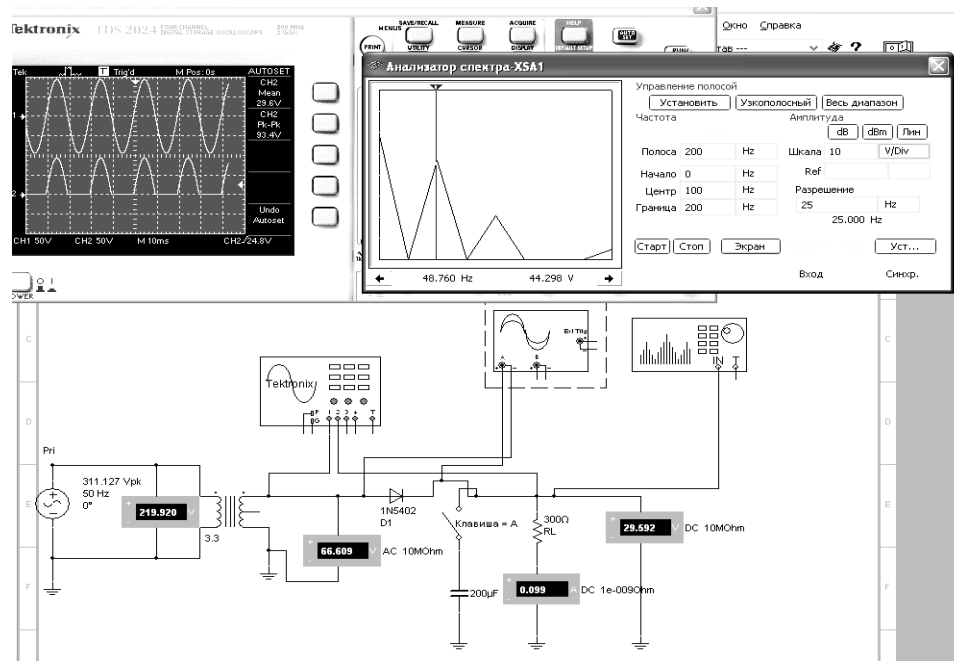


Рисунок 10.3 – Схема однофазного однополупериодного выпрямителя в среде Multisim

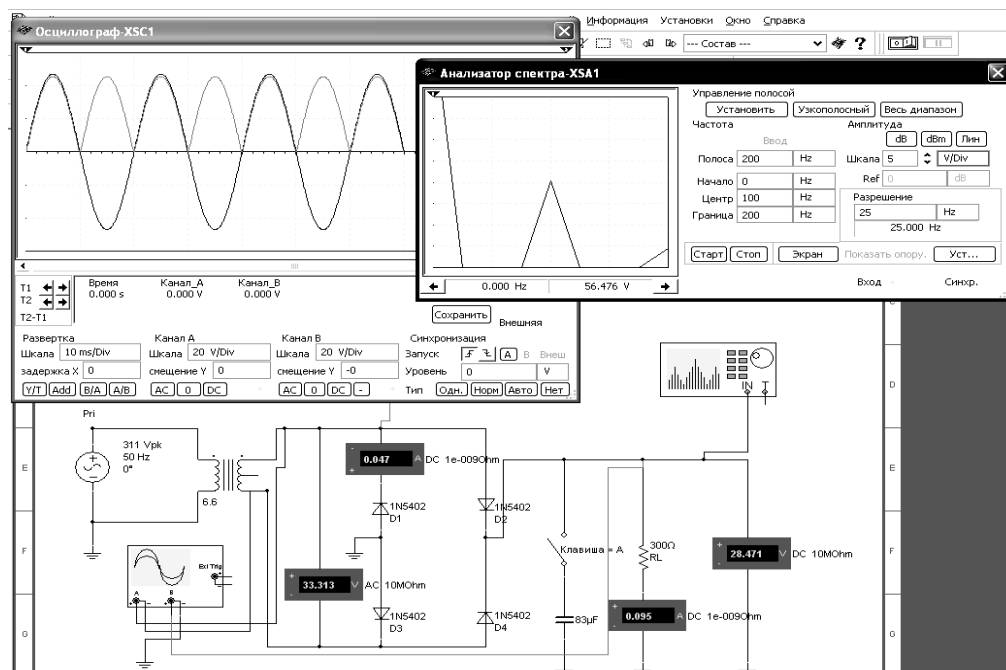


Рисунок 10.4 – Схема двухполупериодного мостового выпрямителя в среде Multisim

Снять осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора U_2 и на выходе выпрямителя U_n при работе на активную и емкостную

нагрузки. Подключение сглаживающего фильтра осуществляется замыканием ключа (клавиша «А»).

Измерить значение тока нагрузки I_n , тока через диод I_a и максимального обратного напряжения на диоде $U_{обр\ max}$. Определить коэффициент пульсаций нагрузки с фильтром k_n и коэффициент сглаживания $k_{сг}$. Для определения амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения U_{m1} воспользоваться анализатором спектра XSA1.

10.2.3 Сделать выводы по результатам работы.

10.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, исходные данные, рассчитанные параметры выпрямителей, схемы для моделирования их работы в среде Multisim, выводы по работе.

Контрольные вопросы

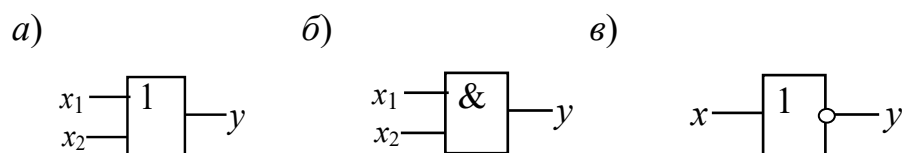
- 1 Опишите принцип работы схем однофазных неуправляемых выпрямителей.
- 2 Опишите порядок расчёта схем однофазных неуправляемых выпрямителей.
- 3 Приведите диаграммы входного и выходного напряжения для однофазных неуправляемых выпрямителей.

