

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

С.А. Конева, В.М. Цалоев

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Методические указания
к лабораторным работам**

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 621.3(07)
ББК 31.2
К64

Р е ц е н з е н т:

К.П. Путилин - к.т.н., доцент кафедры
судового электрооборудования

Конева С.А.

К64 Общая электротехника и электроника: метод. указания к лабораторным работам / С.А. Конева, В.М. Цалоев. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 39 с.

Методические указания предназначены для студентов морского института Севастопольского государственного университета всех форм обучения по специальности 26.05.05 - «Судовождение», для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Общая электротехника и электроника»

Выполнение лабораторных работ направлено на формирование у студента профессиональных компетенций, обеспечивающих выпускнику осуществлять профессиональную деятельность в соответствии с ФГОС ВО с учетом требований Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (Конвенции ПДНВ).

УДК 621.3(07)
ББК 31.2

Рассмотрено и рекомендовано кафедрой судового электрооборудования Морского института Севастопольского государственного университета в качестве методических указаний к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Общая электротехника и электроника» по специальности 26.05.05 - «Судовождение», протокол № 8 от 23 апреля 2019 г.

© Конева С.А., Цалоев В.М. 2019
© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	5
Определение параметров схемы замещения и исследования режимов работы реального источника напряжения	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2	10
Последовательное соединение сопротивления, индуктивности и емкости при синусоидальном токе	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3	13
Трехфазная цепь при соединении нагрузки звездой	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4	18
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5	23
Исследование статических характеристик полупроводниковых тиристоров и транзисторов	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6	27
Проверка работоспособности интегральных логических элементов	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7	31
Исследование нерегулируемых трехфазных выпрямителей	
Библиографический список	38
Приложение А	39

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы по курсу «Общая электротехника и электроника» имеют целью закрепить теоретические знания, развить навыки экспериментальных исследований, научить студентов умело и целенаправленно оценивать технические характеристики и эксплуатационные свойства элементной базы электронных приборов.

Тематика лабораторных работ включает вопросы, связанные с изучением и исследованием полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, а также различных функциональных устройств.

Лабораторные работы выполняются по цикловому методу группой, состоящей из двух-трех студентов. Форма оформления отчета по лабораторной работе приведена в Приложении А. При подготовке к выполнению работы студенты обязаны проработать теоретический материал, относящийся к данной работе. Перед началом работы руководитель проводит контрольную проверку готовности студентов к выполнению работы.

По окончании каждой лабораторной работы оформляется отчет в виде протокола испытаний на листах формата А4.

Защита лабораторных работ производится бригадой, выполнявшей работы, с индивидуальным опросом каждого студента.

В методических указаниях используются общепринятые обозначения электротехнических величин:

u , U , U_m – соответственно мгновенное, действующее и амплитудное значение напряжений;

i , I , I_m – соответственно мгновенное, действующее и амплитудное значение токов;

R , X , Z – соответственно активное, реактивное и полное сопротивления;

G , b , y – соответственно активная, реактивная и полная проводимость;

p , P , Q , S – соответственно мгновенная, активная, реактивная и полная мощности;

f , ω – соответственно циклическая и угловая частоты.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы

Определение параметров схемы замещения и исследование режимов работы реального источника напряжения.

2. Теоретическая часть

Источником электрической энергии называется техническое устройство, в котором неэлектрические виды энергии (механическая, химическая, световая и т. д.) преобразовываются в электрическую энергию.

С точки зрения потребления электрической энергии наиболее полной характеристикой источника является внешняя характеристика, которая связывает ток и напряжение источника.

Различают две разновидности источников электрической энергии: источник напряжения и источник тока. В свою очередь, в каждой из этих разновидностей выделяют идеальные и реальные источники.

Идеальным источником напряжения (источником ЭДС) называется источник, напряжение на зажимах которого не зависит от тока источника (рис. 1) и равно ЭДС источника E . Идеальный источник напряжения является удобной идеализацией, которая удовлетворяет опыту только в некоторых пределах.

Например, в режиме короткого замыкания мощность идеального источника напряжения была бы равна бесконечности, что невозможно. Линеаризованная внешняя характеристика реального источника напряжения имеет вид, представленный на рис. 2.

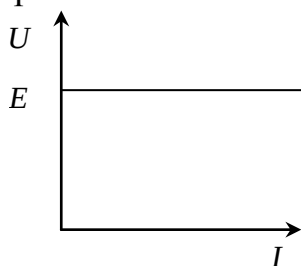


Рисунок 1- Внешняя характеристика идеального источника напряжения

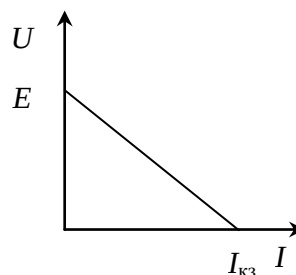


Рисунок 2 - Внешняя характеристика реального источника напряжения

Точка пересечения внешней характеристики с осью напряжения соответствует режиму холостого хода. В этом режиме зажимы источника разомкнуты, и напряжение на них равно ЭДС источника E , а ток равен нулю. Точка пересечения внешней характеристики с осью тока соответствует режиму короткого

замыкания. В этом режиме зажимы источника закорочены, и напряжение на них равно нулю. Ток $I_{КЗ}$ – это максимально возможный ток источника тока.

Зависимость, представленная на рисунке 2, выражается формулой

$$U = E - R_{BH}I. \quad (1)$$

Коэффициент R_{BH} , стоящий перед током в (1), имеет размерность сопротивления и называется внутренним сопротивлением источника.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа, формуле (1) соответствует эквивалентная схема замещения реального источника напряжения (рис. 3).

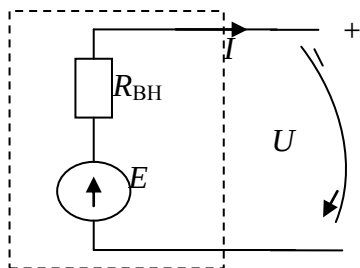


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения реального источника напряжения

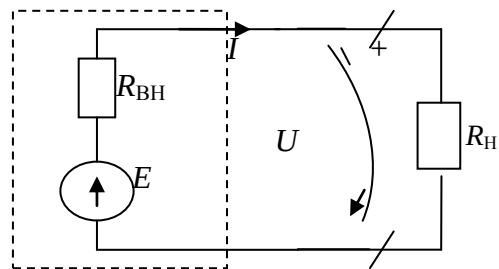


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения реального источника напряжения с нагрузкой

Экспериментально параметры реального источника напряжения проще всего определить из опытов холостого хода ($E = U_{XX}$) и короткого замыкания. При коротком замыкании напряжение на зажимах источника равно нулю и из формулы (1) получают R_{BH} :

$$R_{BH} = \frac{E}{I_{КЗ}}. \quad (2)$$

При подключении к источнику напряжения сопротивления нагрузки R_H (рис. 4) ток источника может быть рассчитан по формуле

$$I = \frac{E}{R_{BH} + R_H}. \quad (3)$$

Важное значение имеет величина мощности, потребляемой нагрузкой P_H , которая определяется по формуле

$$P_H = UI. \quad (4)$$

Если в (4) вместо U подставить правую часть формулы (1) и раскрыть скобки, получится следующее выражение

$$P_H = EI - R_{BH}I^2, \quad (5)$$

которое связывает мощность нагрузки с параметрами реального источника ЭДС. График зависимости мощности нагрузки от тока представляет собой пе-

ревернутую параболу (рис. 5). Из рис. 5 видно, что мощность в нагрузке при некотором значении тока $I_{P_{\max}}$ достигает максимума. Режим работы, при котором в нагрузке выделяется максимальная мощность, называется согласованным.

Исследовав выражение (5) на максимум ($dP_H/dI=0$), можно получить значение тока $I_{P_{\max}}$:

$$I_{P_{\max}} = \frac{E}{2R_{BH}} = \frac{I_{K3}}{2}, \quad (6)$$

где I_{K3} – ток короткого замыкания источника, А.

При согласованном режиме справедливо соотношение $R_{BH} + R_H = 2R_{BH}$. Следовательно, согласованный режим устанавливается в случае, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника

$$R_{BH} = R_H. \quad (7)$$

Подставив правую часть (6) в формулу (5), получим максимальную мощность в нагрузке, которую может обеспечить данный источник

$$P_{H_{\max}} = \frac{E^2}{4R_{BH}}. \quad (8)$$

В мощных электрических цепях немаловажное значение имеет коэффициент полезного действия реального источника:

$$\eta = \frac{P_H}{P_E} = \frac{EI - R_{BH}I^2}{EI} = 1 - \frac{R_{BH}I}{E} = 1 - \frac{I}{I_{K3}}, \quad (9)$$

где P_E – мощность источника, Вт.

График зависимости КПД от тока источника представлен на рис. 6.

Из рисунка видно, что при согласованном режиме коэффициент полезного действия равен 0,5.

