

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальностей 6-05-0714-02 «Технология
машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»
и 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование
и производство материалов и изделий из них»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2025

УДК 621.3
ББК 31.2:32.85
Э45

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «12» декабря 2024 г.,
протокол № 4

Составитель ст. преподаватель И. А. Черкасова

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н. В. Герасименко

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для студентов специальностей 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» и 6-05-0714-03 «Инженерно-техническое проектирование и производство материалов и изделий из них» дневной и заочной форм обучения.

Учебное издание

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Ответственный за выпуск А. В. Хомченко

Корректор И. В. Голубцова

Компьютерная верстка Е. В. Ковалевская

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, 2025

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. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением индуктивности, резистора и конденсатора.....	9
3 Лабораторная работа № 3. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора	14
4 Лабораторная работа № 4. Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.....	19
5 Лабораторная работа № 5. Снятие характеристик полупроводникового диода и стабилитрона.....	26
6 Лабораторная работа № 6. Снятие статических характеристик биполярного транзистора.....	29
7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы логических элементов и триггеров.....	32
8 Лабораторная работа № 8. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов.....	38
Список литературы.....	44

Введение

В учебные планы подготовки инженеров неэлектротехнических специальностей входит ряд общеобразовательных дисциплин, к которым относится и курс «Электротехника и электроника».

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

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).

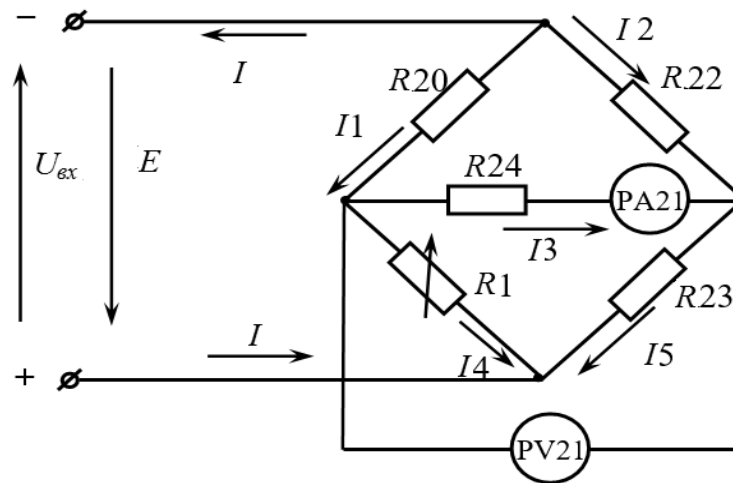


Рисунок 1.1 – Мост постоянного тока

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 $I_3 = 0$.

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

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

Значение выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ моста постоянного тока можно рассчитать, используя метод эквивалентного генератора (рисунок 1.2):

$$U_{ВЫХ} = I_3 \cdot R_{24},$$

где

$$I_3 = \frac{U_{X.X}}{R_{24} + R_{K.3}},$$

здесь $U_{X.X}$ – напряжение холостого хода при разомкнутом резисторе R_{24} (SA13 в положении «3» (рисунок 1.3));

$R_{K.3}$ – сопротивление относительно точек разрыва моста при закороченном источнике входного напряжения.

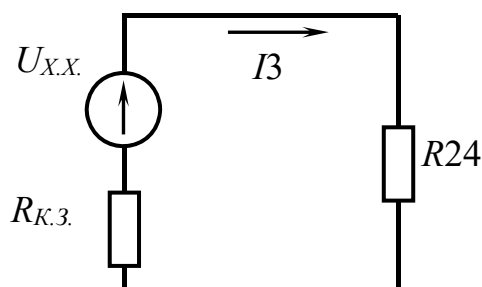


Рисунок 1.2 – Эквивалентная схема электрической цепи для расчета тока I_3

Сопротивление $R_{K.3}$ можно определить экспериментально:

$$R_{K.3} = \frac{U_{X.X}}{I_{K.3}}.$$

1.2 Исследуемые схемы

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

Технические данные измерительного моста указаны на стенде.

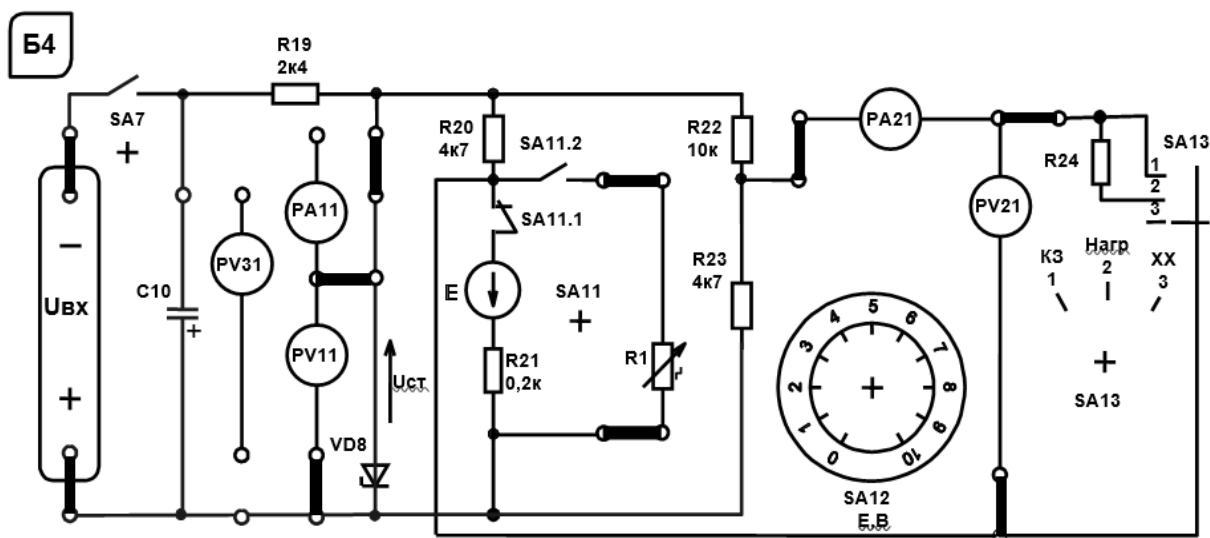


Рисунок 1.3 – Схема для экспериментального исследования электрической цепи постоянного тока с одним источником питания

Для исследования моста постоянного тока в среде Multisim устанавливаются в диалоговых окнах компонентов их параметры (рисунок 1.4). Источник напряжения E считается идеальным ($R_{вт} = 0$). Вольтметр PV21: род тока (mode) – постоянный (DC), внутреннее сопротивление (Resistance) $R_V = 1 \text{ МОм}$. Амперметр PA21: род тока (mode) – постоянный (DC), внутреннее сопротивление (Resistance) $R_A = 1 \text{ нОм}$.

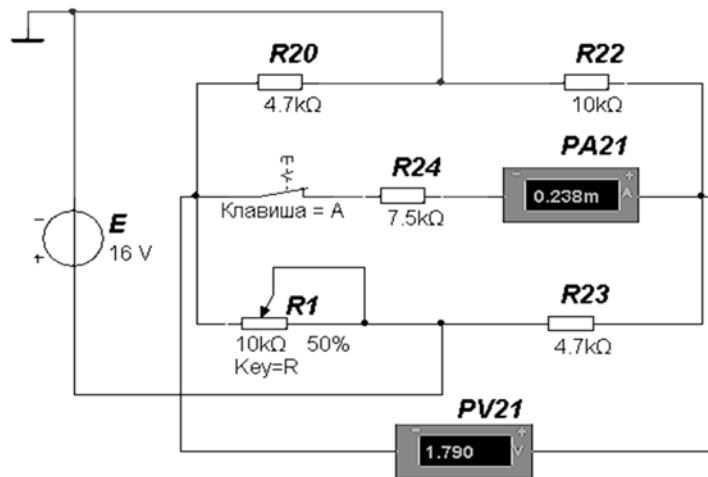


Рисунок 1.4 – Модель моста постоянного тока

1.3 Порядок выполнения лабораторной работы

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

2 Построить зависимости $U_{ВЫХ} = f(R1)$ экспериментально и по результатам моделирования (на одном графике), заполнив таблицу 1.1. Сравнить полученные результаты.

Таблица 1.1 – Результаты измерений выходного напряжения

$R1, \text{кОм}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Эксперимент											
$U_{ВЫХ}, \text{В}$											
Моделирование											
$U_{ВЫХ}, \text{В}$											

3 При максимальном рассогласовании моста (максимальном $U_{ВЫХ}$) с помощью показаний вольтметра и амперметра рассчитать величину сопротивления резистора $R24$.

4 Методом эквивалентного генератора рассчитать величину выходного напряжения моста при значении сопротивления $R1$, заданном преподавателем, и сопоставить с экспериментальными данными и результатом моделирования.

5 Определить $U_{Х.Х}$ в результате моделирования, разомкнув ключ (клавиша «А», см. рисунок 1.4), и сравнить с результатом экспериментального измерения при заданных значениях $R1$ и $U_{ВХ}$.

6 Экспериментально измерить ток I_{K3} и рассчитать сопротивление R_{K3} .

7 Смоделировать схему для расчета R_{K3} (рисунок 1.5), замкнув накоротко источник питания и подключив к выводам мультиметр в режиме измерения сопротивления.

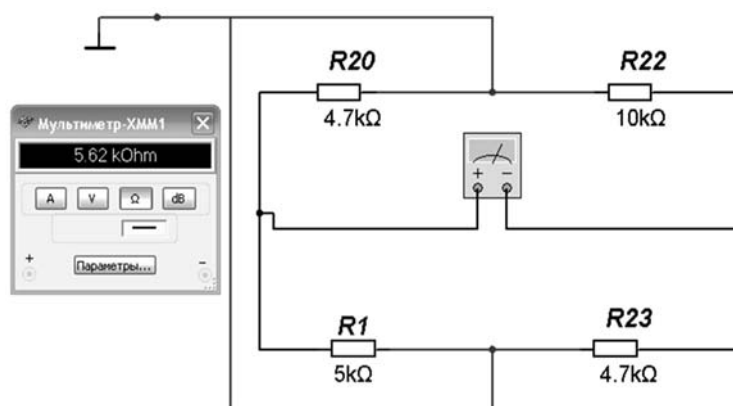


Рисунок 1.5 – Модель для измерения R_{K3}

8 Определить величины тока I_3 . Сравнить результаты расчетов, моделирования и экспериментальные данные. Заполнить таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты применения метода эквивалентного генератора

Задано		Результат					
$R1$, кОм	U_{BX} , В	$R24$, кОм	$U_{X.X}$, В	I_{K3} , А	R_{K3} , кОм	I_3 , А	$U_{ВЫХ}$, В
		Расчет					
		Моделирование					
		Эксперимент					

9 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схему моста постоянного тока, основные расчетные формулы, результаты эксперимента и моделирования (зависимости $U_{ВЫХ} = f(R1)$, см. таблицы 1.1 и 1.2), выводы по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Охарактеризуйте мостовую схему постоянного тока.
- 2 Порядок расчета электрических цепей методом эквивалентного генератора напряжения.
- 3 Опишите моделирование моста постоянного тока в среде Multisim.

2 Лабораторная работа № 2. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора

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

2.1 Основные теоретические сведения

Схема для изучения цепи переменного тока с последовательно соединенными резистивным, индуктивным и емкостным элементами приведена на рисунке 2.1.

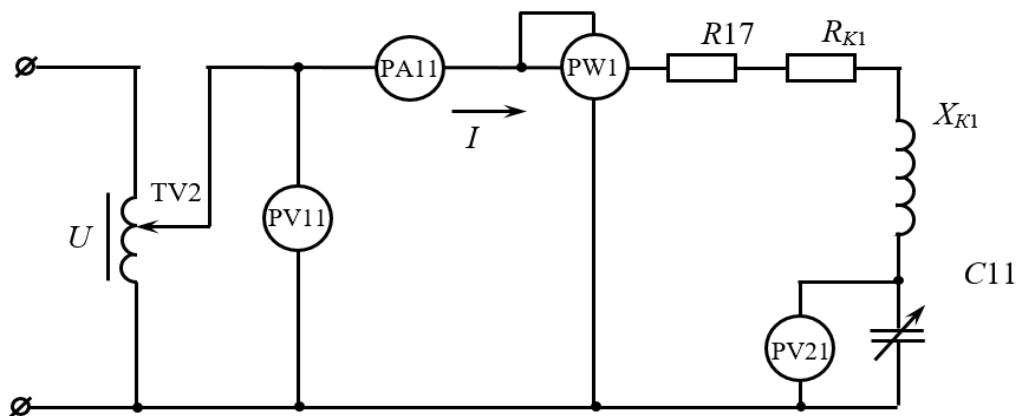


Рисунок 2.1 – Электрическая цепь переменного тока с последовательно соединенными R -, L -, C - элементами

Для определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с магнитопроводом L_{K1} и R_{K1} в номинальном режиме ($I_H = 1,0$ А) снимают показания приборов:

PA11 – ток I_H через катушку;

PW1 – активную мощность P , потребляемую катушкой;

PV11 – напряжение U на катушке.