11 Лабораторная работа № 11. Исследование работы логических элементов и триггеров

Цель работы: изучение принципа функционирования и характеристик логических элементов и триггеров.

11.1 Основные теоретические сведения

В ЭВМ, импульсных и других цифровых устройствах широко применяются *логические элементы*. Каждый логический элемент выполняет вполне определённую логическую операцию. Основными логическими операциями являются: логическое отрицание НЕ (инверсия), логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция), логическое умножение И (конъюнкция) (рисунок 11.1).

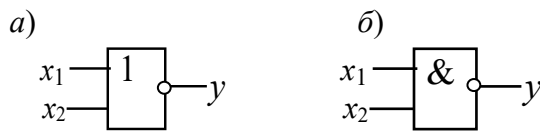


а – элемент ИЛИ; б – элемент И; в – элемент НЕ

Рисунок 11.1 – Условное графическое обозначение логических элементов

К базовым логическим элементам относятся элементы Пирса и Шеффера (рисунок 11.2). На основе этих простых операций могут строиться и более

сложные. Для описания логических операций используется алгебра логики. Алгебра логики широко применяется в теории цифровой техники, в которой используются устройства, имеющие два устойчивых состояния равновесия. При этом одно из состояний, соответствующие, например, высокому уровню напряжения, обозначается *единицей*, а соответствующее низкому уровню напряжения – *нулем*.



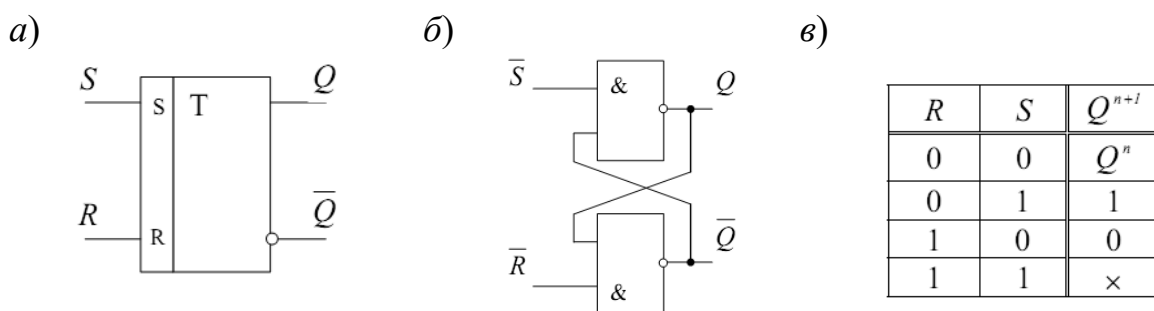
а – элемент ИЛИ-НЕ; б – элемент И-НЕ

Рисунок 11.2 – Условное графическое обозначение логических элементов

Триггер – это устройство последовательностного типа с двумя устойчивыми состояниями равновесия, предназначенное для записи и хранения информации. Под действием входных сигналов триггер может переключаться из одного устойчивого состояния в другое. При этом напряжение на его выходе скачкообразно изменяется с низкого уровня на высокий или наоборот.

Как правило, триггер имеет два выхода: прямой Q и инверсный \bar{Q} . Число входов зависит от структуры и функций, выполняемых триггером. Например, асинхронные RS -триггеры имеют два входа: вход S установки в *единичное* состояние прямого выхода Q и вход R установки в *нулевое* состояние выхода Q . Синхронные триггеры для занесения в них информации, помимо информационных входов S (J) и R (K), имеют синхронизирующий C или счётный T вход, а триггеры задержки – информационный вход D .

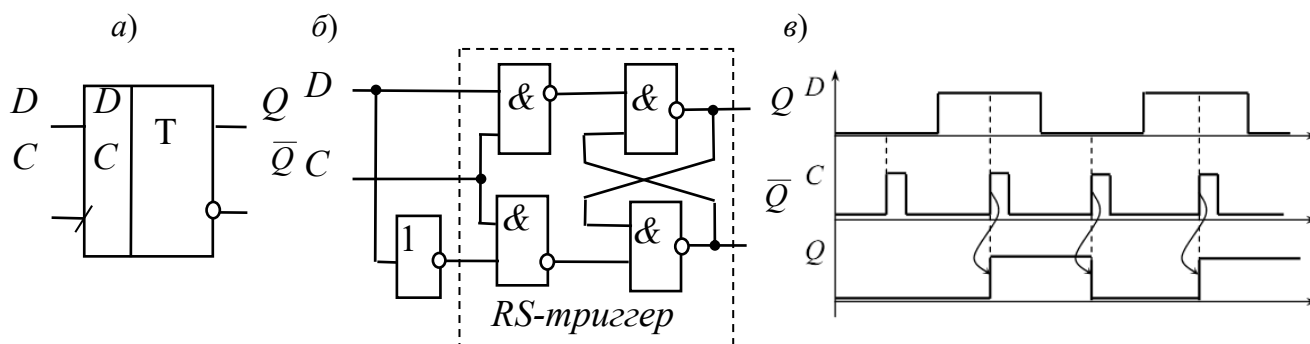
Наибольшее распространение в цифровых устройствах получили триггеры RS (рисунок 11.3), D (рисунок 11.4), T (рисунок 11.5) и JK (рисунок 11.6).