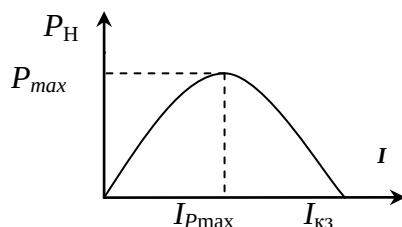


Рисунок 5 – График зависимости мощности нагрузки источника ЭДС от тока

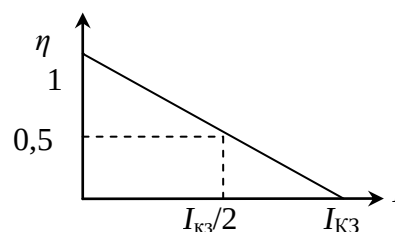


Рисунок 6 – График зависимости КПД источника ЭДС от тока

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов используется аналоговый амперметр. Напряжение изме-

ряется аналоговым вольтметром. В качестве идеального источника ЭДС E взят регулируемый источник постоянного напряжения. В качестве внутреннего сопротивления $R_{вн}$ реального источника напряжения взяты параллельно соединенные резисторы R_1 и R_2 . Нагрузкой источника $R_{н}$ служат параллельно соединенные резисторы $R_1 - R_6$, расположенные в верхней части наборного поля.

4. Порядок выполнения экспериментов

4.1. Собрать цепь в соответствии с рис. 7.

4.2. Подготовить цепь к проведению опыта. Для этого все тумблеры $K_1 - K_6$ установить в верхнее положение (включено).

Регулятором постоянного напряжения постепенно увеличивать напряжение источника. Увеличение напряжения источника прекратить при достижении амперметром тока 1 А.

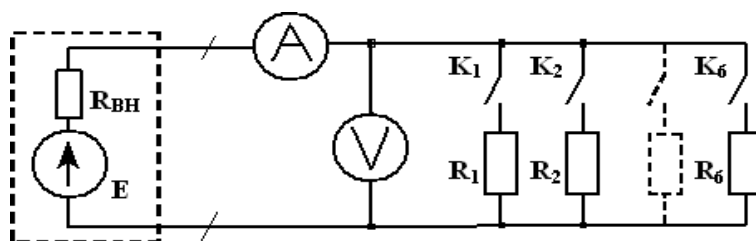


Рисунок 7 – Схема эксперимента

4.3. Исследование источника в различных режимах. Отключая последовательно по одному тумблеру, довести количество включенных тумблеров до нуля (опыт холостого хода). Измеряя ток и напряжение во всех случаях, результаты эксперимента записать в табл. 1.

5. Обработка результатов экспериментов

5.1. Из опыта холостого хода определить величину ЭДС реального источника напряжения

$$E = U_{xx}. \quad (10)$$

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные

Количество включенных тумблеров	Измерено		Вычислено		
	$U, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P_E = EI, \text{Вт}$	$P_H = UI, \text{Вт}$	$\eta = P_H/P_E$
6					
5					
4					
3					
2					
1					
0					

5.2. Опыт короткого замыкания, из которого можно определить ток короткого замыкания $I_{кз}$, крайне нежелателен, так как связан с перегрузками по току.

Поэтому для определения тока короткого замыкания необходимо построить внешнюю характеристику по экспериментальным данным (рис. 2). На оси ординат отложить величину ЭДС, отметить остальные экспериментальные точки. Через точку ЭДС и экспериментальные точки провести прямую. Точка пересечения прямой с осью тока даст величину $I_{кз}$.

5.3. Из формулы (2) определить внутреннее сопротивление реального источника напряжения.

5.4. На построенной характеристике разбить интервал по оси абсцисс от нуля до тока $I_{кз}$ на десять равных участков:

$$\Delta I = I_{кз}/10. \quad (11)$$

5.5. Для значений токов $I_k = k\Delta I$ ($k=1 \div 10$) по формуле (5) рассчитать значения мощности в нагрузке, результаты расчета занести в табл. 2.

Таблица 2 – Мощности в нагрузке

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k = k\Delta I$										
$P_n = EI_k - R_{вн}I_k^2$										

5.6. По найденным E , $R_{вн}$ и данным таблицы 2 построить теоретические графики зависимостей $U=f(I)$, $P_E=f(I)$, $P_n=f(I)$, $\eta=f(I)$.

5.7. На теоретические графики нанести экспериментальные точки.

5.8. По формуле (8) рассчитать максимально возможную мощность в нагрузке реального источника напряжения.

6. Содержание отчета

6.1. Название и цель работы.

6.2. Схемы эксперимента с указанием типов приборов.

6.3. Таблицы 1, 2 с экспериментальными и расчетными данными.

6.4. Теоретические графики $U=f(I)$, $P_E=f(I)$, $P_n=f(I)$, $\eta=f(I)$ с нанесенными экспериментальными значениями.

6.5. Выводы.

7. Контрольные вопросы

7.1. Как классифицируются источники электрической энергии?

7.2. Как изменится внешняя характеристика реального источника напряжения, если при неизменной ЭДС его внутреннее сопротивление увеличится в два раза?

7.3. Как изменится график мощности в нагрузке $P_n = f(I)$, если при неизменном внутреннем сопротивлении величина ЭДС уменьшится в два раза?

7.4. Как изменится график КПД $\eta = f(I)$, если внутреннее сопротивление увеличится в два раза?

7.5. Каково значение КПД источника, если сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника?

7.6. Для исследуемого Вами источника определите КПД в режиме, когда сопротивление нагрузки в два раза больше внутреннего сопротивления источника.

Лабораторная работа № 2

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ИНДУКТИВНОСТИ И ЕМКОСТИ СИНУСОИДАЛЬНОМ ТОКЕ

1. Цель работы

Исследование режимов работы последовательно соединенных сопротивлений, индуктивности и емкости.

2. Теоретическая часть

При последовательном соединении сопротивления, индуктивности (активным сопротивлением катушки пренебрегаем) и емкости комплексное выходное сопротивление имеет вид:

$$z = z_r + z_L + z_C = r + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = z e^{j\varphi}, \quad (1)$$

где $z = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$ – полное сопротивление; $\varphi = \arctg \left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r} \right)$ – сдвиг фаз

между напряжением и током.

Комплексное действующее значение тока в такой цепи определяется по формуле

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{z} = \frac{U e^{j\psi_u}}{z e^{j\varphi}} = \frac{U}{z} e^{j(\psi_u - \varphi)} = I e^{j\psi_i}. \quad (2)$$

Напряжение на сопротивлении определяется по формуле

$$\dot{U}_r = z_r \dot{I} = r I e^{j\psi_i}. \quad (3)$$

Напряжение на индуктивности находится из формулы

$$\dot{U}_L = z_L \dot{I} = X_L e^{j90^\circ} \cdot I e^{j\psi_i} = \omega L I e^{j(\psi_i + 90^\circ)}. \quad (4)$$

Напряжение на емкости вычисляется по формуле

$$\dot{U}_C = z_C \dot{I} = X_C e^{-j90^\circ} \cdot I e^{j\psi_i} = \frac{I}{\omega C} e^{j(\psi_i - 90^\circ)}. \quad (5)$$

В пассивных линейных двухполюсниках, включающих в себя индуктивности и емкости возможен специфический режим, при котором мощности индуктивности и емкости компенсируют друг друга. Такой режим называется резонансом. При резонансе двухполюсник ведет себя как чисто активное сопротивление. Поэтому общее условие резонансного режима можно сформулировать так: мнимая часть комплексного входного сопротивления равна нулю. Математически это запишется в виде:

$$\text{Im}(Z) = 0. \quad (6)$$

Если двухполюсник включает последовательно соединенные сопротивление, индуктивность и емкость, условие резонанса (6) имеет вид:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0. \quad (7)$$

Из формул (4) и (5) следует, что при резонансе действующие значения напряжений на индуктивности и емкости одинаковы. Поэтому резонанс в этом случае называют резонансом напряжений.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов в работе используется аналоговый амперметр типа А301. Для измерения напряжения применяется цифровой вольтметр А301. В качестве источника используется регулируемый источник переменного напряжения. В качестве емкости - батарея переменных конденсаторов.

4. Порядок выполнения экспериментов

4.1. Исследование при резонансном режиме

4.1.1. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рис. 1.

4.1.2. Из данных, приведенных на стенде, вычислить величину индуктивности катушки L_{0-9} , активное сопротивление катушки не учитывать.

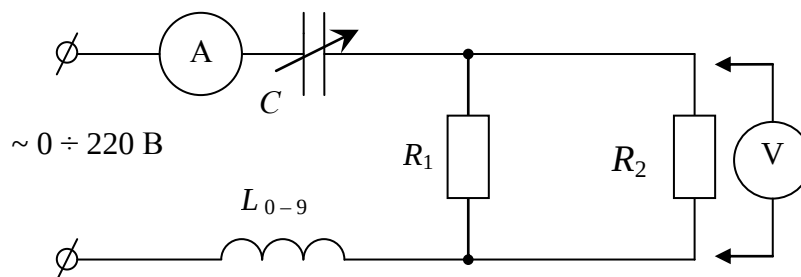


Рисунок 1 – Схема эксперимента

4.1.3. Из условия резонанса (7) по формуле

$$C_p = \frac{1}{\omega^2 L_{0-9}} \quad (9)$$

вычислить значение емкости C_p , при которой наступает резонанс.

Установить на батарее конденсаторов C_p .

4.1.4. Медленно источником переменного регулируемого напряжения увеличивать входное напряжение, контролируя при этом изменение тока. Увеличение входного напряжения прекратить при достижении тока 1 А.

4.1.5. Записать величину достигнутого входного напряжения U и в дальнейшем поддерживать его неизменным.