Зная показания приборов, определяют значения параметров схемы замещения катушки:

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

$$R_{K1} = R_{\Sigma} - R17; \quad Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2},$$

где $R17 = 17$ Ом; $f = 50$ Гц.

Определение величины емкости C_{11} , при которой в цепи наступает резонанс напряжений.

Значение C_{11} определяется исходя из условия возникновения резонанса напряжений

$$X_{K1} = X_{C11},$$

где
$$X_{C11} = \frac{1}{2\pi f C_{11}}.$$

Таким образом,

$$C_{11} = \frac{1}{2\pi f X_{K1}}.$$

При резонансе напряжения сопротивление цепи чисто активное, поэтому ток в цепи

$$I = \frac{U}{R_{K1} + R_{17}}.$$

Коэффициент мощности цепи

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

Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на рисунке 2.2.

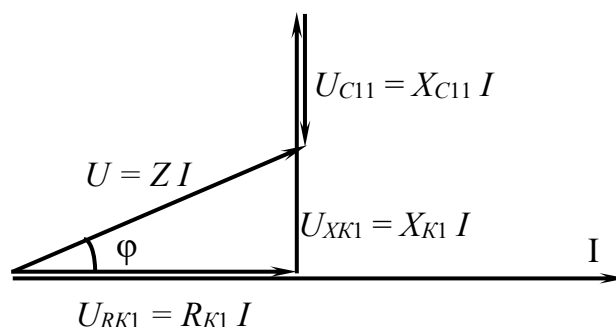


Рисунок 2.2 – Векторная диаграмма

2.2 Исследуемые схемы

Для определения параметров схемы замещения катушки индуктивности собирают схему, приведенную на рисунке 2.3. Номинальный ток ($I_H = 1,0$ А) выставляют с помощью лабораторного автотрансформатора TV2.

Для исследования резонанса напряжения собирают схему, приведенную на рисунке 2.4.

Модель исследуемой схемы в среде Multisim представлена на рисунке 2.5. При ее построении устанавливаются в диалоговых окнах компонентов их

параметры. Для источника переменного напряжения $E1$ устанавливается действующее значение напряжения RMS и частота f . Вольтметры и амперметр в режиме род тока (mode) – переменный (AC). Для измерения мощности используется ваттметр XWM1. Форма напряжения и тока наблюдается с помощью осциллографа XSC1 (рисунок 2.6).

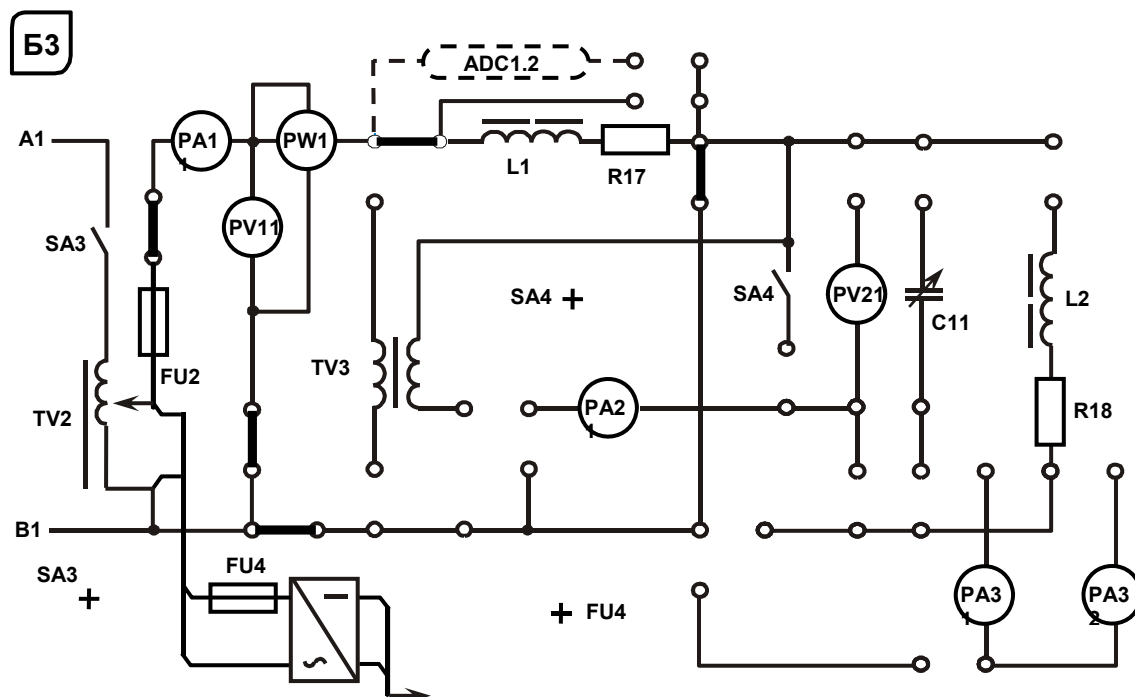


Рисунок 2.3 – Схема для экспериментального исследования параметров схемы замещения катушки индуктивности

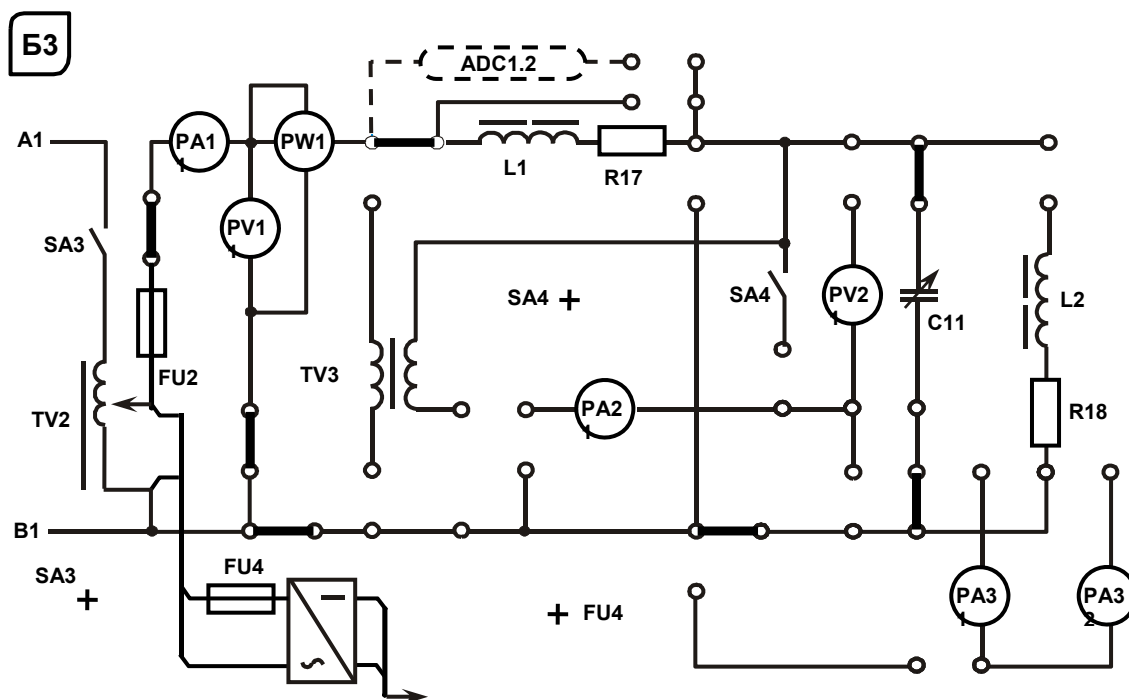


Рисунок 2.4 – Схема для экспериментального исследования резонанса напряжений

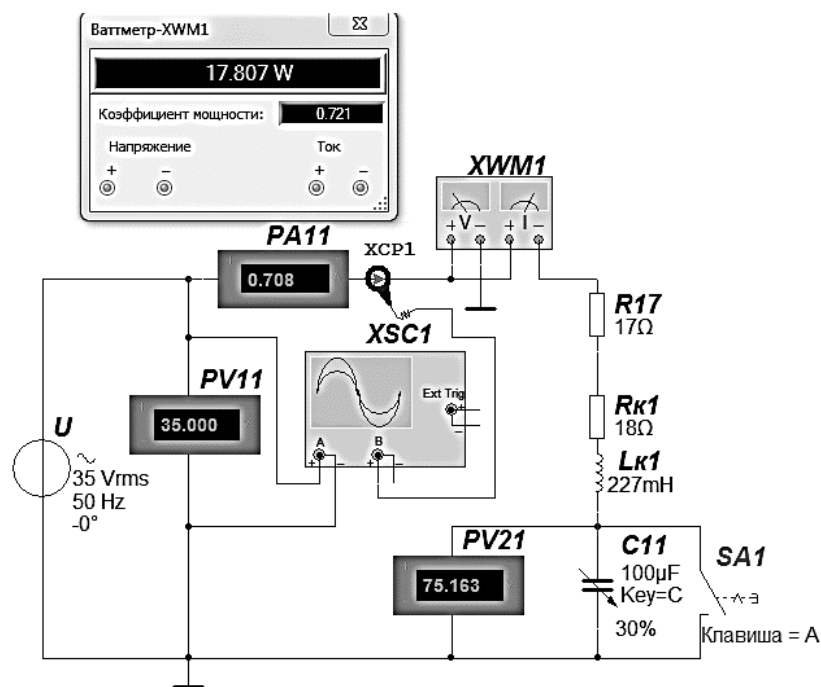


Рисунок 2.5 – Модель исследуемой схемы

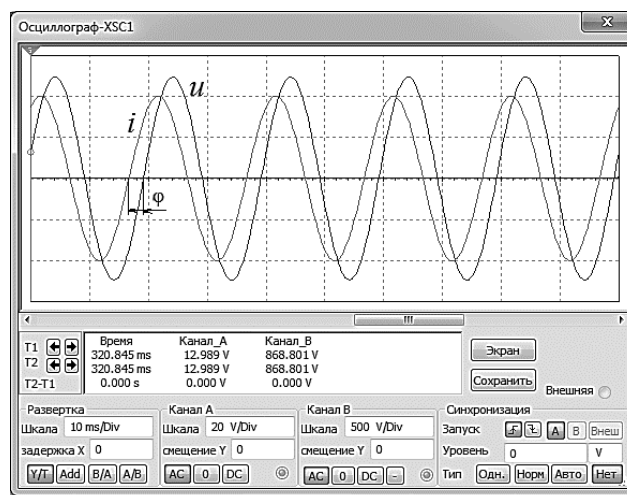


Рисунок 2.6 – Осциллограммы входного напряжения и тока

2.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать на стенде схему (см. рисунок 2.3) для расчета параметров схемы замещения катушки индуктивности L_{K1} и R_{K1} для номинального режима работы ($I_H = 1,0$ A), определить значения этих параметров. Заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Определение параметров схемы замещения катушки индуктивности

Эксперимент			Расчет				
I_H , A	U , В	P , Вт	Z_{Σ} , Ом	R_{Σ} , Ом	X_{K1} , Ом	L_{K1} , Гн	R_{K1} , Ом
1,0							

2 Используя параметры схемы замещения катушки индуктивности, определить величину емкости $C11$ конденсатора, при которой в цепи наступает резонанс напряжений.

3 Снять в результате моделирования и экспериментально зависимости $I=f(C11)$ и $\cos\varphi = f(C11)$ при U , заданном преподавателем. Заполнить таблицу 2.2. Выделить в таблице значения параметров, соответствующие резонансу напряжений.