а – условное графическое изображение; б – схема реализации RS -триггера на базовых элементах И-НЕ; в – таблица истинности

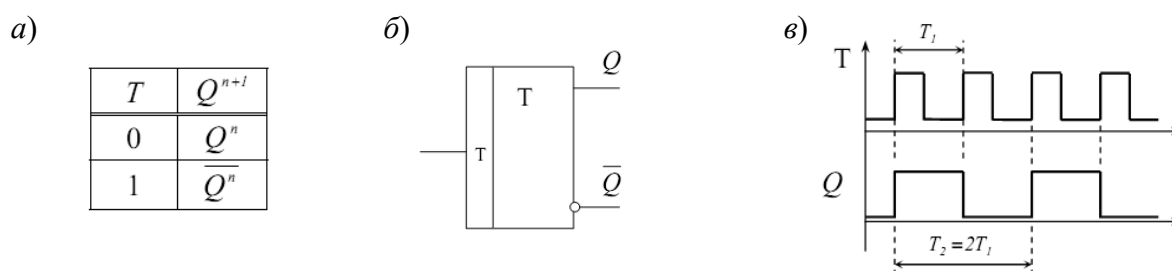
Рисунок 11.3 – Асинхронный RS -триггер

Схемотехнически RS -триггер может быть реализован на элементах 2ИЛИ-НЕ (см. рисунок 11.3, б) и 2И-НЕ с использованием перекрестных положительных обратных связей. В триггере на элементах 2И-НЕ изменение состояния происходит при низких уровнях сигналов S и R .



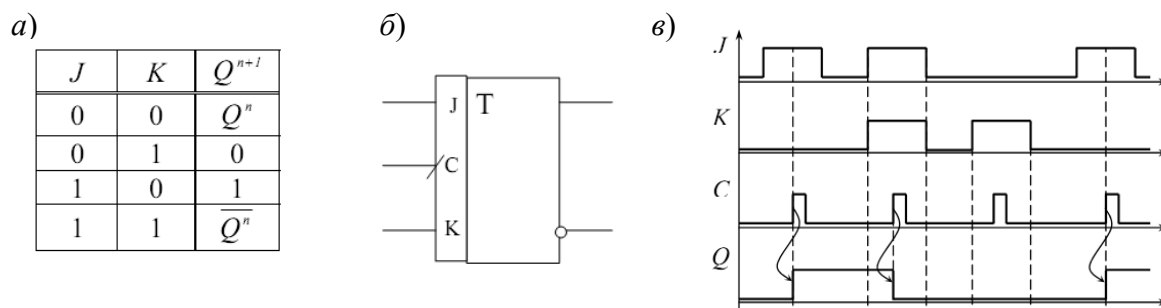
a – условное графическое изображение; *б* – схема реализации *D*-триггера на базовых элементах И-НЕ; *в* – временная диаграмма, иллюстрирующая работу триггера

Рисунок 11.4 – *D*-триггер



a – таблица истинности; *б* – условное графическое изображение; *в* – временная диаграмма, иллюстрирующая работу триггера

Рисунок 11.5 – *T*-триггер



a – таблица истинности; *б* – условное графическое изображение; *в* – временная диаграмма, иллюстрирующая работу триггера

Рисунок 11.6 – *JK*-триггер

Отличительной особенностью *D*-триггера (триггера задержки) является то, что он сохраняет информацию, поступившую на *D*-вход в предыдущем такте работы до прихода синхроимпульса, т. е. его состояние может изменяться с задержкой на один такт. Условное обозначение *D*-триггера с синхронизацией по переднему фронту и диаграммы его работы показаны на рисунке 11.4.

T-триггеры иначе называются счетными и применяются для построения счетчиков и делителей частоты. Такой триггер имеет один тактовый вход и его состояние меняется каждый раз при подаче счетного импульса $T = 1$ и остается

неизменным при $T = 0$. Таблица состояния триггера, его обозначение и диаграммы работы приведены на рисунке 11.5.

JK-триггер имеет два управляющих входа J (jump) и K (keep) и функционирует подобно RS -триггеру, но при этом не имеет запрещенных комбинаций управляющих сигналов. J -вход подобен S -входу, а K -вход подобен R -входу. При всех комбинациях сигналов на входе, кроме $J = K = 1$, он действует подобно RS -триггеру. При $J = K = 1$ в каждом такте происходит «опрокидывание» триггера и его состояние меняется на противоположное (см. рисунок 11.6, а). На рисунке 11.6, б, в показаны условное обозначение JK -триггера с синхронизацией по переднему фронту и его временные диаграммы работы.

11.2 Порядок выполнения работы

11.2.1 В программе Multisim собрать схему для испытания основных и базовых логических элементов (рисунок 11.7) OR (ИЛИ), AND (И), NOT (НЕ), NAND (И-НЕ) и XOR (ИЛИ-НЕ), расположенных в библиотеке Misc Digital/TIL с уровнем высокого напряжения 5 В. В схему включены ключи SB1 и SB2, пробники X1, X2 и Y1...Y5 с пороговыми напряжениями 5 В. Если входной или выходной сигнал элемента равен логической единице, то включенный на выходе этого элемента пробник светится. Результаты моделирования занести в таблицу 11.1.