4.1.6. Вольтметром в дежурном режиме измерить напряжения на элементах схемы. Результаты занести в строку № 4 таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№ режима	Режим	C , мкФ	I , А	U_R , В	U_L , В	U_C , В	Z , Ом
1	$C = 0$						
2	$C = C_P/3$						
3	$C = 2C_P/3$						
4	$C = C_P$						
5	$C = 2C_P$						
6	$C = 3C_P$						

4.2. Исследование при нерезонансных режимах

4.2.1. Поочередно устанавливать на батарею конденсаторов величины емкостей, указанных в столбце «Режим» таблицы 1.

4.2.2. При каждом режиме измерять ток и напряжение и данные занести в табл. 1.

5. Обработка результатов экспериментов

5.1. По известному входному напряжению U рассчитать полное сопротивление Z двухполюсника для всех режимов

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (9)$$

и результаты занести в табл. 1.

5.2. По данным табл. 1 построить графики зависимости C , I , U_R , U_L , U_C , Z от емкости.

5.3. Для строк 2, 4, 6 табл. 1 построить векторные диаграммы токов и напряжений.

6. Содержание отчета

6.1. Название и цель работы.

6.2. Схема эксперимента с указанием типов измерительных приборов.

6.3. Таблица экспериментальных и расчетных данных.

6.4. Графики зависимостей $I(C)$, $U_R(C)$, $U_L(C)$, $U_C(C)$, $Z(C)$.

6.5. Векторные диаграммы для строк 2, 4, 6 таблицы 1.

7. Контрольные вопросы

7.1. Кроме изменения емкости, какие еще возможны способы получения резонанса?

7.2. Чему равно полное сопротивление при резонансе последовательно соединенных сопротивления, индуктивности и емкости?

7.3. Почему напряжение на реактивном элементе может превосходить входное напряжение?

7.4. Используя векторные диаграммы, найти напряжение на последовательно соединенных:

а) индуктивности и емкости;

б) индуктивности и сопротивлении;

в) емкости и сопротивлении.

7.5. Как выглядят графики зависимостей $r(C)$ и $x_L(C)$?

Лабораторная работа № 3

ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ

1. Цель работы

Исследование различных режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой.

2. Теоретическая часть

Трехфазной называется электрическая цепь, в которой действует три синусоидальных ЭДС с одинаковыми амплитудами, одинаковыми частотами, и с разными начальными фазами. Если начальные фазы ЭДС отличаются друг от друга на 120° , то такая система ЭДС называется симметричной. В подавляющем большинстве случаев используется симметричная система ЭДС.

Три источника ЭДС можно соединить несколькими способами. Распространенным является способ соединения источников ЭДС в виде звезды. Общая точка источников называется нейтралью источников.

Распространенным способом соединения нагрузки трехфазной цепи также является соединение звездой. Общая точка нагрузки называется нейтралью нагрузки. В общем случае нейтраль нагрузки и нейтраль источников соединяются проводом, который называется нейтральным, или нулевым.

Провода, соединяющие выводы звезд нагрузки и источников, называются линейными.

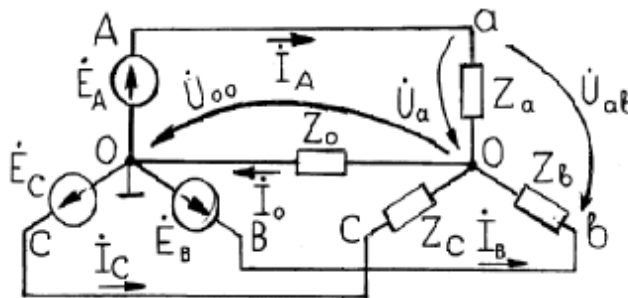


Рисунок 1 – Трехфазная цепь при соединении источников и нагрузки звездой

Обозначим элементы цепи в соответствии с рис. 1. Если выполняется условие

$$Z_a = Z_b = Z_c, \quad (1)$$

то такая нагрузка называется симметричной. Токи в линейных проводах называются линейными и обозначаются $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$. Токи в сопротивлениях Z_a, Z_b, Z_c называются фазными и обозначаются $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$. Ток в нулевом проводе обозначается $\dot{I}_0$ и направляется к нейтрали источников.

Напряжения между линейными и нулевым проводом называются фазными и обозначаются $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$. Напряжения между линейными проводами называются линейными и обозначаются $\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{bc}, \dot{U}_{ca}$. Напряжение между нейтралью нагруз-

ки $0'$ и нейтралью источников 0 $\dot{U}_{0'0}$ называется напряжением смещения нейтрали.

Анализ трехфазных цепей можно производить в комплексной форме любым методом. Но в случае, когда и источники, и нагрузка соединены звездой, это удобнее делать методом узловых потенциалов.

Заземлим нейтраль источников и будем считать, что в узле $0'$ существует неизвестный узловой потенциал $\dot{\varphi}_{0'}$. Уравнение для этого потенциала будет иметь вид

$$\left(\frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_\epsilon} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_0} \right) \dot{\varphi}_{0'} = \frac{\dot{E}_A}{Z_a} + \frac{\dot{E}_B}{Z_\epsilon} + \frac{\dot{E}_C}{Z_c}. \quad (2)$$

Отсюда неизвестный узловой потенциал равен

$$\dot{\varphi}_0 = \frac{\frac{\dot{E}_A}{Z_A} + \frac{\dot{E}_B}{Z_B} + \frac{\dot{E}_C}{Z_C}}{\frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_\epsilon} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_0}}. \quad (3)$$

Далее определяется напряжение смещения нейтрали

$$\dot{U}_{00} = \dot{\varphi}_{0'} - 0 = \dot{\varphi}_0.$$

На основании второго закона Кирхгофа находятся фазные напряжения на нагрузке

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A - \dot{U}_{00'}; \quad \dot{U}_b = \dot{E}_B - \dot{U}_{00'}; \quad \dot{U}_c = \dot{E}_C - \dot{U}_{00'}. \quad (4)$$

По фазным напряжениям находятся фазные, они же линейные, токи

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}, \quad \dot{I}_\epsilon = \frac{\dot{U}_b}{Z_\epsilon}, \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}. \quad (5)$$

Ток в нулевом проводе может быть найден или по закону Ома

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_{00'}}{Z_0}, \quad (6)$$

или по первому закону Кирхгофа

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c. \quad (7)$$

Приведенная выше последовательность расчетов справедлива при любых значениях сопротивлений нагрузки.

Частным случаем является трехфазная цепь при сопротивлении нулевого провода равном нулю. При этом $1/Z_0 = \infty$ и $\dot{\varphi}_0 = 0$, и

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A; \quad \dot{U}_b = \dot{E}_B; \quad \dot{U}_c = \dot{E}_C. \quad (8)$$

Из уравнения (5) видно, что фазные токи не зависят от элементов, стоящих в других частях (фазах) цепи. Понятие «фаза» имеет теперь два значения, первое – это аргумент синуса, а второе – часть электрической цепи, в которой протекает одинаковый ток.

Следовательно, нейтральный провод с нулевым сопротивлением делает работу фаз (участков цепи) независимой друг от друга.

При соединении нагрузки звездой линейные токи соответствующих фаз равны фазным токам.

При симметричной нагрузке модули линейных напряжений U_L связаны с модулями фазных напряжений U_Φ соотношением

$$U_L = \sqrt{3}U_\Phi. \quad (9)$$

При несимметричной нагрузке из (4) следует, что сумма соответствующего фазного напряжения и напряжения смещения нейтрали дает соответствующую фазную ЭДС (рис. 2).

Эта особенность позволяет строить графически векторы фазных напряжений, если известны только действующие значения этих векторов. Для этого в выбранном масштабе строим векторы ЭДС. Затем из конца вектора $\dot{E}_A$ проводим радиусом U_A дугу.

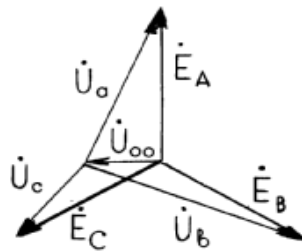


Рисунок 2 - Векторная диаграмма трехфазной цепи при несимметричной нагрузке

Аналогично из конца вектора $\dot{E}_B$ проводим дугу радиусом U_B , а из конца вектора $\dot{E}_C$ проводим дугу радиусом U_C . Все три дуги должны пересечься в одной точке $0'$. Вектор, проведенный из точки 0 в точку $0'$, будет вектором напряжения смещения нейтрали $\dot{U}_{00}$. Проведя из точки $0'$ вектор в концы вектора $\dot{E}_A$, получим вектор фазного напряжения $\dot{U}_a$. Аналогично можно построить векторы других фазных напряжений $\dot{U}_b$ и $\dot{U}_c$.

Частным случаем несимметричной нагрузки является обрыв нагрузки, когда сопротивление нагрузки в одной из фаз равно бесконечности.

Еще одним частным случаем несимметричной нагрузки является короткое замыкание нагрузки одной из фаз. При наличии нулевого провода короткое замыкание нагрузки одной фазы приводит к бесконечному току в этой фазе, т.е. к аварии.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов используются аналоговые амперметры.

Для измерения напряжений применяется аналоговый вольтметр в дежурном режиме. В качестве источников энергии используется трехфазная система ЭДС, соединенная звездой.