Таблица 2.2 – Результаты измерений

$C11$, мкФ	Способ исследования	U (PV11), В	I (PA11), А	P (PW1), Вт	$\cos \varphi$
	Моделирование				
	Эксперимент				
	Моделирование				
	Эксперимент				
	Моделирование				
	Эксперимент				
	Моделирование				
	Эксперимент				
	Моделирование				
	Эксперимент				

4 Для одного из режимов работы цепи, заданного преподавателем, построить векторную диаграмму напряжений и тока.

5 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схему исследуемой цепи переменного тока с последовательно соединенными R -, L -, C - элементами, основные расчетные формулы, результаты эксперимента и моделирования (см. таблицы 2.1 и 2.2, зависимости $I=f(C11)$ и $\cos\varphi = f(C11)$), векторную диаграмму напряжений и тока, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1 Определение параметров схемы замещения катушки индуктивности с магнитопроводом.

2 Расчет цепи переменного тока с последовательно соединенными R -, L -, C - элементами при различных режимах работы.

3 Опишите моделирование цепи переменного тока с последовательно соединенными R -, L -, C - элементами в среде Multisim.

3 Лабораторная работа № 3. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора

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

3.1 Основные теоретические сведения

Трансформатор – это статический (неподвижный) электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

На замкнутом сердечнике, собранном из листовой стали, расположены две изолированные обмотки. К одной из них с числом витков W_1 подводится электрическая энергия от источника переменного тока. Эта обмотка носит название первичной. От другой, вторичной, обмотки с числом витков W_2 энергия отводится к нагрузке (рисунок 3.1) [1].

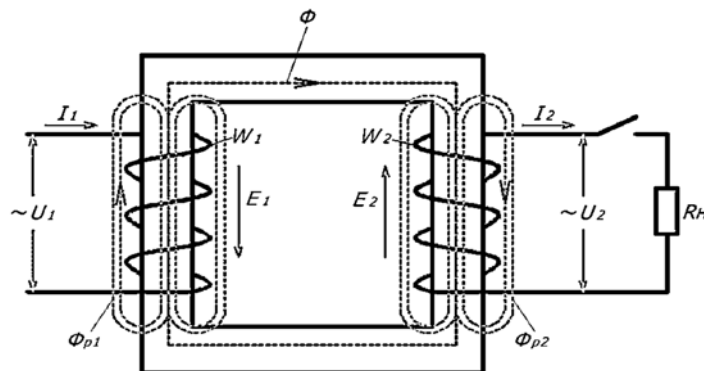


Рисунок 3.1 – Схема трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток i_1 , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток пронизывает обе обмотки, индуцируя в них ЭДС:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

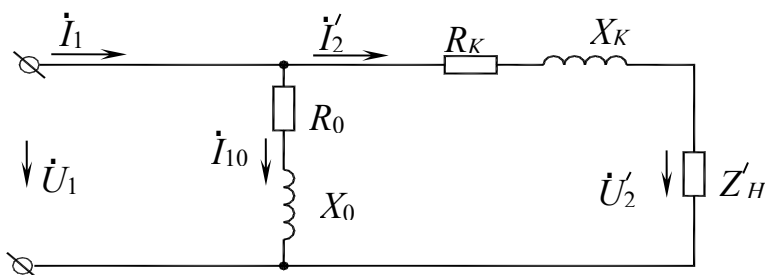
Значения ЭДС e_1 и e_2 могут отличаться друг от друга в зависимости от числа витков в обмотках. Применяя обмотки с различным соотношением витков, можно изготовить трансформатор на любое отношение напряжений.

Отношение ЭДС первичной обмотки трансформатора к ЭДС вторичной его обмотки, равное отношению соответствующих чисел витков обмоток, называют коэффициентом трансформации трансформатора:

$$n = E_1 / E_2 = W_1 / W_2.$$

При подключении ко вторичной обмотке нагрузки Z_H в цепи потечет ток i_2 и на выводах вторичной обмотки установится напряжение u_2 .

Схема замещения трансформатора представлена на рисунке 3.2; схема опыта холостого хода – на рисунке 3.3.



R_0 , X_0 – параметры намагничивающей цепи трансформатора в схеме замещения трансформатора, определяемые из опыта холостого хода трансформатора; R_0 – активное сопротивление намагничивающей цепи, обусловленное потерями мощности в стальном магнитопроводе; X_0 – индуктивное сопротивление намагничивающей цепи, обусловленное основным магнитным потоком; R_K , X_K – параметры схемы замещения, определяемые из опыта короткого замыкания трансформатора

Рисунок 3.2 – Схема замещения однофазного трансформатора

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

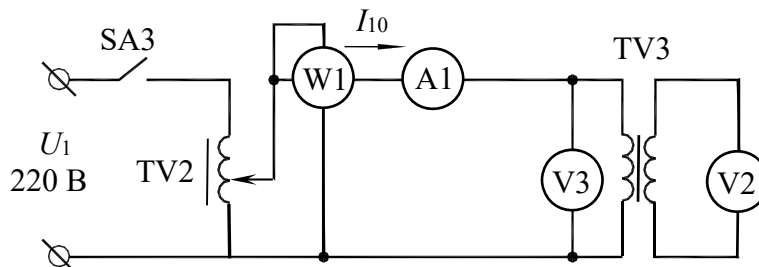


Рисунок 3.3 – Опыт холостого хода трансформатора

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.

Схема опыта короткого замыкания представлена на рисунке 3.4.

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

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

а также активные и реактивные сопротивления первичной и вторичной обмотки трансформатора (R_1, R_2, X_1, X_2):

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_K}{2}; \quad X_1 = X'_2 = \frac{X_K}{2}; \quad R_2 = \frac{R'_2}{n^2}; \quad X_2 = \frac{X'_2}{n^2}.$$

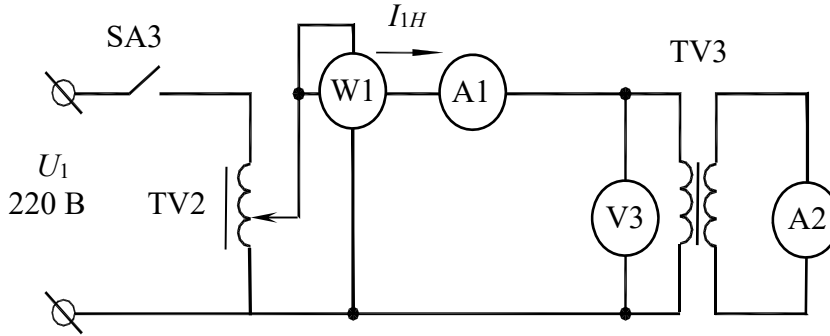


Рисунок 3.4 – Опыт короткого замыкания трансформатора

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

$U_{\kappa.a} \%$ – 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, $U_{\kappa.p} \% = \frac{I_{1H} X_K}{U_{1H}} 100 \%$.

3.2 Исследуемые схемы

Для определения параметров схемы замещения трансформатора $U_2 = f(\beta)$ проводят опыты холостого хода (SA4 выключен) и короткого замыкания (SA4 включен) (рисунок 3.5).

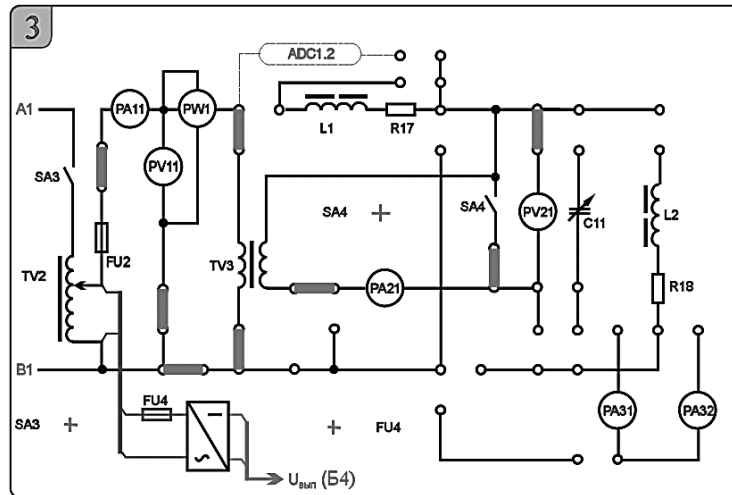


Рисунок 3.5 – Схема исследования трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания

Исследование однофазного трансформатора производится по схеме, представленной на рисунке 3.6.

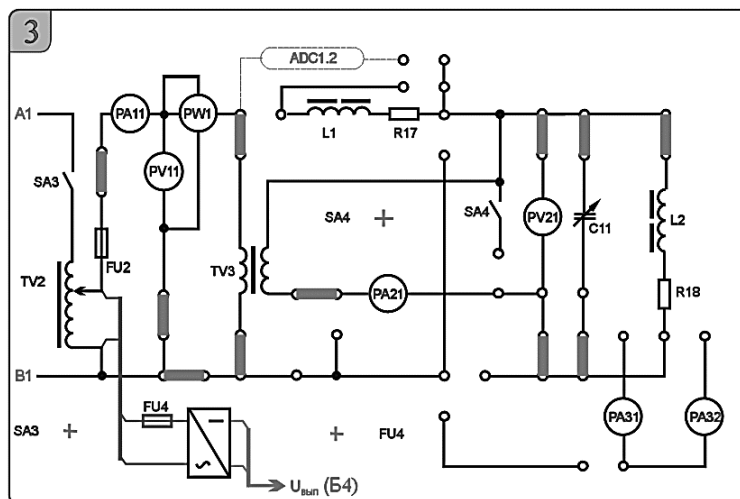


Рисунок 3.6 – Схема исследования однофазного трансформатора

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

Исследуется и строится внешняя характеристика трансформатора при различном характере и величине нагрузки. Характер нагрузки изменяется при различных значениях емкости конденсатора C11.

Изучаются методы повышения коэффициента мощности нагрузки и КПД трансформатора.

3.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Собрать схему, приведенную на рисунке 3.5, для проведения опыта холостого хода.

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

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}) и занести их в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Показания приборов в опыте холостого хода трансформатора

Экспериментальные данные				Расчетное значение					
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									

4 Рассчитать параметры трансформатора в режиме холостого хода и занести их в таблицу 3.1.

5 Собрать схему, приведенную на рисунке 3.5, для проведения опыта короткого замыкания.

6 Снять параметры короткого замыкания, для чего включить тумблеры SA4 и SA3, установив во вторичной обмотке трансформатора TV3 ток 0,8 А (по прибору PA21). Снять показания приборов PA11 (I_{1H}), PV11 (U_{1K}), PW1 (P_K) и занести их в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Показания приборов в опыте короткого замыкания

Экспериментальные данные				Расчетное значение					
U_{1K} , В (PV11)	I_{1H} , А (PA11)	P_K , Вт (PW1)	U_2 , В (PV21)	S , В·А	Z_K , Ом	X_K , Ом	R_K , Ом	$\cos \varphi$	φ , град
	0,8								

7 Рассчитать параметры трансформатора в режиме короткого замыкания и холостого хода и занести их в таблицу 3.2.

8 Измерить вторичное напряжение при нагрузке R_{18} , L_2 (см. рисунок 3.6).

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

10 Осуществить моделирование работы трансформатора в среде Multisim (рисунок 3.7), используя параметры схемы замещения (см. таблицы 3.1 и 3.2). В режиме холостого хода разомкнуть ключ Q и S. В режиме короткого замыкания ключ Q замкнут (напряжение на первичной обмотке изменить на U_K).

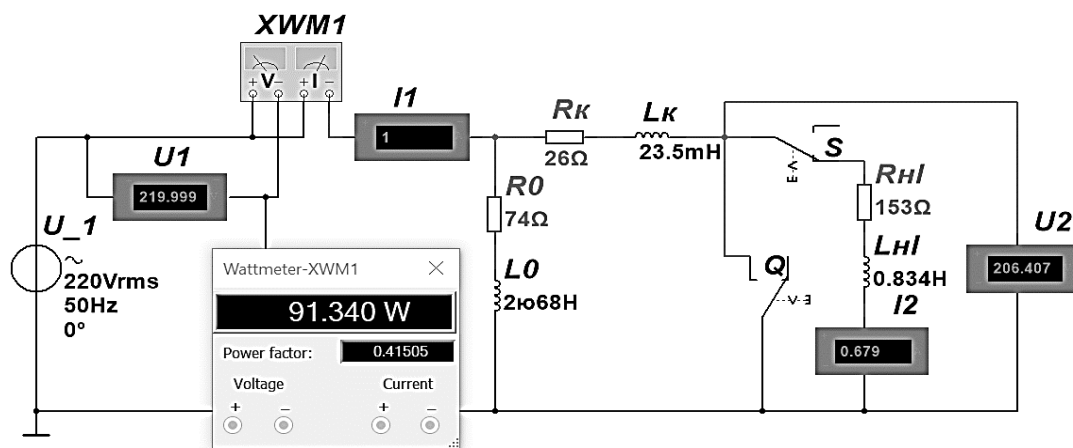


Рисунок 3.7 – Моделирование работы трансформатора в среде Multisim

Сравнить результаты моделирования с расчетными значениями и результатами эксперимента.