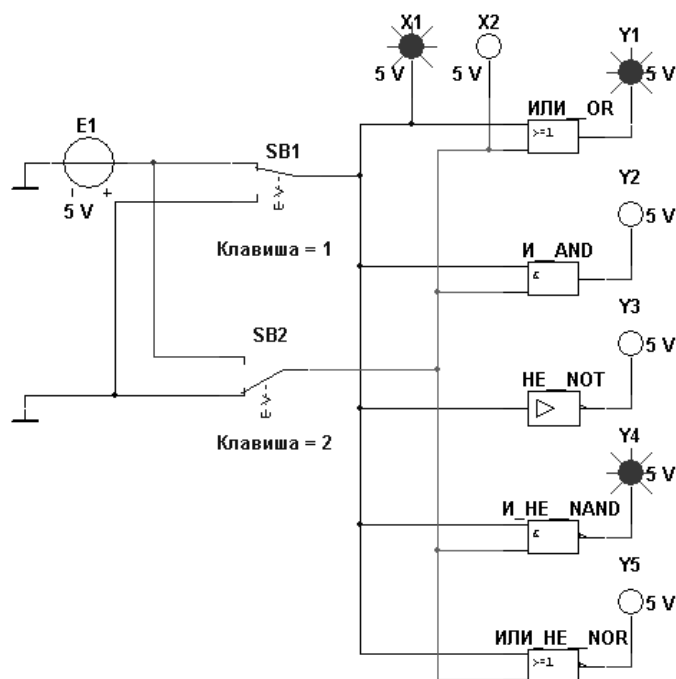


Рисунок 11.7 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

11.2.2 По заданию преподавателя исследовать работу трех логических элементов одной из серий интегральных микросхем (рисунок 11.8), предварительно выписав из справочника их параметры и условное обозначение. Составить таблицу истинности для данных элементов.

11.2.3 В программе Multisim собрать схему исследования RS -триггера на логических элементах И-НЕ заданной преподавателем серии (рисунок 11.9).

Воспользовавшись порядком засвечивания пробников и задавая ко-

ды (00, 01, 10) состояния ключей SB1 и SB2 (входных сигналов), составить таблицу истинности RS -триггера.

Таблица 11.1 – Результаты моделирования

Дизъюнктор [ИЛИ (OR)]			Конъюнктор [И (AND)]			Инвертор [НЕ (NOT)]		Штрих Шеффера [И-НЕ (NAND)]			Стрелка Пирса [ИЛИ-НЕ (NOR)]		
x_1	x_2	y	x_1	x_2	y	x	y	x_1	x_2	y	x_1	x_2	y
0	0		0	0		0		0	0		0	0	
0	1		0	1				0	1		0	1	
1	0		1	0		1		1	0		1	0	
1	1		1	1				1	1		1	1	

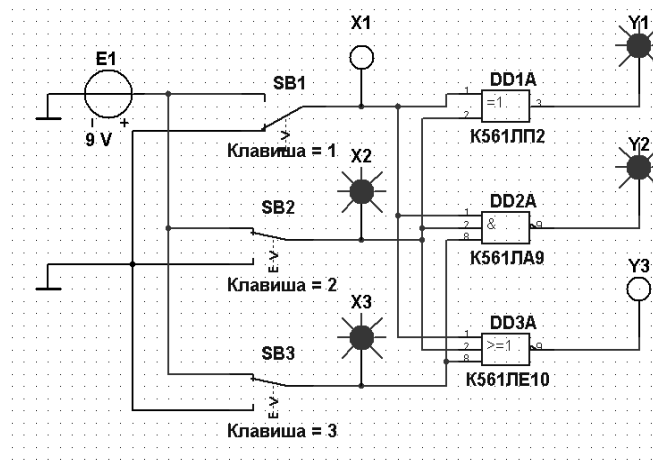


Рисунок 11.8 – Схема для исследования логических элементов серии K561

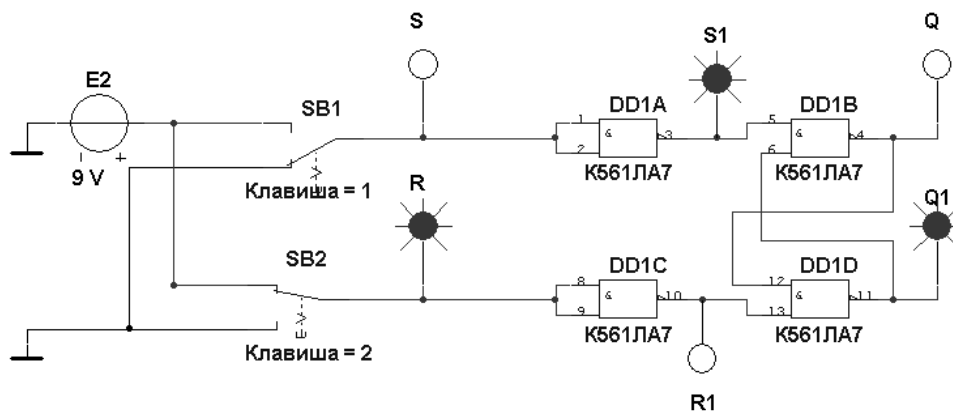


Рисунок 11.9 – Схема RS -триггера на логических элементах серии K561

11.2.4 В программе Multisim собрать схему испытания триггеров JK и D (рисунок 11.10) по заданию преподавателя. В схему включены: генератор XWG1 (частота $f_z = 500$ кГц); логический анализатор XLA1.

На $\overline{1CLR}$ - и $\overline{1PR}$ -входы триггеров подаётся постоянное напряжение 5 В (имитирующее сигнал 1) источника VCC, а на $1CLK$ -входы триггеров и на вход 1 анализатора XLA1 поступают тактовые импульсы с амплитудой 5 В и частотой 500 кГц, сформированные генератором E1. С выходов 1 и 2 генератора XWG1

сигналы подаются на управляющие входы 1J и 1K JK -триггера, с выхода 3 – на вход 1D D -триггера.

В качестве примера введём в первые шесть ячеек памяти генератора трёх-разрядные кодовые комбинации (рисунок 11.11): 010, 100, 111, 001, 100, 010.