4. Порядок выполнения экспериментов

4.1. Трехфазная цепь при наличии нулевого провода. Собрать электрическую цепь согласно схеме, показанной на рисунке 3. В случае отсутствия необходимого количества амперметров фазные токи можно рассчитать по закону Ома, используя значения сопротивлений $R_1 \div R_6$. Амперметр в нулевом проводе установить обязательно.

4.2. Симметричный режим. Включить все резисторы и измерить: фазные токи I_a, I_b, I_c ; ток в нулевом проводе I_0 ; фазные напряжения U_a, U_b, U_c ; линейные напряжения U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} . Данные опыта занести в таблицу 1.

4.3. Несимметричный режим. Увеличить сопротивление нагрузки фазы А, отключив резистор R_1 . Измерить все величины и результаты занести в табл. 1.

4.4. Обрыв нагрузки фазы. Для обрыва нагрузки фазы А отключите также резистор R_2 . Измерить все величины и результаты занесите в табл. 1.

4.5. Трехфазная цепь без нулевого провода.

4.5.1. Выключив источник питания, удалить из схемы нулевой провод.

4.5.2. Симметричный режим. Включить все резисторы и измерить линейные и фазные напряжения и напряжение смещения нейтрали. Измерить фазные (они же линейные) токи. Данные опыта занести в табл. 2.

4.5.3. Несимметричный режим. Увеличить сопротивление нагрузки фазы А, отключив резистор R_1 . Измерить напряжения и токи и результаты занести в таблицу 2.

4.5.4. Обрыв нагрузки фазы. Для обрыва нагрузки фазы А отключить также резистор R_2 . Измерить напряжения и токи и результаты занести в табл. 2.

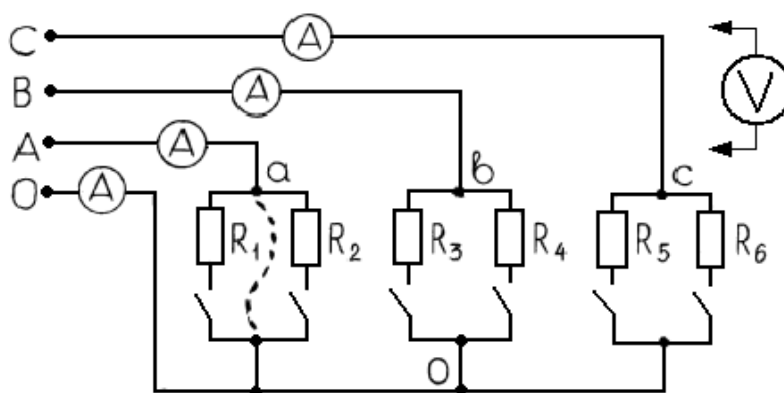


Рисунок 3 – Схема эксперимента

Таблица 1–Экспериментальные исследования режимов с нулевым проводом

Измеряемая величина	Режим		
	Симметричный	Несимметричный	Обрыв фазы
U_a , В			
U_b , В			
U_c , В			
U_{ab} , В			
U_{bc} , В			
U_{ca} , В			
I_a , А			
I_b , А			
I_c , А			
I_0 , А			

4.5.5. Короткое замыкание – обязательно без нулевого провода.

Отключить питание и закоротить нагрузку фазы A , как показано пунктиром на рисунке 3. Включить питание и измерить напряжения и токи, результаты занести в таблицу 2.

4.6. Выписать со стенда значения линейных и фазных ЭДС и величины сопротивлений нагрузки.

Таблица 2 –Исследования режима без нулевого провода

Измеряемая величина	Режим			
	Симметричный	Несимметричный	Обрыв фазы	Короткое замыкание
U_a , В				
U_b , В				
U_c , В				
U_{ad} , В				
U_{bc} , В				
U_{ca} , В				
$U_{00'}$, В				
I_a , А				
I_b , А				
I_c , А				

5. Обработка результатов экспериментов

5.1. Считая сопротивление нулевого провода равным нулю, в соответствии с таблицей 1, построить векторные диаграммы напряжений и токов.

5.2. На основании методики, изложенной в теоретической части, в соответствии с таблицей 2, построить векторные диаграммы напряжений и токов.

6. Содержание отчета

6.1. Название и цель работы.

6.2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.

6.3. Векторные диаграммы всех исследуемых режимов.

6.4. Таблицы экспериментальных данных.

7. Контрольные вопросы

7.1. В чем сходство, и в чем различие ЭДС, действующих в трехфазных цепях?

7.2. Какие условия должны выполняться, чтобы трехфазная цепь была симметричной?

7.3. На схеме трехфазной цепи укажите точки, между которыми можно измерить линейные и фазные напряжения, а также напряжение смещения нейтрали.

7.4. Какова роль нулевого провода с нулевым сопротивлением?

7.5. В каких ситуациях в трехфазных цепях можно, а в каких - нельзя проводить опыт короткого замыкания?

7.6. Как на комплексной плоскости можно определить точку, соответствующую напряжению смещения нейтрали, если известны действующие значения фазных напряжений.

Лабораторная работа № 4 АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

1. Цель работы

Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при холостом ходе и под нагрузкой.

2. Теоретическая часть

Асинхронным двигателем называется машина переменного тока, частота вращения подвижной части (ротора) n которой при постоянной частоте переменного тока источника f , изменяется с изменением нагрузки и отличается от синхронной частоты, т.е. от частоты вращения магнитного поля n_1 неподвижной части (статора).

В сердечнике статора расположены по окружности три одинаковые обмотки так, что их оси находятся под углом 120° . Эти обмотки подключаются к трехфазной системе токов и создают в статоре вращающееся вокруг оси машины магнитное поле.

Обмотки на статоре можно располагать так, что у вращающегося магнитного поля будет 1, 2, 3 и т.д., а в общем случае P пар полюсов.

Тогда частота вращения магнитного поля (синхронная частота) n_1 , об/мин:

$$n_1 = 60 \frac{f_1}{P}. \quad (1)$$

На вращающейся части машины (роторе) расположены проводники, концы которых закорочены. Поэтому ротор называется короткозамкнутым. Если ротор вращается с частотой, отличной от синхронной, это равносильно тому, что проводники ротора находятся в переменном магнитном поле. В этом случае в проводниках ротора возникает ЭДС. Так как проводники ротора замкнуты, то в них возникают токи. Это второе после вращающегося магнитного поля явление, на

котором основана работа асинхронного двигателя. Третье явление состоит в том, что на проводники с током в магнитном поле действует сила (Ампера), которая заставляет ротор вращаться в ту же сторону, куда вращается магнитное поле.

Частота вращения ротора n принципиально не равна n_1 , т.к. в этом случае ротор покоился бы относительно магнитного поля и сила была бы равна нулю. Поэтому двигатель и называется асинхронным.

Количественно разность частот вращения магнитного поля n_1 , и ротора n определяется величиной, называемой скольжением S :

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1}. \quad (2)$$

Преобразование электроэнергии, потребляемой двигателем от сети, в механическую энергию неизбежно связано с потерями.

В асинхронном двигателе имеются потери: электрические $P_{об}$ в обмотках, магнитные P_c в сердечниках и механические P_m . Следовательно полные потери в двигателе

$$\Delta P = P_{об} + P_c + P_m. \quad (3)$$

Полные потери ΔP можно приблизительно оценить, считая их равными мощности, потребляемой двигателем на холостом ходу

$$P_{1xx} = \Delta P. \quad (4)$$

Тогда полезная мощность двигателя P_2 :

$$P_2 = P_1 - P_{1xx}. \quad (5)$$

Эффективность преобразования электрической энергии в механическую характеризуется коэффициентом полезного действия η

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (6)$$

Активная мощность P_1 , потребляемая двигателем от сети, может быть измерена ваттметром.

Полная мощность асинхронного двигателя S_1 может быть рассчитана

$$S_1 = \sqrt{3}UI, \quad (7)$$

где U – линейное напряжение, В; I – линейный ток, А.

Активная мощность P_1 и полная мощность S_1 связаны соотношением

$$P_1 = S_1 \cos \varphi, \quad (8)$$

где φ – сдвиг фаз между напряжением и током статора двигателя.

Воспользовавшись формулой (8), можно определить угол сдвига фаз напряжения и тока двигателя φ

$$\varphi = \arccos \frac{P_1}{S_1}. \quad (9)$$

Из механики известно, что механическая мощность P_2 может быть выражена через вращающий момент M и угловую скорость ротора Ω

$$P_2 = \Omega M. \quad (10)$$

В свою очередь угловая скорость Ω связана с частотой вращения n [об/мин] следующим соотношением

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}. \quad (11)$$

Воспользовавшись (10) и (11), получим выражение для вращающего момента

$$M = \frac{9,55 P_2}{n}. \quad (12)$$

Важной характеристикой двигателя является механическая характеристика, т.е. зависимость частоты вращения n от вращающего момента M : $n(M)$. Вид этой характеристики представлен на рис. 1.

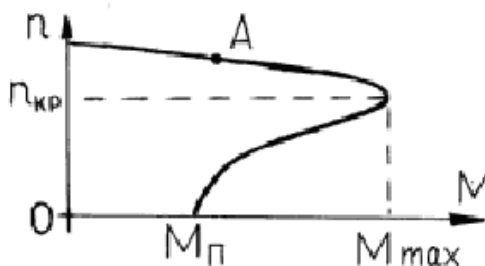


Рисунок 1- Механическая характеристика асинхронного двигателя

Точка A на характеристике соответствует номинальному режиму, т.е. режиму, при котором двигатель в нормальных условиях может выполнять свои функции длительное время с заданными параметрами.