11 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схему трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания, основные расчетные формулы, результаты эксперимента и расчета (см. таблицы 3.1 и 3.2), 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.
- 3 Опишите моделирование работы трансформатора в среде Multisim.

4 Лабораторная работа № 4. Исследование асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором

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

4.1 Основные теоретические сведения

Наибольшее применение в промышленности получили трехфазные асинхронные двигатели.

Основными частями АД являются статор и ротор, отдаленные друг от друга воздушным зазором (0,3...0,5 мм). Их сердечники собраны из листов электротехнической стали. На внутренней части поверхности статора и на внешней

ротора выштампованы пазы, в которые уложены обмотки. Сердечник статора помещен в корпус, на котором закреплены клеммы статорной обмотки, состоящей из трех отдельных катушек, сдвинутых в пространстве на 120° . Сердечник ротора укреплен непосредственно на валу двигателя или на ступице, надетой на вал.

Обмотка ротора чаще всего выполняется короткозамкнутой в виде «беличьего колеса», состоящего из стержней и замыкающих их на торцах колец.

Принцип действия АД основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора (неподвижная часть машины) с токами, индуцируемыми в роторе (подвижная ее часть).

Частота вращающегося магнитного поля статора

$$n_0 = 60f / p,$$

где f – 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: $n_s = n_0 - n$, а ее отношение к частоте n_0 – скольжением S , т. е.

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

Диапазон изменения скольжения в асинхронном двигателе $1 \geq S \geq 0$; при пуске $S = 1$, при холостом ходе $S = 0,001 \dots 0,005$; при номинальной нагрузке $S = 0,03 \dots 0,07$.

Одной из основных характеристик АД является механическая характеристика. 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, $M_K = \lambda \cdot M_H$;

λ – коэффициент перегрузки двигателя, $\lambda = 1,5 \dots 2,5$;

M_K – 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, $S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0}$;

p – число пар полюсов двигателя.

Вращающий момент двигателя также можно определить через параметры схемы замещения:

$$M = \frac{3U_{1\phi}^2 R'_2}{\omega_0 S \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]},$$

где $U_{1\phi}$ – фазное напряжение двигателя;

ω_0 – угловая частота вращения магнитного поля статора двигателя,

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p};$$

R_1 – активное сопротивление обмотки отдельной фазы статора двигателя;

R'_2 – приведенное активное сопротивление отдельной фазы обмотки ротора,

$$R'_2 = n^2 R_2;$$

X_1 – индуктивное сопротивление отдельной фазы обмотки статора;

X'_2 – приведенное индуктивное сопротивление отдельной фазы обмотки ротора, $X'_2 = n^2 X_2$;

n – коэффициент трансформации асинхронного двигателя.

Приведенное значение тока ротора $I'_2 = I_1$ определяют из выражения вида

$$I_1 = I'_2 = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}.$$

Из последних двух выражений следует, что при снижении напряжения $U_{1\phi}$ момент двигателя изменяется пропорционально $U_{1\phi}^2$, а ток – $U_{1\phi}$.

Расчет КПД двигателя производится следующим образом:

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

где P_2 – мощность на валу двигателя,

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

M – текущее значение момента на валу двигателя;

n_2 – текущее значение частоты вращения двигателя;

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

Коэффициент мощности двигателя

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1},$$

где S_1 – полная мощность двигателя, $S_1 = 3 \cdot U_{1\phi} \cdot I_{\phi}$ ($U_{1\phi}$ и I_{ϕ} измеряются приборами PV11 и PA11 при соединении обмоток двигателя звездой).

4.2 Исследуемая схема

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 4.1.

Паспортные данные асинхронного двигателя.

Тип АИР56А4УЗ; $P_H = 0,12$ кВт; $\eta_H = 58$ %; $\cos\varphi = 0,66$; $n_H = 1350$ мин⁻¹; $I_H = 0,44$ А; $U_H = 220$ В; $\lambda = M_K/M_H = 2,2$; $K_i = I_{\Pi}/I_H = 5$; $K_{\Pi} = M_{\Pi}/M_H = 1,2$.

В работе исследуют и строят механическую характеристику $M = f(S)$ и рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos\varphi = f(P_2)$ при включении обмоток статора звездой. Фазное напряжение при этом оказывается в $\sqrt{3}$ раз меньше номинального.

Частоту вращения 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.

4.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Рассчитать по паспортным данным номинальный ток двигателя и номинальный момент.

Номинальный момент двигателя

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

При номинальной частоте вращения и пониженном напряжении питания

$$M'_H = \frac{M_H}{3}; I'_H = \frac{I_H}{\sqrt{3}},$$

где M'_H – момент при снижении напряжения в $\sqrt{3}$ раз;

I'_H – ток в обмотке статора при снижении напряжения в $\sqrt{3}$ раз.

2 Собрать схему, приведенную на рисунке 4.1.

3 Установить тумблер SA17 в положение Y.

4 Резистор R_{43} установить в положение «min».

5 Тумблер SA21 должен находиться в положении «ВКЛ».

6 Включить стенд автоматическими выключателями QF1, QF2, QF3.

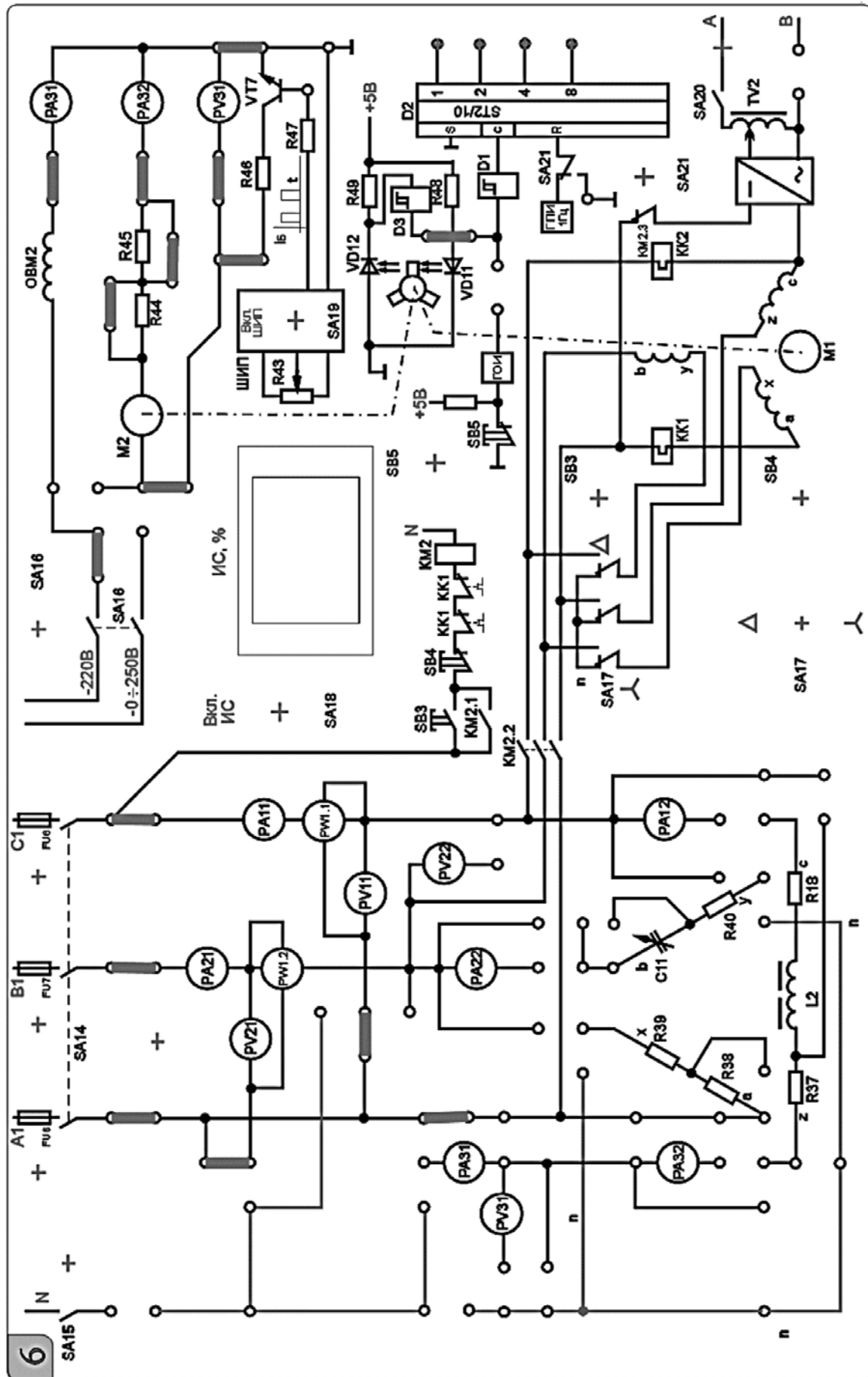


Рисунок 4.1 – Схема исследования трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

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

8 Включить измеритель скорости тумблером SA18.

9 Включить тумблер SA14.

10 Нажать на кнопку SB3 для подключения асинхронного двигателя к сети через пускатель КМ2.

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

12 Включить ШИП при помощи тумблера SA19.

13 Установить номинальный ток для пониженного напряжения I'_H (контролировать по прибору PA11), увеличивая нагрузку резистором R_{43} , плавно поворачивая его в сторону «max».

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

15 Вернуть рукоятку резистора R_{43} в начальное положение «min».

16 Считая M_0 независимым от частоты вращения и изменяя I_A (PA32), с помощью R_{43} 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 4.1.

Таблица 4.1 – 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
1					
2					
3					
4					
5					

17 Считая, что к валу АД была приложена номинальная нагрузка для номинального режима, определить M_0 по экспериментальным данным п. 16:

$$M_0 = M'_H - M_\Gamma = M'_H - C_M \Phi \cdot I_{ЯГ},$$

где M_0 – статический момент нагрузки холостого хода;

M_Γ – момент генератора постоянного тока;

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

$C_M \Phi$ – магнитная постоянная нагрузочного генератора,

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

18 Рассчитать для каждой нагрузки момент на валу M , КПД, скольжение S , полную мощность двигателя S_1 , мощность на валу P_2 и $\cos\varphi$. Данные расчетов занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчета

Номер опыта	S	M , Н·м	P_2 , Вт	η , %	S_1 , В·А	$\cos\varphi$
1						
2						
3						
4						
5						

19 По результатам измерений и расчетов построить:

- механическую характеристику $M = f(S)$;
- рабочие характеристики $\eta = f(P_2)$ и $\cos\varphi = f(P_2)$.

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

21 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, основные расчетные формулы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, результаты эксперимента и расчета (см. таблицы 4.1 и 4.2), 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 трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2 Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

3 Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

5 Лабораторная работа № 5. Снятие характеристик полупроводникового диода и стабилитрона

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

5.1 Основные теоретические сведения

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

На рисунке 5.1, *а* приведено условное графическое обозначение полупроводникового диода на электрических схемах, на рисунке 5.1, *б* – его структура. Электрод диода, подключенный к области p , называют анодом, а электрод, подключенный к области n , – катодом.