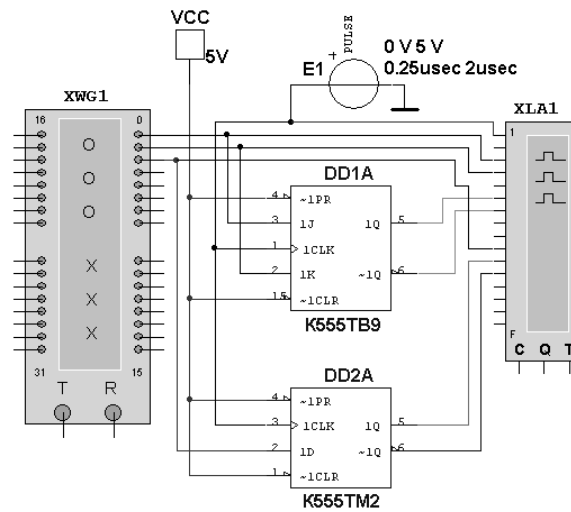


Рисунок 11.10 – Схема для исследования JK - и D -триггеров

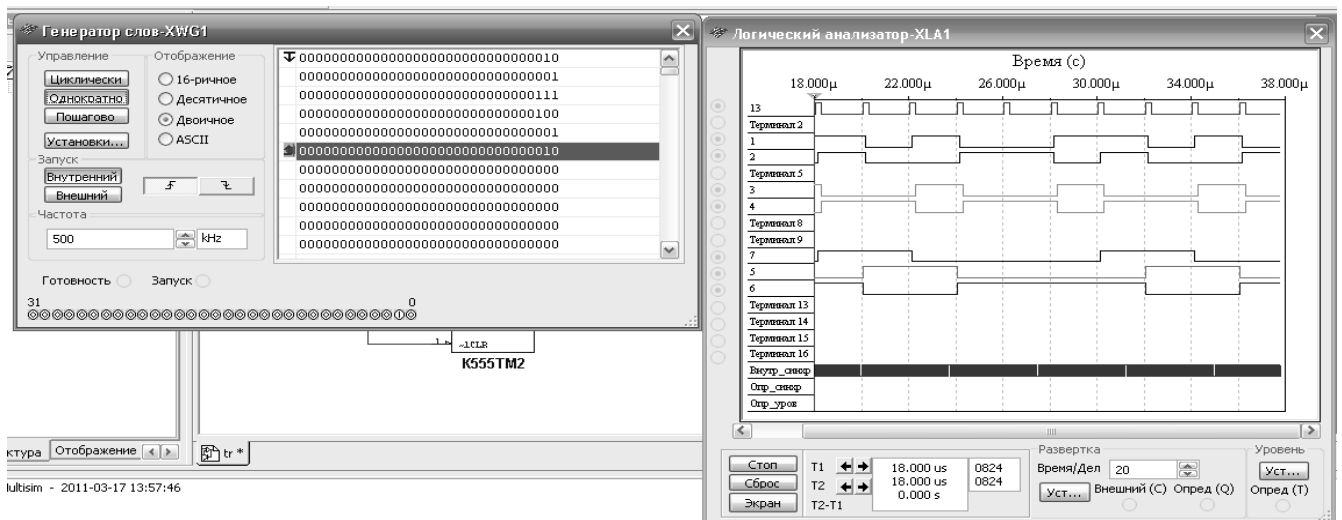


Рисунок 11.11 – Цифровые комбинации и временные диаграммы триггеров

11.2.5 Провести моделирование работы триггеров, по временным диаграммам составить и заполнить для них таблицы истинности.

11.2.6 Сделать выводы по результатам работы.

11.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы логических элементов и триггеров в среде Multisim, выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные логические операции и приведите их таблицы истинности.
- 2 Что такое триггер?
- 3 Чем отличается синхронный триггер от несинхронного?
- 4 Что обозначают понятия логический ноль и логическая единица?

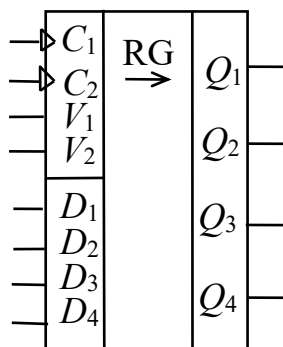
12 Лабораторная работа № 12. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов

Цель работы: изучение принципа функционирования, характеристик регистров, счётчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов.

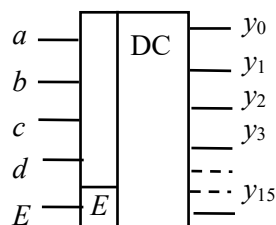
12.1 Основные теоретические сведения

Регистр – это последовательностное устройство, предназначенное для записи, хранения и (или) сдвига информации, которая поступает и хранится в регистре в виде n -разрядных двоичных чисел. В зависимости от способа ввода и вывода разрядов числа различают регистры параллельные, последовательные и параллельно-последовательные. Условное изображение приведено на рисунке 12.1, а.

а)



б)