Механическая характеристика является иным выражением зависимости вращающего момента от скольжения $M(S)$. Эта зависимость представлена на рис. 2.

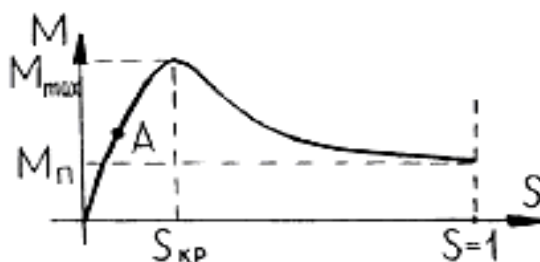


Рисунок 2 - Зависимость механического момента от скольжения

Возможности двигателя как источника механической энергии определяются его механической характеристикой.

Свойства двигателя как элемента цепи раскрываются его рабочими характеристиками, которые представляют собой зависимости φ , η , n , S , M , P_1 , I от полезной мощности (нагрузки на валу). Графики этих зависимостей показаны на рисунке 3. Эти графики можно получить, воспользовавшись экспериментальными данными и расчетными формулами, приведенными выше.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на лабораторных стендах № 3, 5 и 9. На одном валу с асинхронным двигателем (Д) расположены тахогенератор (ТГ) и генератор (Г).

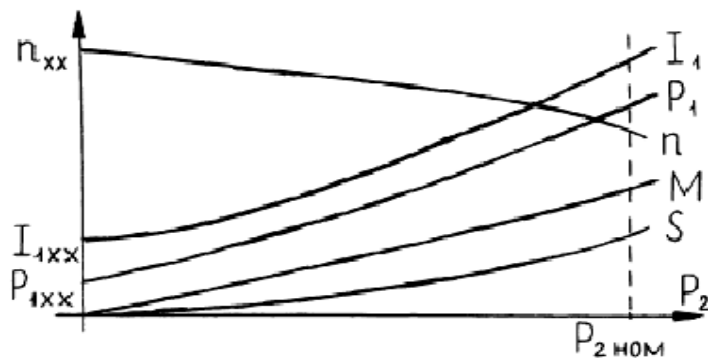


Рисунок 3 - Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Тахогенератор предназначен для измерения частоты оборотов двигателя, а генератор является нагрузкой двигателя. Активная мощность, потребляемая асинхронным двигателем, измеряется ваттметром. Нагрузкой генератора постоянного тока являются резисторы $R1 \div R6$.

4. Порядок выполнения экспериментов

- 4.1. Переписать со стенда паспортные данные исследуемого двигателя.
- 4.2. Собрать экспериментальную цепь, схема которой изображена на рис. 4.
- 4.3. Исследование асинхронного двигателя при соединении обмоток статора треугольником.

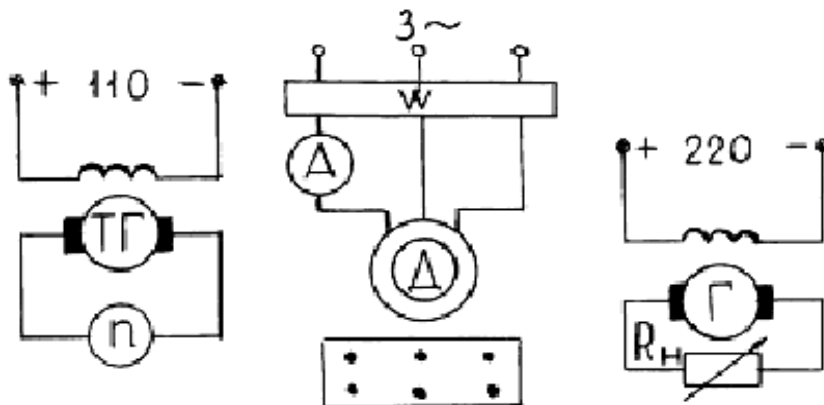


Рисунок 4 – Схема эксперимента

4.3.1. При отключенном питании двигателя и генераторов соединить обмотки статора асинхронного двигателя треугольником, для этого гнезда панели, расположенной под двигателем, соединить согласно рис. 5.

4.3.2. Отключить нагрузку R_H генератора Г.

4.3.3. Включить все источники питания.

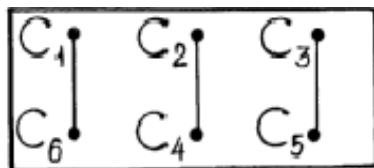


Рисунок 5 – Схема соединения обмоток статора треугольником

4.3.4. Записать показания приборов при холостом ходе двигателя в табл. 1.

4.3.5. Увеличивая нагрузку генератора добавлением включенных тумблеров сопротивлений нагрузки, записать данные пяти – шести режимов в табл. 1.

4.4. Исследование асинхронного двигателя при соединении обмоток статора звездой.

Таблица 1 - Таблица экспериментальных и расчетных данных

Соединение обмоток	Включено R_H	Измерено			Вычислено				
		I , А	P_1 , Вт	n , об/мин	S , В·А	P_2 , Вт	η	φ , град.	M , Н·м
Треугольник	0								
	1								
	...								
	6								
Звезда	0								
	1								
	...								
	6								

4.4.1. Отключить питание двигателя и генераторов.

4.4.2. Соединить обмотки статора асинхронного двигателя звездой, для этого гнезда панели, расположенной под двигателем, соединить согласно рис. 6.

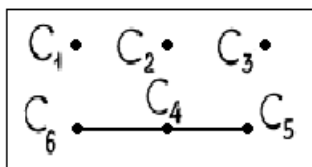


Рисунок 6 - Соединение обмоток статора звездой

4.4.3. Отключить нагрузку R_H генератора.

4.4.4. Включить все источники питания.

4.4.5. Записать показания приборов при холостом ходе двигателя в таблицу 1.

4.4.6. Увеличив нагрузку генератора добавлением включенных тумблеров сопротивлений нагрузки, записать данные пяти–шести режимов в табл. 1.

5. Обработка результатов экспериментов

По формулам, приведенным в разделе 2, вычислить S , P_2 , η , φ , M для всех режимов, записанных в таблице 1.

5.1. Заполнить табл. 1 в части «Вычислено».

5.2. По данным табл. 1 построить механические $n(M)$, $n(s)$ и рабочие характеристики $\varphi(P_2)$, $\eta(P_2)$, $n(P_2)$, $S(P_2)$, $M(P_2)$, $P_1(P_2)$ или их фрагменты.

5.3. Проанализировать поведение графиков.

6. Содержание отчета

- 6.1. Наименование и цель работы.
- 6.2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.
- 6.3. Формулы, необходимые для выполнения расчетов.
- 6.4. Таблица экспериментальных и расчетных данных.
- 6.5. Графики механических и рабочих характеристик.
- 6.6. Анализ полученных результатов.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Каков принцип действия асинхронного двигателя?
- 7.2. Что такое скольжение, и какие значения оно может принимать?
- 7.3. Почему двигатель называется асинхронным?
- 7.4. Какие виды потерь существуют в асинхронном двигателе?
- 7.5. Какая величина характеризует эффективность преобразования электрической энергии в механическую?
- 7.6. Как можно найти сдвиг фаз между напряжением и током в асинхронном двигателе?
- 7.7. Какие виды механических характеристик асинхронного двигателя Вы знаете?
- 7.8. Что такое рабочие характеристики АД?

Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТИРИСТОРОВ И ТРАНЗИСТОРОВ

1. Цель работы

Ознакомиться с принципом работы и конструкцией тиристора и снять опытным путем вольтамперную характеристику. Ознакомиться с принципом работы и конструкцией биполярного и полевого транзисторов и снять опытным путем входную и выходные характеристики.

2. Теоретическая часть

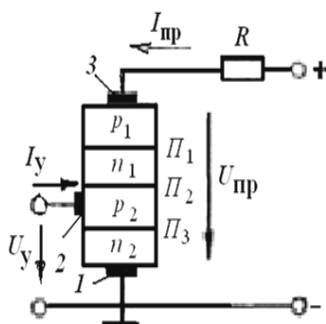


Рисунок 1 – Структура триодного тиристора: 1,2,3 – выводы катода управляющего электрода и анода соответственно

Тиристор – полупроводниковый прибор с тремя (или более) $p-n$ - переходами, вольтамперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением и который используется для переключения, причем изменение состояния тиристора происходит скачкообразно. Условные графические обозначения тириستоров приведены на рис. 2 и 3.

Простейшим тиристором с двумя выводами является диодный тиристор - *динистор*.

Триодный тиристор – *тринистор* имеет дополнительно третий (управляющий) электрод. Как диодный,

так и триодный тиристоры имеют четырехслойную структуру с тремя p - n - переходами.

Питающее напряжение подается на тиристор таким образом, что переходы Π_1 и Π_3 оказываются открытыми, а Π_2 – закрытым.

Сопротивления открытых переходов незначительны, поэтому почти все питающее напряжение $U_{пр}$ приложено к закрытому переходу Π_2 , имеющему высокое сопротивление. Следовательно, ток тиристора мал.

Транзисторы – полупроводниковые триоды – широко применяются в различных схемах судовой электроники и автоматики. Транзистор – монокристалл, состоящий из трех областей различной проводимости – электронной (n) и дырочной (p).