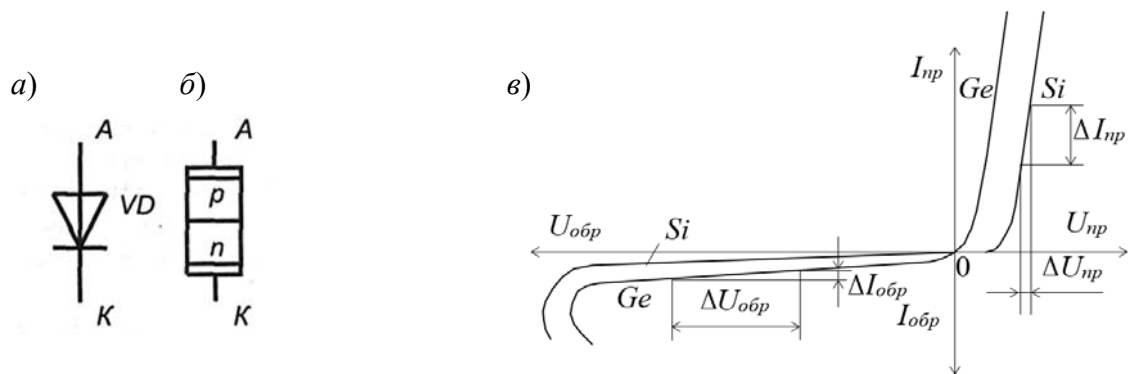


Рисунок 5.1 – Условное обозначение (*а*), структура (*б*) и статическая вольт-амперная характеристика (*в*) полупроводникового диода

Стабилитрон – это сильно легированный кремниевый диод, на котором напряжение сохраняется с определенной точностью при изменении протекающего через него тока в заданном диапазоне. Стабилитроны в основном используют в параметрических стабилизаторах напряжения (рисунок 5.2, *а*), в которых максимальное напряжение на нагрузке U_H ограничено некоторой заданной величиной.

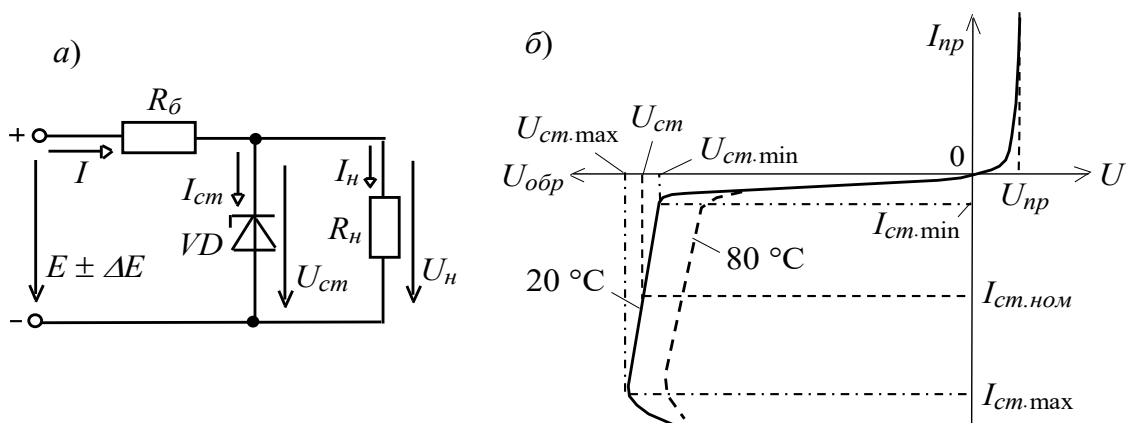


Рисунок 5.2 – Параметрический стабилизатор (*а*) и статическая вольт-амперная характеристика (*б*) стабилитрона

Сопротивление балластного резистора определяют по формуле

$$R_o = \frac{E_{cp} - U_{cm}}{I_{cm.cp} + I_H},$$

где E_{cp} , $I_{cm.cp}$ – средние значения ЭДС входного источника напряжения и тока стабилизации соответственно.

5.2 Порядок выполнения работы

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

2 Для построения вольт-амперной характеристики диода в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 5.3. Осуществить моделирование ее работы, изменяя ЭДС источников питания.

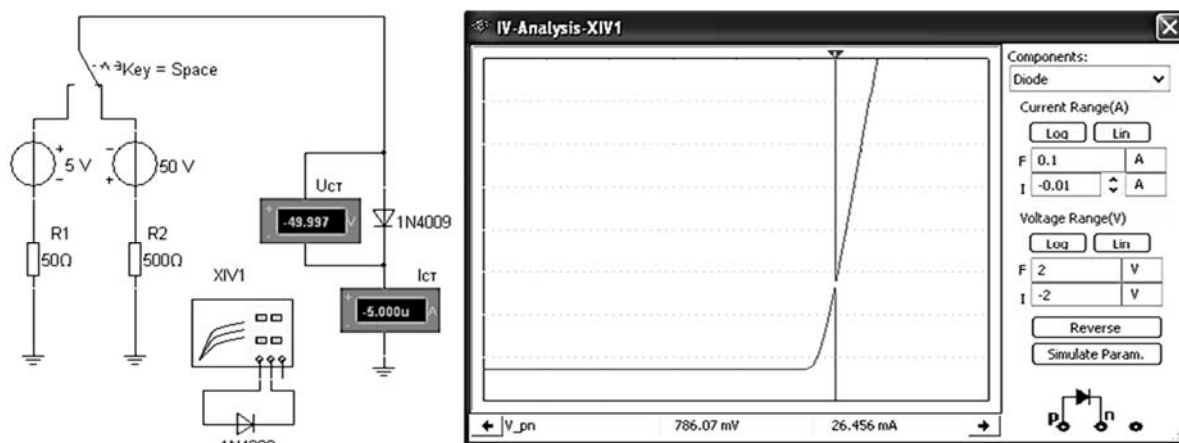


Рисунок 5.3 – Схема для снятия ВАХ в среде Multisim

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.

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 половине от $U_{обр \max}$:

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

– прямое дифференциальное сопротивление диода:

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

Результаты занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты измерений и вычислений

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

4 На основании заданного типа стабилитрона, параметров источника входного напряжения (E_{min} , E_{max}), параметров нагрузки ($U_{\text{н}}$, $R_{\text{н}}$) необходимо рассчитать сопротивление балластного резистора $R_{\text{б}}$ (см. рисунок 5.2). Заполнить таблицы 5.2 и 5.3.

Таблица 5.2 – Параметры стабилитрона

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

Таблица 5.3 – Параметры параметрического стабилизатора

E_{min} , В	E_{max} , В	$E_{\text{ср}}$, В	$R_{\text{н}}$, Ом	$I_{\text{н}}$, мА	$U_{\text{ст}}$, В	$I_{\text{ст}}$, мА	$R_{\text{б}}$, Ом

5 Получить вольт-амперную характеристику стабилитрона (ВАХ) в программе Multisim с помощью характериографа XIV1 (рисунок 5.4). Стабилитрон выбирается из библиотеки элементов согласно заданию.

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

7 На основании выбранных элементов схемы параметрического стабилизатора напряжения осуществить моделирование его работы (см. рисунок 5.3). Входное напряжение формируется функциональным генератором XFG2, напряжения и токи в схеме отображаются с помощью виртуальных вольтметров, амперметров и осциллографа Tektronix-XSC1.

8 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет 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.

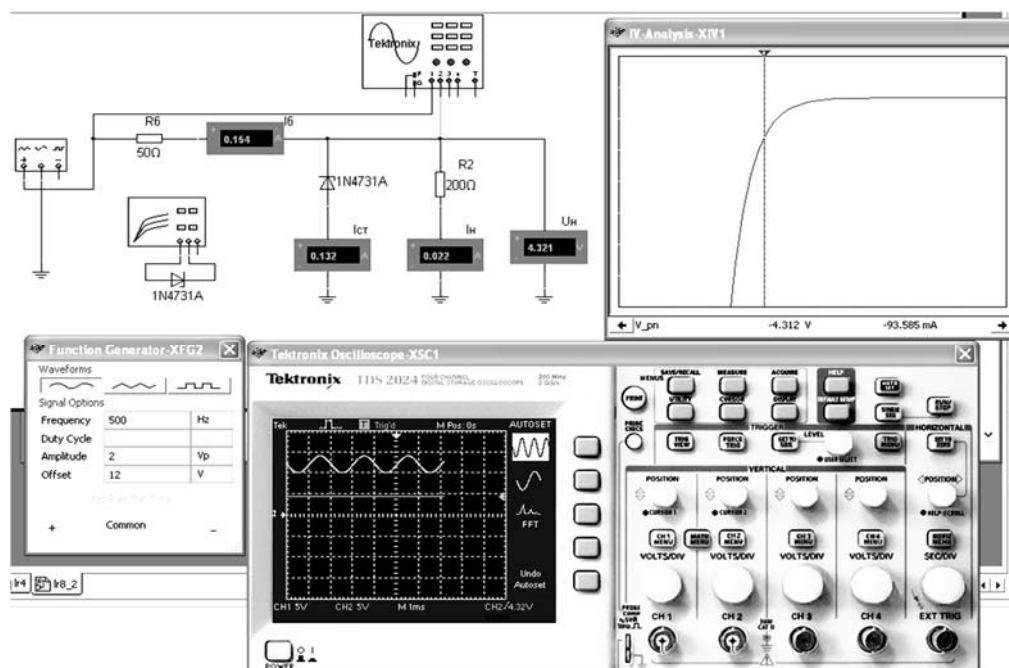


Рисунок 5.4 – Схема для снятия ВАХ стабилитрона и исследования параметрического стабилизатора напряжения в среде Multisim

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?

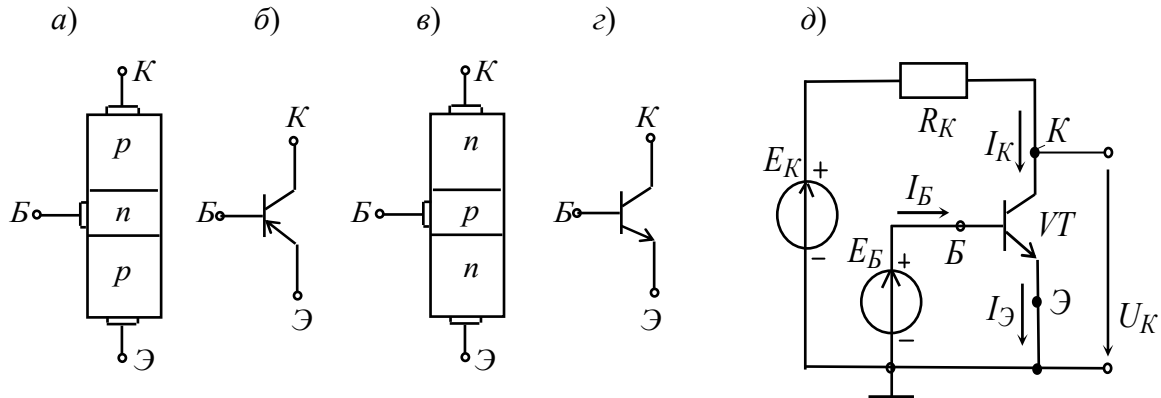
6 Лабораторная работа № 6. Снятие статических характеристик биполярного транзистора

Цель работы: получение входных, выходных характеристик и параметров биполярного транзистора.

6.1 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 6.1, а, в).

Схема включения транзистора с ОЭ (рисунок 6.1, д) является наиболее распространенной вследствие малого тока базы во входной цепи и усиления входного сигнала как по напряжению, так и по току.



Э – эмиттер; К – коллектор; Б – база

Рисунок 6.1 – Структура (а, в), обозначение биполярных транзисторов разных типов (б, г), схема включения с общим эмиттером (д)

В режиме усиления малых сигналов для транзистора в схеме с ОЭ определяют входные и выходные параметры (рисунок 6.2).