а – четырехразрядный регистр, б – дешифратор 4×16

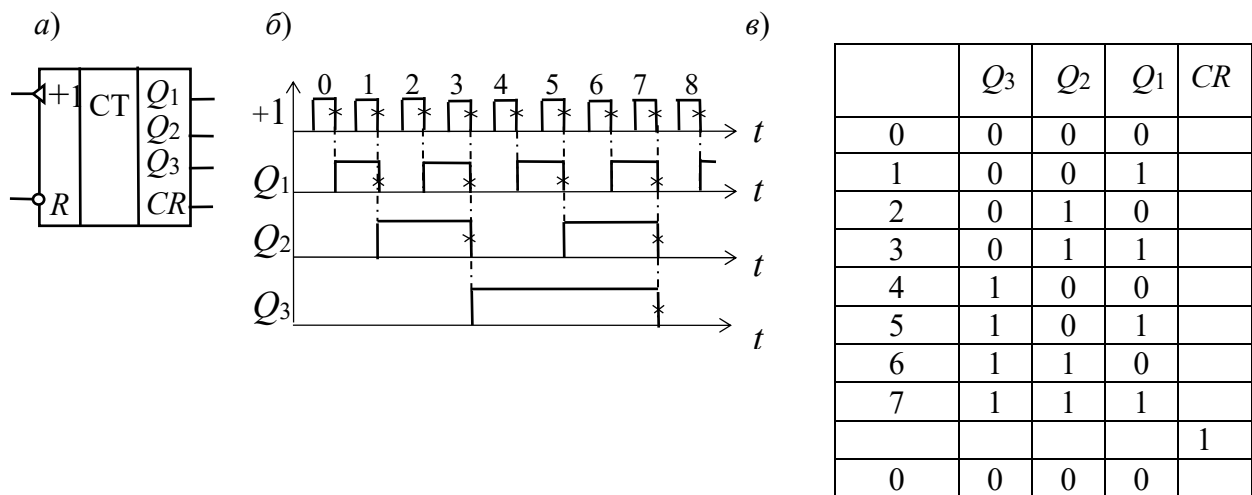
Рисунок 12.1 – Условные изображения

Дешифратор (DC) или *декодер* – комбинационная схема с n входами и $m = 2^n$ выходами ($m > n$), преобразующая двоичный входной n -код (кодированное слово) в унитарный. На одном из m выходов дешифратора появляется логическая 1, а именно на том, номер которого соответствует поданному на вход двоичному коду. На остальных выходах дешифратора выходные сигналы будут равны нулю.

Условное изображение дешифратора 4×16 (читаемого «четыре в шестнадцать») на схемах дано на рисунке 12.1, б. Дешифратор содержит число выходов, равное числу комбинаций входных переменных: от $y_0 = \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$ до $y_{15} = abcd$ при $n = 4$ и $m = 2^n = 16$.

Счётчик предназначен для счёта поступающих на его вход импульсов, в интервале между которыми он должен хранить информацию об их количестве. Поэтому счётчик состоит из запоминающих ячеек – триггеров обычно *D*- или *JK*-типа.

Условное изображение трехразрядного суммирующего счётчика показано на рисунке 12.2, *а*, на котором символом *R* обозначен вход общего сброса, символами Q_1 , Q_2 и Q_3 – выходы счетчика, *CR* – выход переноса единицы. Суммирующий вход счётчика обозначается +1, вычитающий –1. Это счетные входы. У асинхронных счётчиков эти входы помечены специальными символами: \triangleright или \triangleleft , указывающими полярность перепада входного сигнала: 1/0 (задний фронт) или 0/1 (передний фронт), при которой происходит переключение триггеров счётчика.



а – условное обозначение, *б* – временные диаграммы работы; *в* – таблица переключений

Рисунок 12.2 – Трёхразрядный суммирующий счётчик

12.2 Порядок выполнения работы

12.2.1 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем универсального регистра сдвига (рисунок 12.3) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

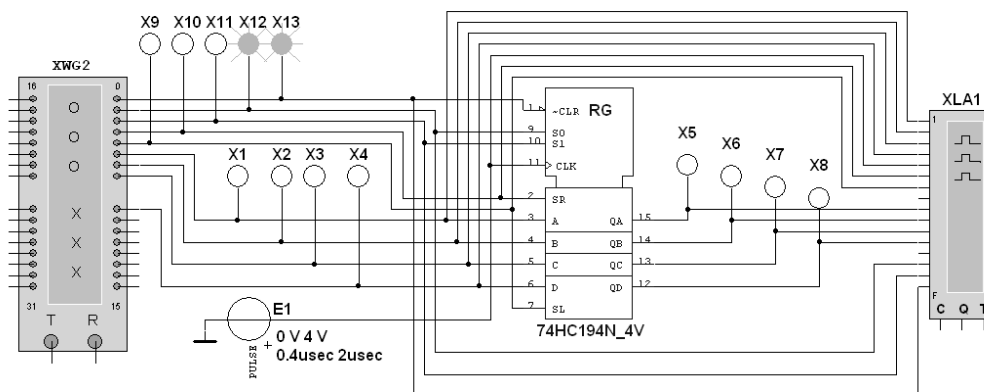


Рисунок 12.3 – Схема для моделирования работы универсального регистра сдвига

Универсальный 4-разрядный регистр сдвига 74HC194N_4V (отечественные аналоги-микросхемы К230ИР2, КМ155ИР1, К176ИР3) способен сдвигать информацию и вправо, и влево, возможна как параллельная, так и последовательная запись данных. Регистр имеет параллельные входы (A, B, C, D), параллельные выходы (QA, QB, QC, QD), последовательные входы (SR, SL), цепь прямой очистки регистра по входу $\overline{\text{CLR}}$ и управляющие входы (S0 и S1) – входы задания режима:

- S0 = 1, S1 = 1 – запись данных в регистр по входам A, B, C, D;
- S0 = 1, S1 = 0 – сдвиг данных влево в направлении от QA к QD;
- S0 = 0, S1 = 1 – сдвиг данных вправо в направлении от QD к QA;
- S0 = 0, S1 = 0 – входы регистра недоступны (блокировка).

12.2.2 Составить план исследования параллельного регистра сдвига, заполнив ячейки памяти генератора слова XWG1 (рисунок 12.4) на основе правил функционирования регистра 74HC194_4V, отражённых в таблице 12.1.