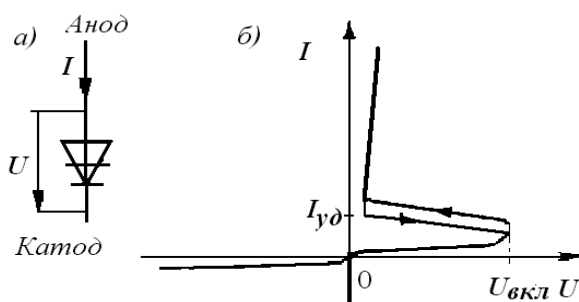


Рисунок 2 – Графическое обозначение и ВАХ диода

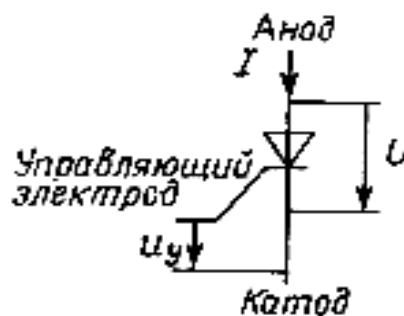


Рисунок 3 – Графическое обозначение тристора

В зависимости от типа областей кристалла различают транзисторы p - n - p и n - p - n . Крайние области называются коллектором и эмиттером, а средняя – базой. В зависимости от того, какой электрод является общим для входа и выхода, рассматривают три типа включения транзистора в схемы (рис. 4.): с общей базой (а), общим эмиттером (б) и общим коллектором (в).

Транзистор характеризуется семейством входных и выходных характеристик, которые зависят от схемы его включения. Для транзистора, включенного по схеме с общей базой, входные характеристики представляют зависимость тока эмиттера $I_э$ от напряжения эмиттер – базы $U_{эб}$ при постоянном значении напряжения коллектор – базы $U_{кб}$ и имеют вид, показанный на рис. 5, а, а выходные характеристики – зависимость тока коллектора $I_к$ от напряжения коллектор – базы $U_{кб}$ при постоянном значении тока эмиттера $I_э$ (рис. 5, б).

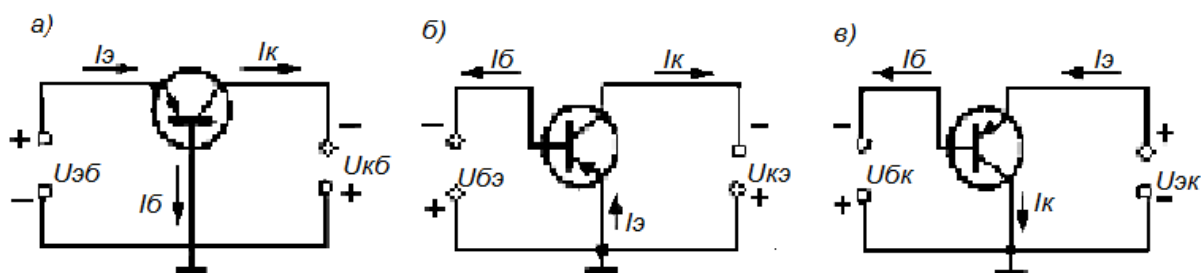


Рисунок 4 – Схемы включения транзисторов

Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, под входными характеристиками понимают зависимость $I_B = f(U_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ (рис. 5, в), а под выходными характеристиками – $I_K = f(U_{КБ})$ при $I_B = \text{const}$ (рис. 5, г).

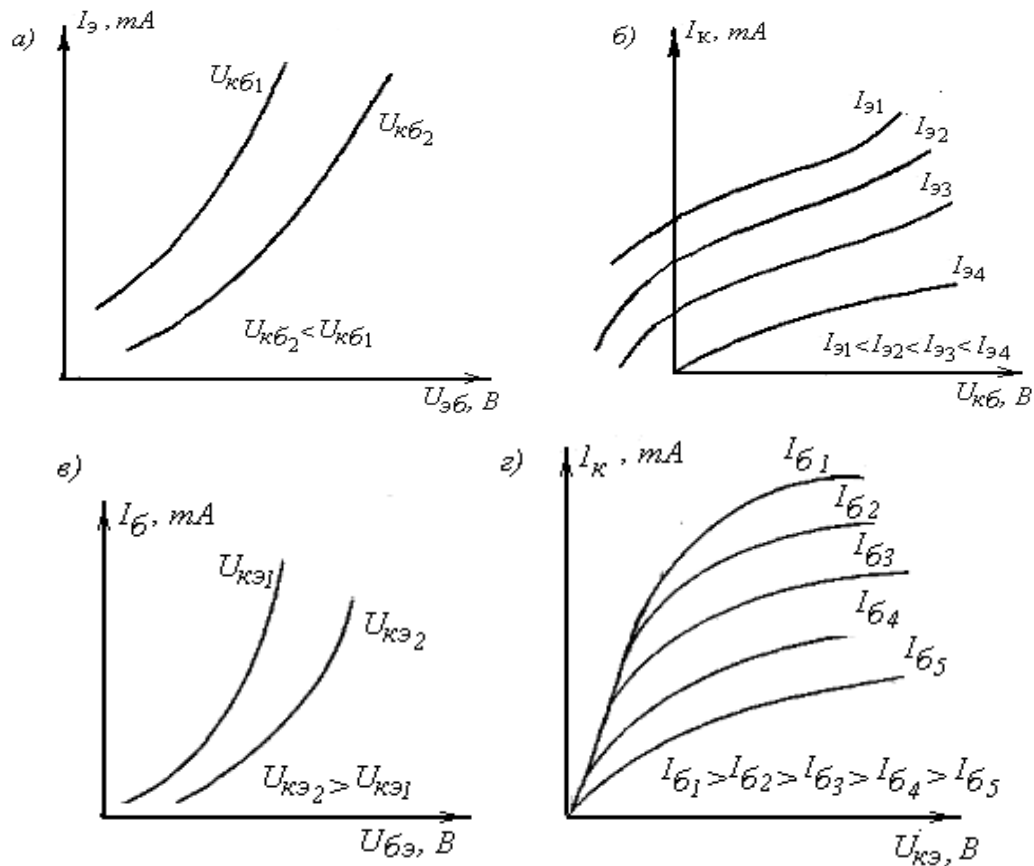


Рисунок 5 – Входные и выходные характеристики транзистора:
а, б - при включении с общей базой; в, г - при включении с общим эмиттером

Характеристики для схемы с общим коллектором" не снимаются - при анализе и расчете таких схем пользуются характеристиками и параметрами, получаемыми в экспериментах для схем "с общей базой» и "общим эмиттером".

Для снятия статических характеристик тиристора и транзисторов собраны схемы, приведенные на рис. 6 ÷ 9.

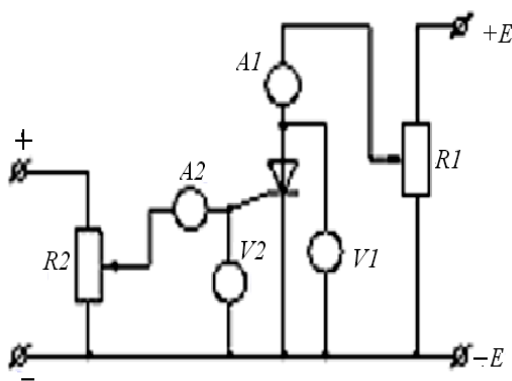


Рисунок 6 – Схема
испытания тиристора

Источники питания, соответствующие данным, указанным на схемах, смонтированы на стенде, ручки резисторов R1, R2, R3 для регулировки напряжения источников питания выведены на переднюю панель. Для измерения тока и напряжения на стенде установлены: миллиамперметры с пределами измерений: A1 (30/50) мА/мкА, A2 (12) мА и вольтметры с пределами измерений: V1 (15) В, V2 (3/15) В.

3. Порядок выполнения работы

3.1. По схеме, приведенной на рис. 6 снять и построить вольт-амперную характеристику тиристора, для чего: S1– в положение 3, S3- в положение "I". Потенциометром R1 установить напряжение на аноде $U_1=15\text{В}$. Увеличивая потенциометром R2 величину напряжения U_y между управляющим электродом и катодом тиристора (V2), а также ток управляющего электрода тиристора I_y (A2), зафиксировать момент включения тиристора. При этом определить величины: I_y , U_y , а также ток анода I_a и остаточное напряжение на аноде $U_{ост}$ открытого тиристора.

3.2. По схеме, приведенной на рис. 7 снять и построить входную характеристику биполярного транзистора, для чего:

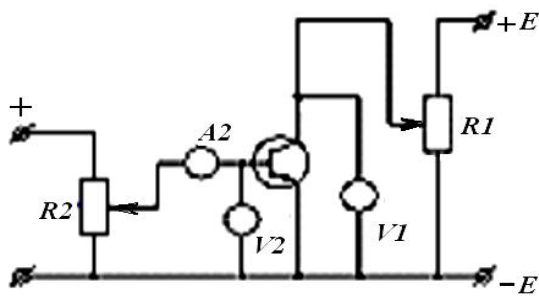


Рисунок 7 – Схема испытания биполярного транзистора

S1–в положение "4", S3 – в положение "1" (3В). Потенциометром R1 установить $U_{кэ}=0(\text{В})$ (V1). Меняя потенциометром R2 величину тока базы I_b (A2), снять зависимость $I_b=f(U_{бэ})$ при $U_{кэ}=\text{const}$. Ту же зависимость снять, поддерживая потенциометром R1 напряжение $U_{кэ}=1\text{В}$.