$h_{11Э}$ – 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 расчетах 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, $h_{22Э} = 10^{-4} \dots 10^{-6} \text{ См}$,

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

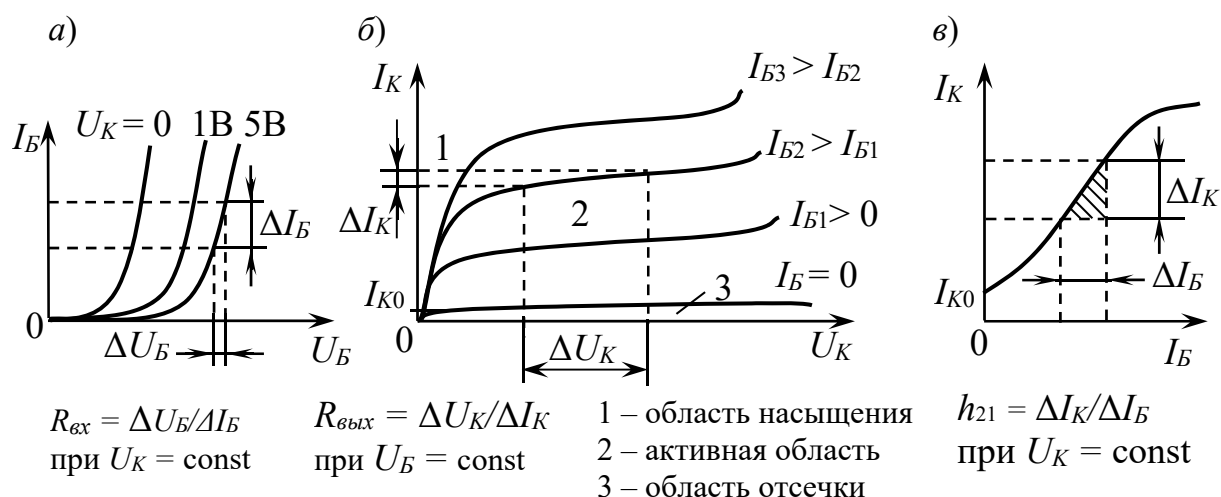


Рисунок 6.2 – Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора при включении в режиме «с общим эмиттером»

6.2 Порядок выполнения работы

1 На основании заданного преподавателем типа биполярного транзистора необходимо рассчитать сопротивление ограничивающих резисторов R_1, R_2 (рисунок 6.3) с учетом обеспечения тока коллектора $I_k < 0,5 I_{k \text{ max}}$. Заполнить таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные

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

2 Для построения вольт-амперных входной и выходной характеристик биполярного транзистора ($n-p-n$) в программе Multisim собрать схему, указанную на рисунке 6.3. 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 V_1 . Выходную ВАХ можно получить с помощью характериографа XIV1.

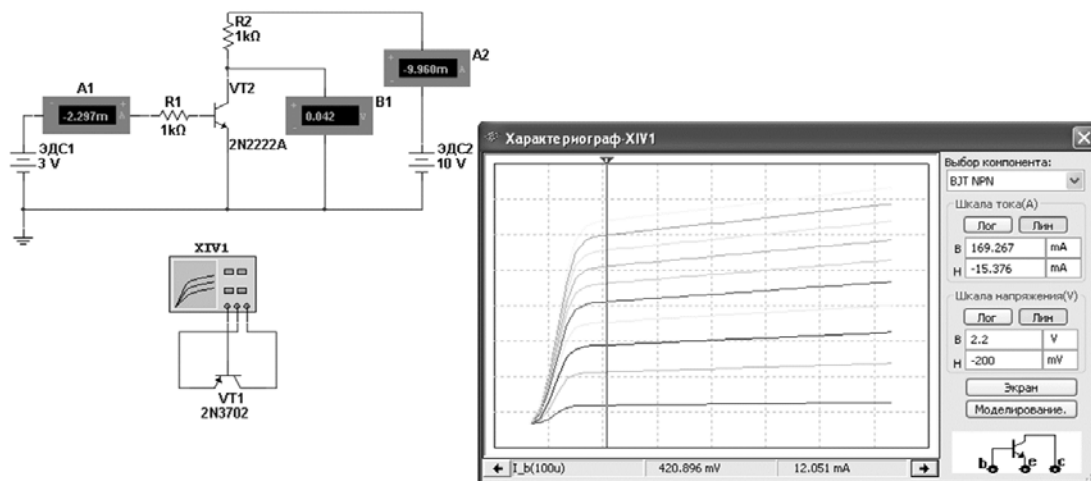


Рисунок 6.3 – Схема для снятия входных и выходных ВАХ биполярного транзистора в среде Multisim

- 3 Воспользовавшись графиками семейств входных и выходных ВАХ, определить h -параметры биполярного транзистора.
- 4 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

- 1 Приведите основные параметры биполярного транзистора.
- 2 Охарактеризуйте h -параметры транзистора и порядок их вычисления.

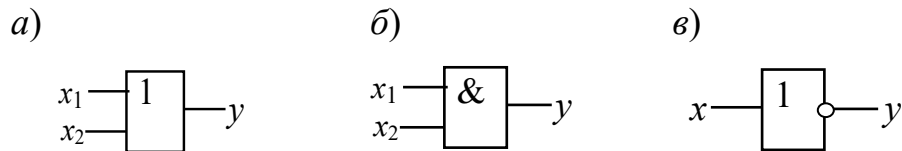
7 Лабораторная работа № 7. Исследование работы логических элементов и триггеров

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

7.1 Основные теоретические сведения

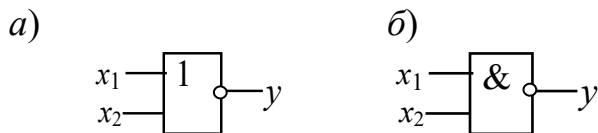
В ЭВМ, импульсных и других цифровых устройствах широко применяются логические элементы. Каждый логический элемент выполняет вполне определенную логическую операцию. Основными логическими операциями являются: логическое отрицание НЕ (инверсия), логическое сложение ИЛИ (дизъюнкция), логическое умножение И (конъюнкция) (рисунок 7.1). К базовым логическим элементам относятся элементы Пирса и Шеффера (рисунок 7.2). 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, соответствующее, например, высокому уровню напряжения, обозначается единицей, а соответствующее низкому уровню напряжения – нулем.



a – элемент ИЛИ; *б* – элемент И; *в* – элемент НЕ

Рисунок 7.1 – Условное графическое обозначение логических элементов



a – элемент ИЛИ-НЕ; *б* – элемент И-НЕ

Рисунок 7.2 – 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.

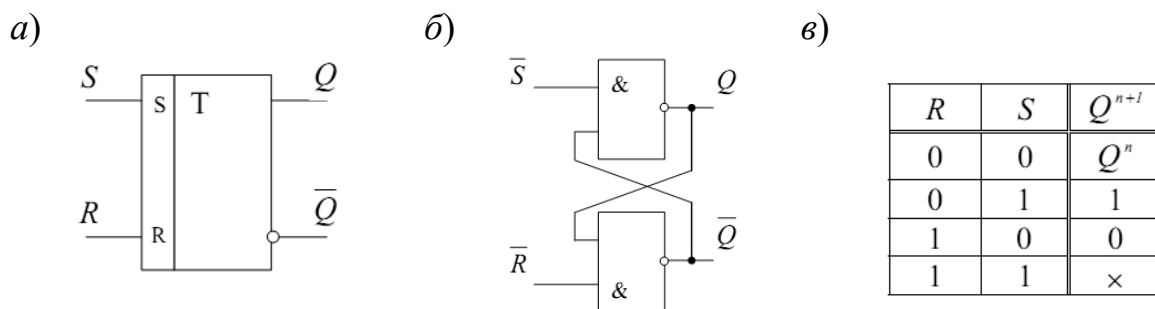
Как правило, триггер имеет два выхода: прямой Q и инверсный $\bar{Q}$. Число входов зависит от структуры и функций, выполняемых триггером. Например, асинхронные RS -триггеры имеют два входа: вход S установки в единичное состояние прямого выхода Q и вход R установки в нулевое состояние выхода Q . Синхронные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

Наибольшее распространение в цифровых устройствах получили триггеры RS (рисунок 7.3), D (рисунок 7.4), T (рисунок 7.5) и JK (рисунок 7.6).

Схемотехнически RS -триггер может быть реализован на элементах 2ИЛИ-НЕ (см. рисунок 7.3, 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 .

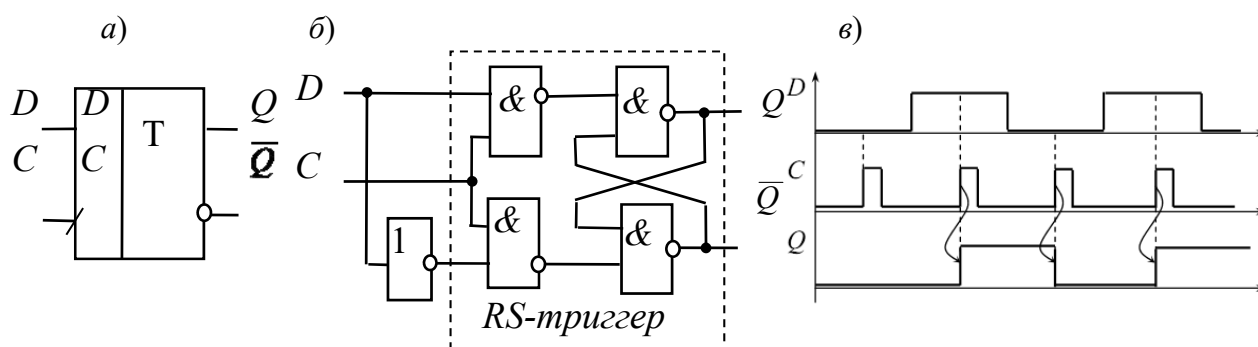
Отличительной особенностью D -триггера (триггера задержки) является то, что он сохраняет информацию, поступившую на D -вход в предыдущем такте работы до прихода синхроимпульса, т. е. его состояние может изменяться с задержкой на

один такт. Условное обозначение D -триггера с синхронизацией по переднему фронту и диаграммы его работы показаны на рисунке 7.4.



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

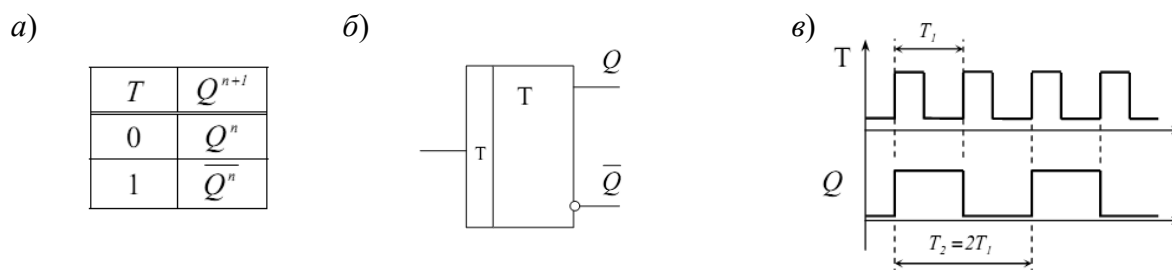
Рисунок 7.3 – Асинхронный RS -триггер



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

Рисунок 7.4 – D -триггер

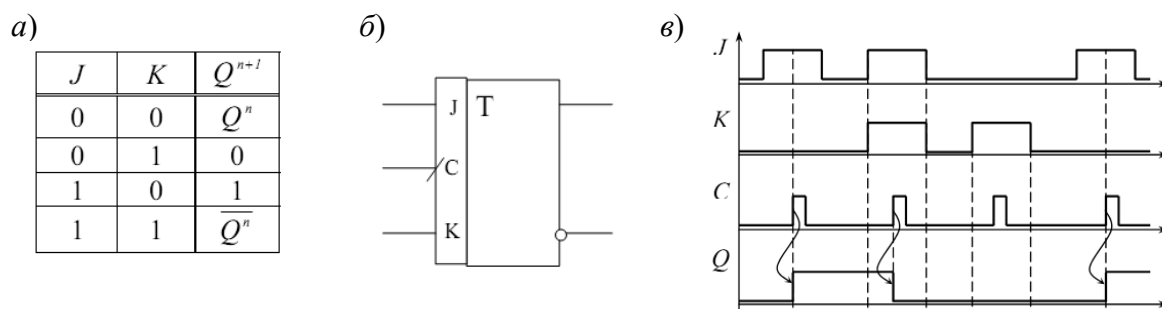
T -триггеры иначе называются счетными и применяются для построения счетчиков и делителей частоты. Такой триггер имеет один тактовый вход и его состояние меняется каждый раз при подаче счетного импульса $T = 1$ и остается неизменным при $T = 0$. Таблица состояния триггера, его обозначение и диаграммы работы приведены на рисунке 7.5.



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

Рисунок 7.5 – T -триггер

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 7.6, а). На рисунке 7.6, б, в показаны условное обозначение JK -триггера с синхронизацией по переднему фронту и его временные диаграммы работы.



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

Рисунок 7.6 – JK -триггер

7.2 Порядок выполнения работы

1 В программе Multisim собрать схему для испытания основных и базовых логических элементов (рисунок 7.7) 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 7.1.

2 По заданию преподавателя исследовать работу трех логических элементов одной из серий интегральных микросхем (рисунок 7.8), предварительно выписав из справочника их параметры и условное обозначение. Составить таблицу истинности для данных элементов.