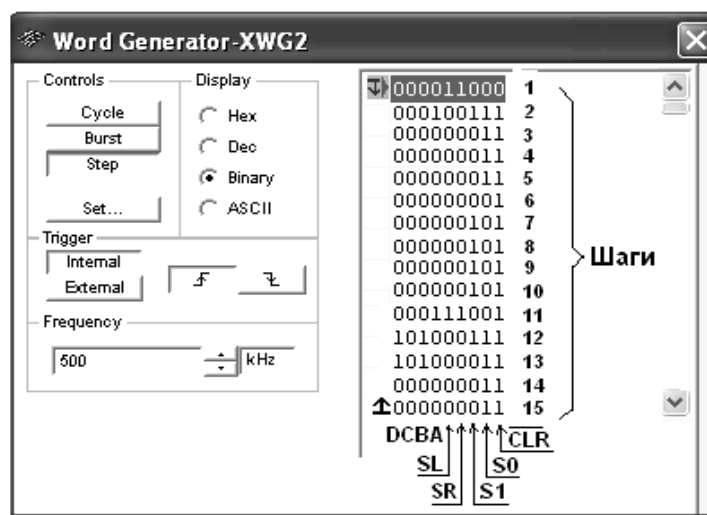


Рисунок 12.4 – Программа функционирования генератора слова XWG1

Снять временные диаграммы работы универсального регистра сдвига (рисунок 12.5), определить режимы его работы.

12.2.3 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем синхронного двоичного счётчика (рисунок 12.6) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

В схему включен синхронный двоичный 4-разрядный счётчик 74HC161, к входу $\overline{\text{CLK}}$ которого подключен источник тактовых импульсов E1, а к выходам QA, QB, QC и QD – шестнадцатеричный 7-сегментный индикатор DCD_HEX и дешифратор DC 4x10. Выходы счётчика и дешифратора соединены с входами логического анализатора XLA1.

К входам A, B, C и D счётчика СТ подключен источник постоянного напряжения VCC, переключатели 1–4 для формирования входных двоичных кодов и ключ Spase для изменения режима работы счётчика. В синхронном счётчике заданные с помощью ключей уровни сигналов подаются на входы всех

триггеров, как и тактовые импульсы, которые подаются на счётные входы $\overline{\text{CLK}}$ всех разрядов счётчика.

Таблица 12.1 – Правила функционирования регистра 74HC194_4V

Вход										Выходы			
Сброс	Старт	Режим		Последний вход		Параллельный вход							
$\overline{\text{CLR}}$	$\overline{\text{CLX}}$	S0	S1	SR	SL	A	B	C	D	QA	QB	QC	QD
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0
1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	QA ₀	QB ₀	QC ₀	QD ₀
1	↑	1	1	x	x	A	B	C	D	A	B	C	D
1	↑	1	0	1	x	x	x	x	x	1	QA _n	QB _n	QC _n
1	↑	1	0	0	x	x	x	x	x	0	QA _n	QB _n	QC _n
1	↑	0	1	x	1	x	x	x	x	QB _n	QC _n	QD _n	1
1	↑	0	1	x	0	x	x	x	x	QB _n	QC _n	QD _n	0
1	x	0	0	x	x	x	x	x	x	QA ₀	QB ₀	QC ₀	QD ₀
Примечание – 0 – низкий уровень; 1 – высокий уровень; x – любое состояние; ↑ – положительный перепад (с низкого уровня на высокий); QA ₀ , QB ₀ , QC ₀ , QD ₀ – стационарные уровни A, B, C, D до установки указанных состояний на входах; QA _n , QB _n , QC _n , QD _n – соответственно уровни A, B, C, D перед началом прохождения фронта самого последнего тактового импульса													

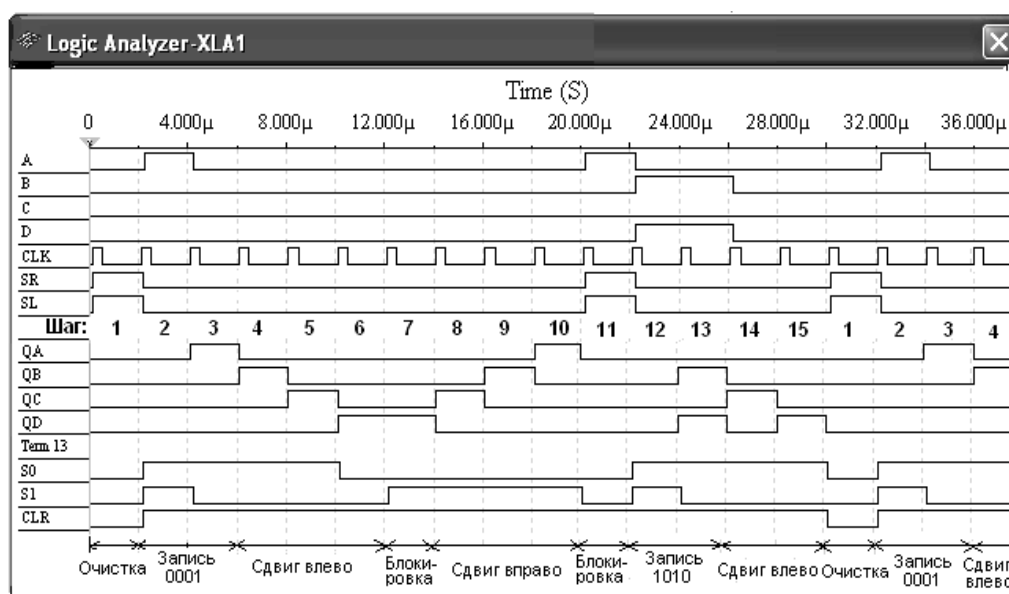


Рисунок 12.5 – Временные диаграммы работы универсального регистра сдвига

При замкнутом ключе Space число поданных от генератора E1 на вход счётчика импульсов высвечивается на индикаторе DCD_HEX в десятичном коде, от 0 до 15, после чего счётчик обнуляется и вновь начинается счёт. При этом на одном из выходов дешифратора DC формируется сигнал низкого уровня (логический 0), номер которого соответствует коду входного числа: от 0000 до 1001 (9₁₀).