3.3. По схеме, приведенной на рис. 8, снять и построить семейство выходных характеристик биполярного транзистора, для чего: S1- в положение "4", а S3 в положение "1". Потенциометром R2 установить ток базы $I_b=1,2\text{ мА}$ (A2). Меняя напряжение $U_{кэ}$ (V1) потенциометром R1 по A1 снять зависимость тока коллектора $I_c=f(U_{кэ})$ при $I_b=1,2\text{мА}$. Ту же зависимость снять при $I_b=2,4\text{мА}$, $3,6\text{мА}$.

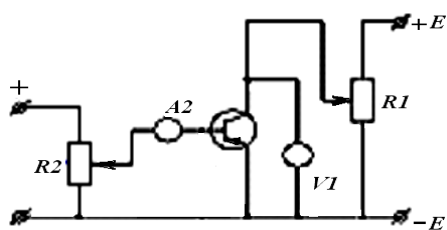


Рисунок 8 – Схема испытания биполярного транзистора

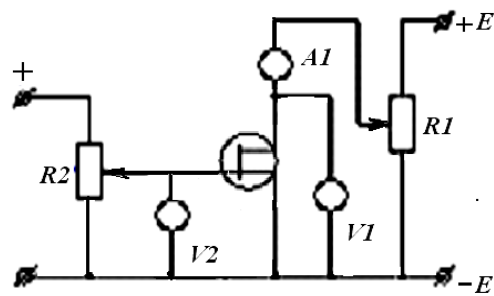


Рисунок 9 – Схема испытания полевого транзистора

3.4. По схеме приведенной на рис. 9, снять зависимость тока стока I_c (A1) от напряжения затвор–исток $U_{зи}$ (V2) $I_c=f(U_{зи})$ при постоянном напряжении сток–исток $U_{си}$ (V1). Для чего: S1–в положение "5", S3 – в положение "2". Потенциометром R1 установить $U_{си} = 15\text{В}$. Меняя потенциометром R3 напряжение на затворе (вся шкала 13В) и поддерживая постоянным $U_{си}$, снять зависимость $I_c=f(U_{зи})$.

3.5. По схеме (рис. 9) снять семейство стоковых характеристик, т.е. зависимость $I_c=f(U_{си})$ при $U_{зи}=\text{const}$. Для чего: S1- в положение "5", S3 – в положение "2". Потенциометром R3 установить $U_{эк}=0\text{В}$. Изменяя потенциометром

R1 величину напряжения $U_{си}(V1)$ записать показания $I_c(AI)$. Ту же зависимость снять при напряжениях $U_{зи} = 3В, 6В, 9В$.

4. Оформление отчета

Отчет должен одержать:

1. Цель работы и краткую характеристику исследуемых элементов
2. Схему установки с перечнем оборудования и приборов.
3. Таблицы с экспериментальными данными, соответствующими графиками, и выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

- 5.1. Принцип действия, параметры, характеристика и маркировка тириستоров и транзисторов.
- 5.2. Что такое угол отпирания тиристора
- 5.3. Назовите схемы включения биполярного транзистора.
- 5.4. Что такое входная характеристика транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.
- 5.5. Что такое выходные характеристики транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

Лабораторная работа № 6 ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы

Ознакомиться со структурой базового элемента И-НЕ транзисторно-транзисторной логики и экспериментально проверить его работоспособность на микросхеме K155ЛА3.

2. Теоретическая часть

Цифровые микросхемы предназначены для обработки, преобразования и хранения цифровой информации. Выпускаются они сериями. Основой каждой серии цифровых микросхем является базовый логический элемент.

Схема базового логического элемента И-НЕ транзисторно- транзисторной логики приведена на рис. 1. Подобные электронные устройства цифровой техники называют микросхемами транзисторно-транзисторной логики – ТТЛ, потому, что входная логика осуществляется транзистором (первая буква Т), а усиления и инверсия - также транзисторами (вторая буква Т). Входной транзистор VT1, включенный по схеме с общей базой, двухэмиттерный. Причем эмиттеры соединены с общим проводом питания через диоды VD1;VD2 - они защищают транзистор от случайного попадания на эмиттеры напряжения отрицательной полярности. Транзистор VT2 образует усилительный каскад с двумя нагрузками - эмиттерной (R3) и коллекторной (R2). Снимаемые с них сигналы противофазны (противоположны по уровню), поступают на базы транзисторов VT3 и VT4 выходного каскада.

Таким образом, выходные транзисторы всегда будут находиться в противоположных состояниях - один закрыт, а второй в это время открыт. Этому способствует и диод VD3, падение напряжения на котором создает на эмиттере транзистора VT3 относительно его базы более положительное (на 0,3-0,4В) напряжение. При наличии на одном или обоих входах элемента напряжения низкого уровня (например, при соединении их с общим проводом питания), транзистор VT1 открыт и насыщен. Транзисторы VT2 и VT4 - закрыты, а VT3 - открыт - через него и нагрузку течет ток.

В случае, когда на оба входа будет подано напряжение высокого уровня - транзистор VT1 закроется, а VT2 и VT4 откроются и тем самым закроют транзистор VT3. Ток через нагрузку практически прекратится - элемент примет нулевое состояние. Напряжение низкого уровня (логический ноль) на выходе элемента равно напряжению на коллекторе открытого транзистора VT4 и не превышает 0,4 В.

Напряжение высокого уровня (логическая единица) составляет не менее 2,4 В. Фактически же уровни логических 0 и 1 на выходе элемента, зависят от сопротивления нагрузки R_H и могут быть в пределах $0,1 \div 0,15$ В и $3,35 \div 3,9$ В соответственно.

Переход элемента из единичного состояния в нулевое происходит скачкообразно при подаче на его входы сигнала напряжением около 1,15В, называемого пороговым. Рассмотренный элемент выполняет логическую функцию

$$Y = \overline{x_1 x_2}.$$

Указанную логическую функцию можно задавать в виде таблицы состояний входных и выходных переменных. Логический элемент является исправным, если при наличии на входах логической 1 на выходе получается логический 0. Проверка логики действия элемента состоит в том, что на выходе будет логический 0 только в том случае, если на входах элемента подается логическая 1. Во всех остальных случаях на выходе будет логическая 1.

Если входы элементов объединить, то логическая схема может выполнять функции инвертора $y = \bar{x}$ (операции НЕ).

Динамические параметры базовых элементов могут быть оценены быстродействием. Характеристикой быстродействия может служить среднее время задержки распространения сигнала, которое равно

$$t_{зд.p.cp.} = 0,5 \left(\begin{matrix} 1,0 & 0,1 \\ t_{зд.p} & + t_{зд.p} \end{matrix} \right),$$

где $\begin{matrix} 1,0 & 0,1 \\ t_{зд.p} & + t_{зд.p} \end{matrix}$ - времена задержки распространении сигнала при включении и выключении (рис. 2).

3. Описание схемы

Схема лабораторного стенда с указанием расположенных элементов, приведена на его передней панели.

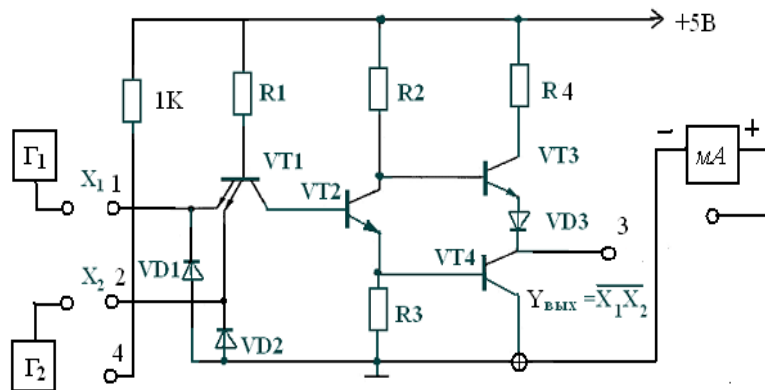


Рисунок 1 – Схема базового элемента ТТЛ 2И-НЕ

Элементы имеют следующие назначения: переключатель S1 предназначен для подачи питания на схему; лампа HL1 - для индикации подачи напряжения на схему; коммутационные гнезда служат для подачи и снятия логических сигналов; вольтметр рV1 служит для измерения величины напряжения на различных частях схемы.

4. Программа работы и порядок ее выполнения

1. Изучить структуру микросхемы K155ЛА3 и схему установки для ее исследования.

2. Проверить неисправности одного элемента микросхемы, для чего:

2.1. Подать питание на микросхему выключателем;

2.2. Вольтметром постоянного тока (pV) с относительным

входным сопротивлением не менее 5 кОм/В измерить напряжения на логических выводах элементов. Для этого отрицательный щуп вольтметра pV смонтирован с общей (заземленной) шиной, а положительным щупом необходимо поочередно коснуться входных выводов 1,2, а затем - выходного вывода 3 и замерить значения напряжения.