Таблица 7.1 – 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	

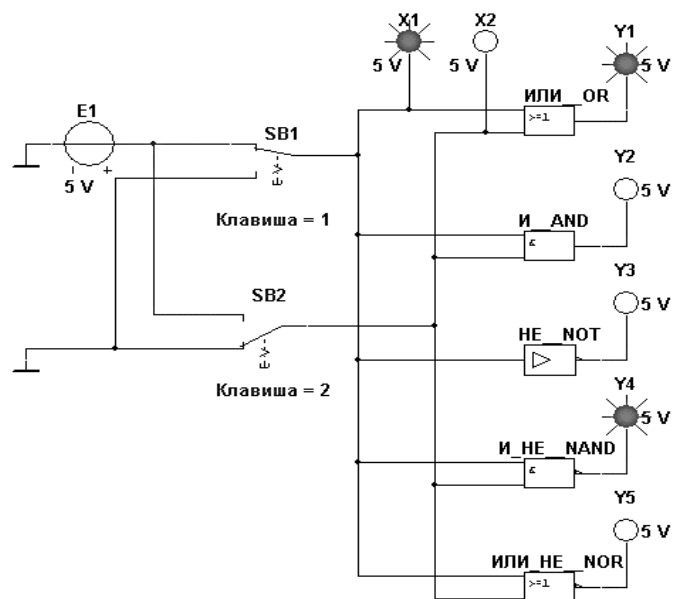


Рисунок 7.7 – Схема для исследования основных и базовых логических элементов

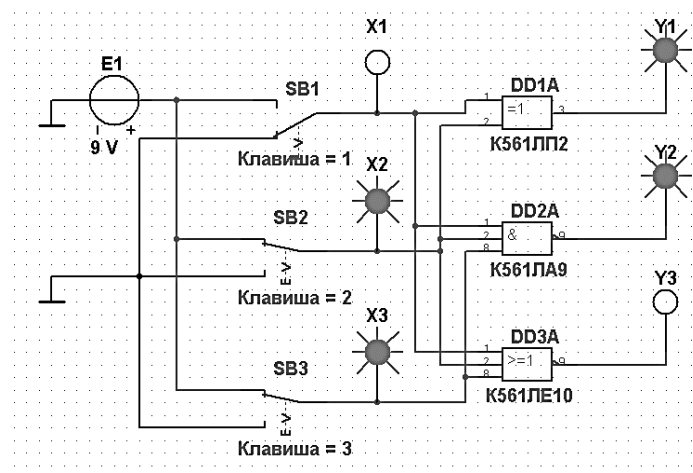


Рисунок 7.8 – Схема для исследования логических элементов серии K561

3 В программе Multisim собрать схему исследования *RS*-триггера на логических элементах И-НЕ заданной преподавателем серии (рисунок 7.9).

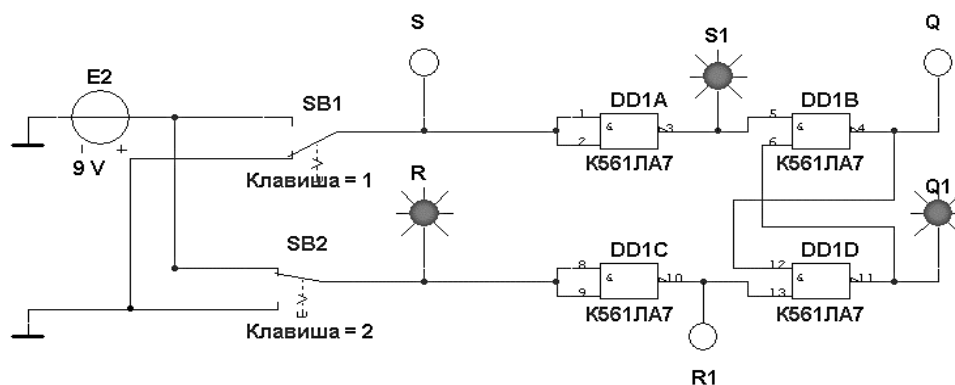


Рисунок 7.9 – Схема *RS*-триггера на логических элементах серии K561

Воспользовавшись порядком засвечивания пробников и задавая коды (00, 01, 10) состояния ключей SB1 и SB2 (входных сигналов), составить таблицу истинности *RS*-триггера.

4 В программе Multisim собрать схему испытания триггеров *JK* и *D* (рисунок 7.10) по заданию преподавателя. В схему включены: генератор XWG1 (частота $f_c = 500$ кГц); логический анализатор XLA1.

На $\overline{1CLR}$ - и $\overline{1PR}$ -входы триггеров подается постоянное напряжение 5 В (имитирующее сигнал 1) источника VCC, а на $\overline{1CLK}$ -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 введем в первые шесть ячеек памяти генератора трехразрядные кодовые комбинации (рисунок 7.11): 010, 100, 111, 001, 100, 010.

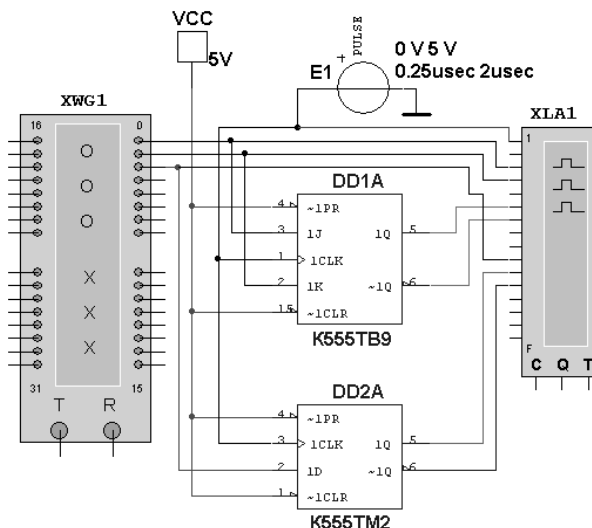


Рисунок 7.10 – Схема для исследования *JK*- и *D*-триггеров

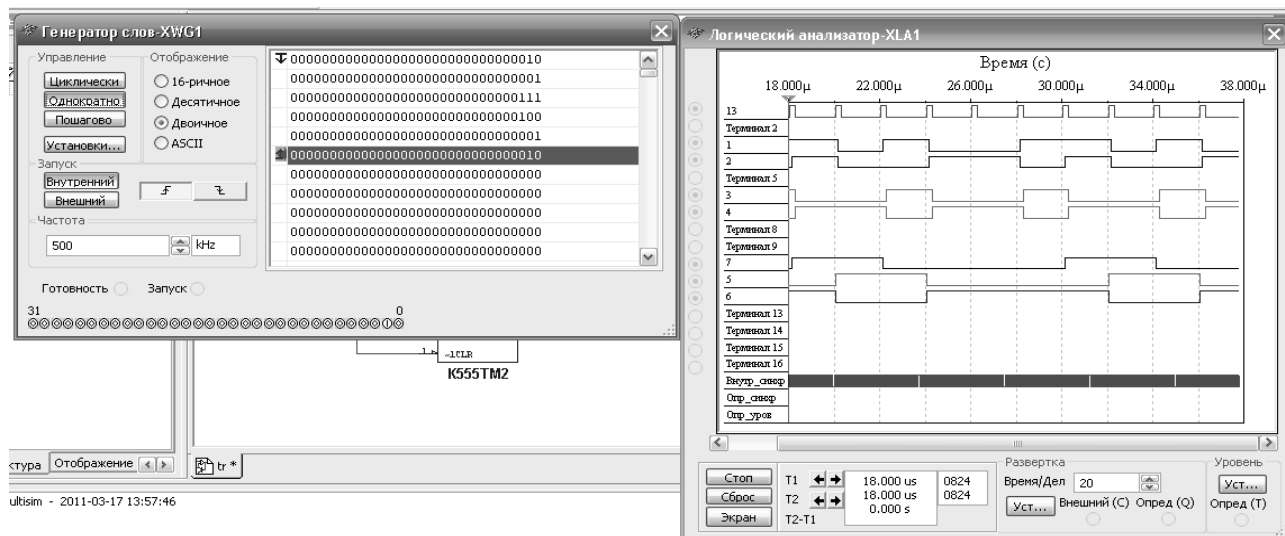


Рисунок 7.11 – Цифровые комбинации и временные диаграммы триггеров

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

6 Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Отчет 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»?

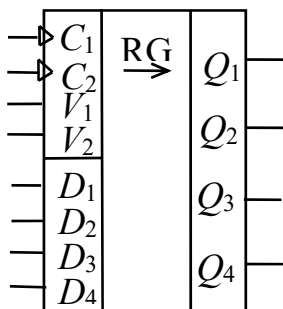
8 Лабораторная работа № 8. Исследование работы регистров, счетчиков, дешифраторов и полупроводниковых индикаторов

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

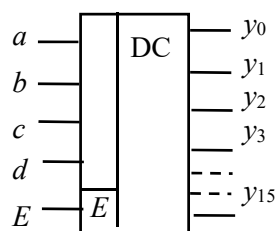
8.1 Основные теоретические сведения

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 8.1, а.

а)



б)



а – четырехразрядный регистр; б – дешифратор 4×16

Рисунок 8.1 – 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.

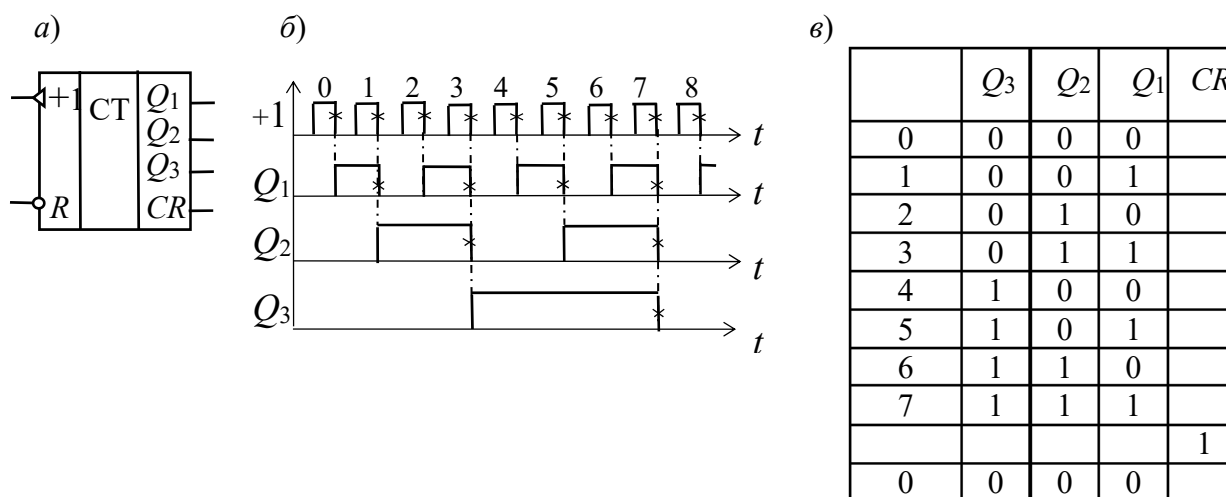
Условное изображение дешифратора 4×16 (читаемого «четыре в шестнадцать») на схемах дано на рисунке 8.1, б. Дешифратор содержит число выходов, равное числу комбинаций входных переменных: от $y_0 = \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$ до $y_{15} = abcd$ при $n = 4$ и $m = 2^n = 16$.

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

Условное изображение трехразрядного суммирующего счетчика показано на рисунке 8.2, 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 счетчика обозначается +1, вычитающий –1. Это счетные входы. У асинхронных счетчиков 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 счетчика.

8.2 Порядок выполнения работы

1 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем универсального регистра сдвига (рисунок 8.3) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.



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

Рисунок 8.2 – Трехразрядный суммирующий счетчик

Универсальный четырехразрядный 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).