При разомкнутом ключе Space сформированное с помощью переключате-

лей на входе счётчика 4-разрядное двоичное число высвечивается на индикаторе в десятичном коде, а на экране анализатора на одном из выходов, соответствующем входному коду счётчика, формируется логический 0.

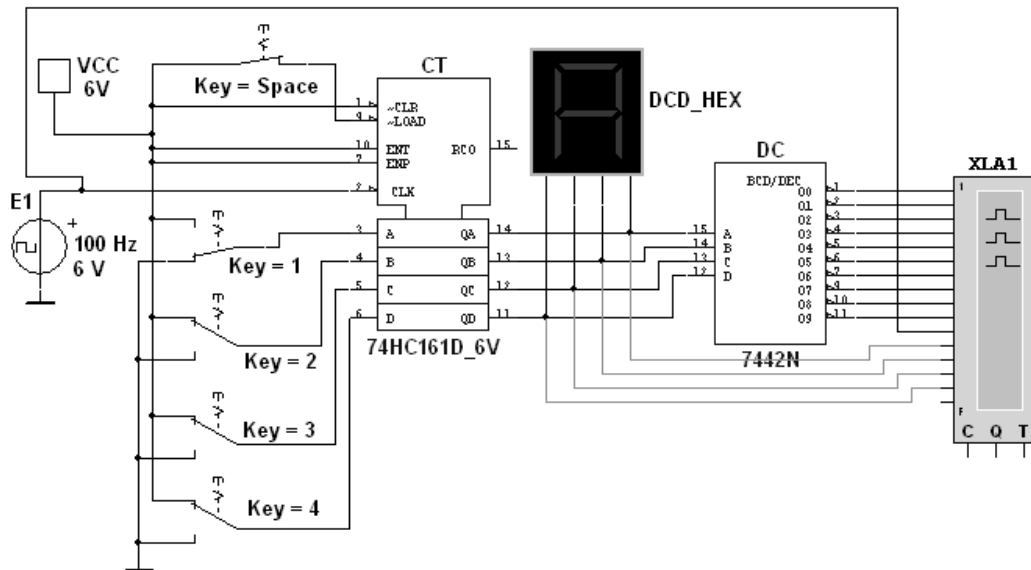


Рисунок 12.6 – Схема для моделирования работы синхронного двоичного счётчика

Промоделировать работу счётчика и дешифратора, сняв временные диаграммы их работы (рисунок 12.7).

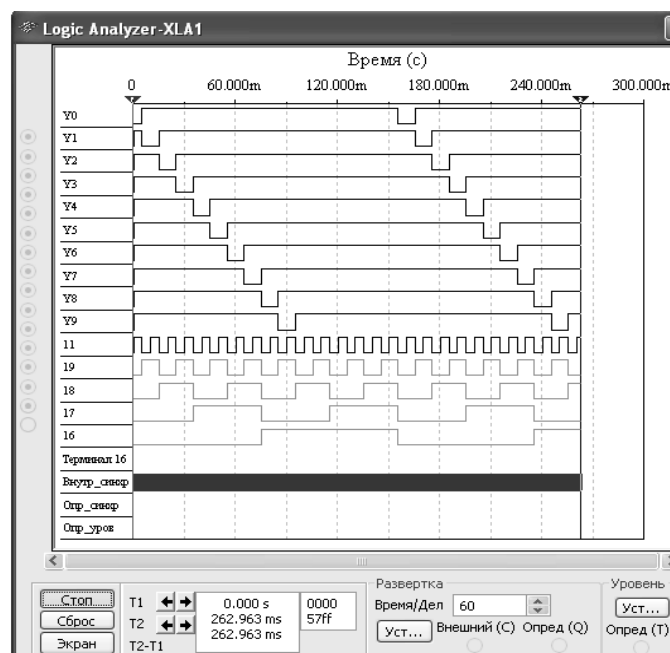


Рисунок 12.7 – Временные диаграммы работы счётчика и дешифратора

Разомкнуть ключ Space. Установить в диалоговом окне анализатора XLA1 напряжение $V = 5\text{ В}$, частоту таймера $f_a = 2\text{ кГц}$, число импульсов, приходящихся на одно деление, $\text{Clocks/div} = 60$ (при таком режиме лучи медленно перемещаются на экране анализатора). С помощью активных клавиш 1–4 клавиатуры сформировать произвольные (или по указанию преподавателя) двоичные вход-

ные числа (коды), например, 1001, 0011, 0000, 1110 и подавать их на входы D, C, B и A счётчика. Зафиксировать показание семисегментного индикатора и дешифратора при данных значениях кода.

12.2.4 Сделать выводы по результатам работы.

12.3 Содержание отчёта

Отчёт по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы регистра, счётчика, дешифратора и семисегментного индикатора в среде Multisim, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Для каких целей используются: счетчики, дешифраторы, индикаторы, регистры сдвига?

2 Почему обработка информации в логических цепях и арифметических устройствах производится в двоичном коде?

3 Для каких целей в микропроцессорной технике и вычислительной технике применяется перевод чисел из одной системы счисления в другую?

Список литературы

1 **Марченко, А. Л.** Электротехника и электроника: учебник / А. Л. Марченко. – Москва: ИНФРА-М, 2015. – 574 с.

2 **Гальперин, М. В.** Электротехника и электроника: учебник / М. В. Гальперин. – 2-е изд. – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2017. – 480 с.

3 **Жаворонков, М. А.** Электротехника и электроника: учебное пособие / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. – Москва: Академия, 2013. – 400 с.

4 **Кузовкин, В. А.** Схемотехническое моделирование электрических устройств в Multisim: учебное пособие / В. А. Кузовкин, В. В. Филатов. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 336 с.