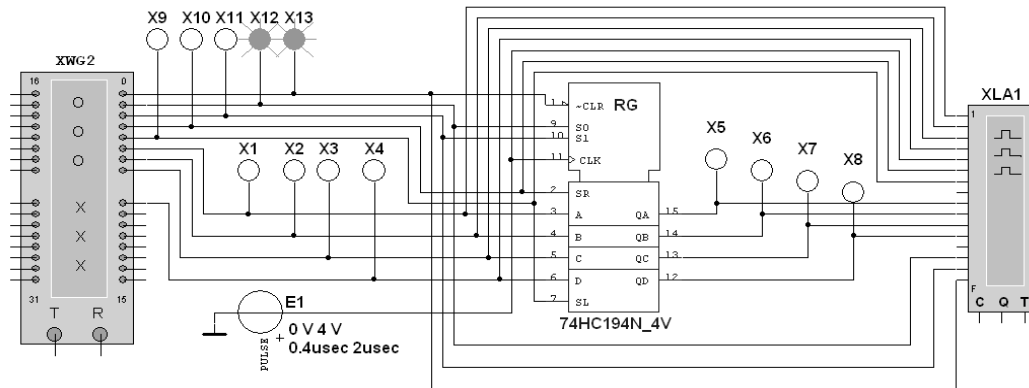


Рисунок 8.3 – Схема для моделирования работы универсального регистра сдвига

2 Составить план исследования параллельного регистра сдвига, заполнив ячейки памяти генератора слова XWG1 (рисунок 8.4) на основе правил функционирования регистра 74HC194_4V, отраженных в таблице 8.1.

Снять временные диаграммы работы универсального регистра сдвига (рисунок 8.5), определить режимы его работы.

Таблица 8.1 – Правила функционирования регистра 74HC194_4V

Вход										Выход			
Сброс	Старт	Режим		Последовательный 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); QA₀, QB₀, QC₀, QD₀ – 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

3 В программе Multisim собрать схему для испытания заданного преподавателем синхронного двоичного счетчика (рисунок 8.6) и установить в диалоговых окнах компонентов их параметры или режимы работы.

В схему включен синхронный двоичный четырехразрядный счетчик 74НС161, 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 4×10. Выходы счетчика и дешифратора соединены с входами логического анализатора XLA1.

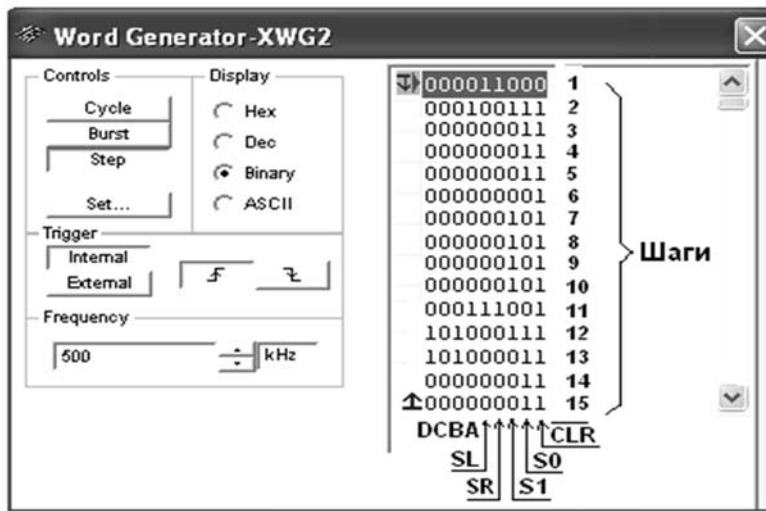


Рисунок 8.4 – Программа функционирования генератора слова XWG1

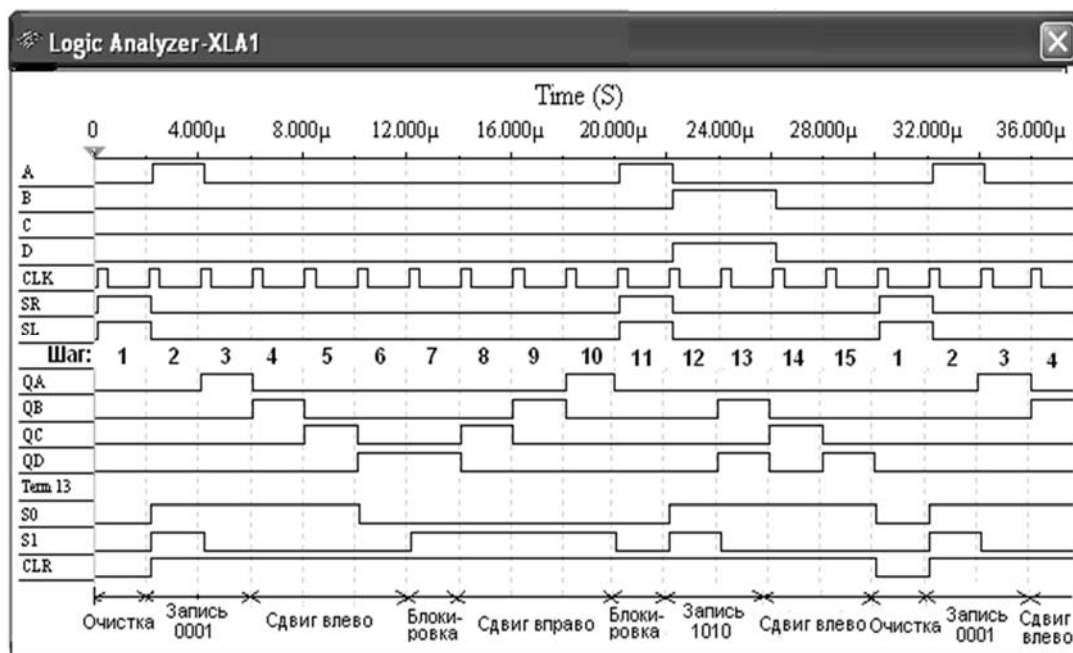


Рисунок 8.5 – Временные диаграммы работы универсального регистра сдвига

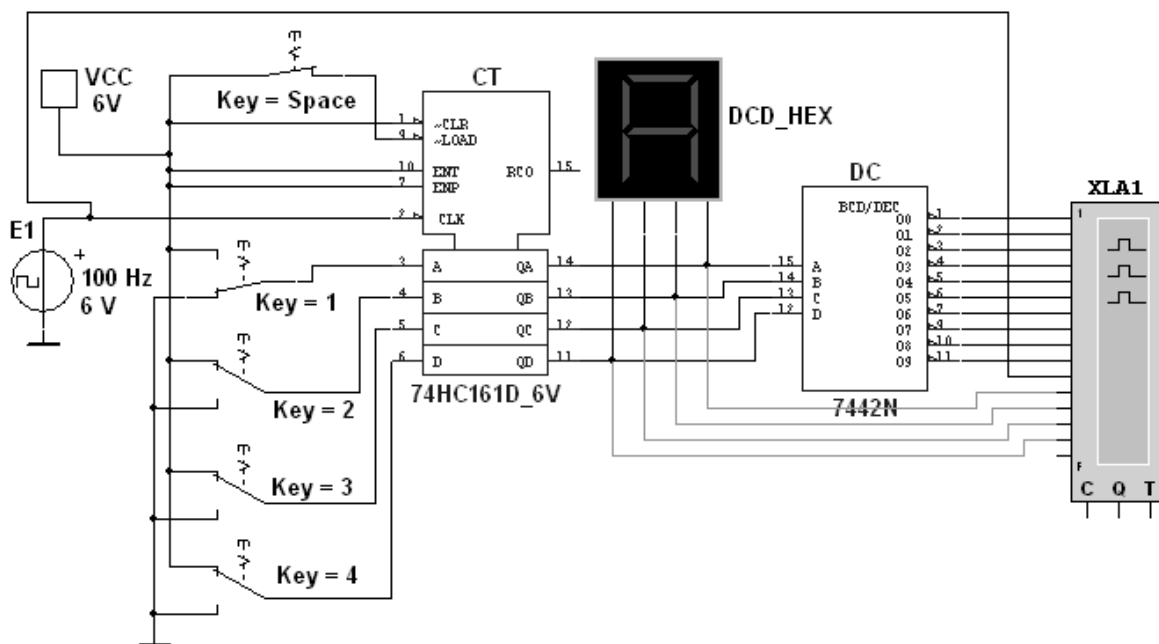


Рисунок 8.6 – Схема для моделирования работы синхронного двоичного счетчика

К входам А, В, С и D счетчика СТ подключены источник постоянного напряжения VCC, переключатели 1–4 для формирования входных двоичных кодов и ключ Space для изменения режима работы счетчика. В синхронном счетчике заданные с помощью ключей уровни сигналов подаются на входы всех триггеров, как и тактовые импульсы, которые подаются на счетные входы $\overline{\text{CLK}}$ всех разрядов счетчика.

При замкнутом ключе Space число поданных от генератора E1 на вход счетчика импульсов высвечивается на индикаторе DCD_HEX в десятичном коде, от 0 до 15, после чего счетчик обнуляется и вновь начинается счет. При этом на одном из выходов дешифратора DC формируется сигнал низкого уровня (логический 0), номер которого соответствует коду входного числа: от 0000 до 1001 (9_{10}).

При разомкнутом ключе Space сформированное с помощью переключателей на входе счетчика четырехразрядное двоичное число высвечивается на индикаторе в десятичном коде, а на экране анализатора на одном из выходов, соответствующем входному коду счетчика, формируется логический 0.

Промоделировать работу счетчика и дешифратора, сняв временные диаграммы их работы (рисунок 8.7).

Разомкнуть ключ Space. Установить в диалоговом окне анализатора XLA1 напряжение $V = 5$ В, частоту таймера $f_a = 2$ 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, 2, 3 и 4 клавиатуры сформировать произвольные (или по указанию преподавателя) двоичные входные числа (коды), например 1001, 0011, 0000, 1110, и подавать их на входы D, C, B и A счетчика. Зафиксировать показание семисегментного индикатора и дешифратора при данных значениях кода.

4 Сделать выводы по результатам работы.

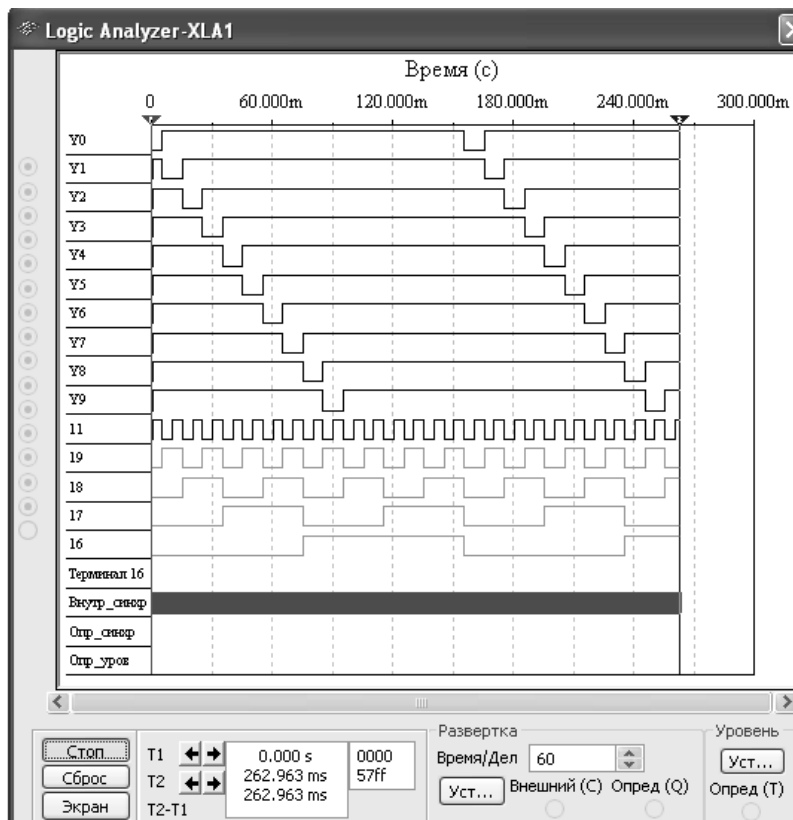


Рисунок 8.7 – Временные диаграммы работы счетчика и дешифратора

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать цель работы, схемы для моделирования работы регистра, счетчика, 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. – М. : ИНФРА-М, 2015. – 574 с.
- 2 **Гальперин, М. В.** Электротехника и электроника: учебник / М. В. Гальперин. – 2-е изд. – М. : ФОРУМ; ИНФРА-М, 2017. – 480 с.
- 3 **Жаворонков, М. А.** Электротехника и электроника: учеб. пособие / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. – М.: Академия, 2013. – 400 с.
- 4 **Кузовкин, В. А.** Схемотехническое моделирование электрических устройств в Multisim: учеб. пособие / В. А. Кузовкин, В. В. Филатов. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 336 с.