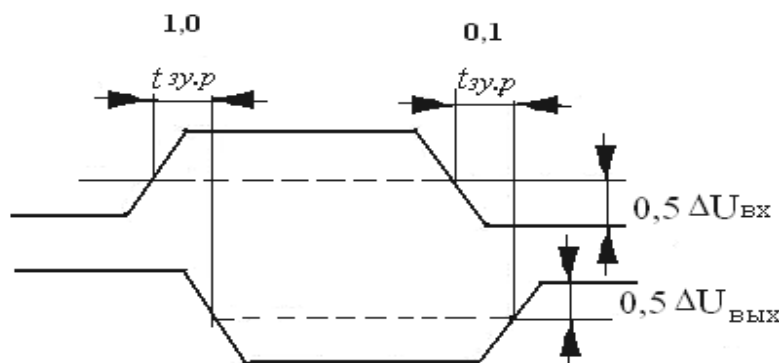


Рисунок 2 – Временные диаграммы сигналов на входе и выходе логического элемента

3. Проверить логику действия элементов 2И-НЕ, для чего:

3.1. Вывод 2 микросхемы соединить с (-), а вывод 1 через резистор, сопротивлением 1 кОм с (+) источника питания (гнездо 4).

3.1.1. Вольтметром рV замерить напряжение на выходе схемы (гнездо 3).

3.1.2. Вольтметром рV замерить напряжение на входных выводах схемы (гнезда 1 и 2).

3.2. Выводы 2 и 1 микросхемы соединить через сопротивления 1 кОм к (+) шины источника питания (гнездо 4).

3.2.1. Вывод 2 соединить перемычкой с общей шиной источника питания.

3.2.2. Вольтметром рV замерить напряжение на выходном выводе (гнездо 3).

3.2.3. Следя за стрелкой вольтметра рV, удалить перемычку и замерить выходное напряжение, (гнездо 3).

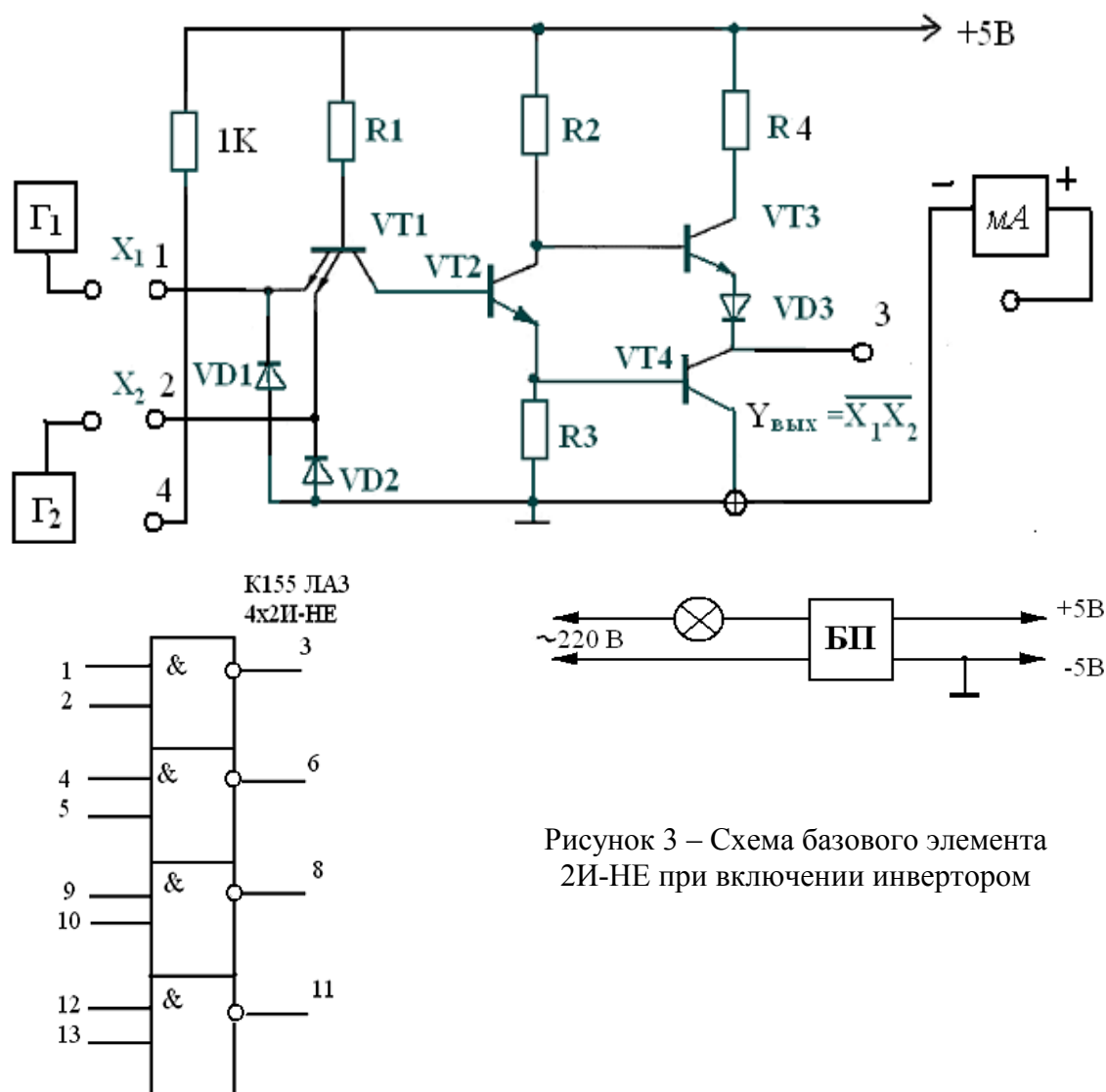


Рисунок 3 – Схема базового элемента 2И-НЕ при включении инвертором

3.2.4. Перемычкой замкнуть вход 1 на землю и замерить уровень напряжения на выходе 3.

3.3. Отключить оба входных вывода элемента, выводы (1 и 2) и замерить напряжения на выходе (гнездо 3).

4. Проверка действия логического элемента 2И-НЕ при включении его инвертором, т.е. как элемента НЕ, для чего:

- 4.1. Замкнуть между собой оба входных вывода (1 и 2) и через резистор сопротивлением 1 кОм соединить их с (+) шины источника питания, (гнездо 4).
- 4.2. Вольтметром μV замерить напряжение на выходе элемента (гнездо 3);
- 4.3. Замкнуть объединенный вход на минусовую шину и замерить напряжение на выходе (гнездо 3).

5. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Краткое описание логической микросхемы К155ЛА3.
3. Принципиальную схему лабораторного стенда.
4. Результаты эксперимента и вывод по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Базовый элемент транзисторно-транзисторной логики. Его составные части и работа.
2. Выполнение электронных схем на основе базового логического элемента МС серии К155.
3. Что такое логический элемент? Что положено в их основу?
4. Условное и графическое обозначение интегральных микросхем.

Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

1. Цель работы

Исследование характеристик и параметров трехфазных нерегулируемых выпрямителей: нулевой и мостовой схем выпрямления.

2. Теоретическая часть

Блок неуправляемых вентилей, соединенных по схеме, называемой схемой выпрямления, осуществляет в выпрямителе основную функцию выпрямления переменного тока в постоянный. В трехфазных выпрямителях применяется, в основном, нулевая и мостовая схемы выпрямления, а также схема с уравнительным реактором.

Трехфазная нулевая неуправляемая схема выпрямления приведена на рис. 1. Три фазы вторичной обмотки трансформатора соединяются звездой с выводом нулевой точки. Три вентиля анодами присоединяются к трем свободным концам вторичной обмотки. Первичная обмотка может быть соединена как звездой, так и треугольником. Из диаграмм напряжений фаз вторичной обмотки (рис. 1.) видно, что в течение трети периода напряжение одной из фаз выше напряжения двух других.

В эту часть периода ток проводит вентиль, присоединенный анодом к фазе с наибольшим напряжением. Коммутация тока происходит в моменты времени, соответствующие пересечениям положительных полуволн напряжения.

Выпрямленный ток, проходящий через нагрузку R_d , складывается из чередующихся токов ia_1 , ia_2 , ia_3 (рис.1).

Мостовая неуправляемая схема выпрямления показана на рис. 2. и включает трехфазный трансформатор и шесть вентилях. Вентили 1,3,5 образуют катодную группу, в которой электрически связанные катоды относятся к положительному полюсу системы. Вентили 2,6,4 образуют анодную группу, общая точка которой является отрицательным полюсом системы.

В катодной группе, в течение трети периода, работает вентиль с наиболее высоким потенциалом анода, а в анодной группе работает тот вентиль, у которого катод имеет наибольший отрицательный потенциал.

Чередование работы различных вентилях показано на рис. 2 (временные диаграммы).

Кривая выпрямленного напряжения (рис. 2) характерна тем, что частота его пульсаций в шесть раз больше частоты питающего напряжения.

3. Описание лабораторной установки

Принципиальная электрическая схема установки приведена на рис. 3. и содержит:

- блок трансформаторов (ТР), во вторичных цепях которых включены дроссели (Др), имитирующие индуктивности рассеяния обмоток трансформаторов, которые можно закорачивать тумблерами X_{La} , X_{Lb} , X_{Lc} ;
- блок нагрузки, содержащий индуктивную L_d и активную R_d сопротивления;
- измерительные цепи, содержащие прибор "I1" для измерения тока в фазе, "U2" для измерения фазного или линейного напряжения путем переключения тумблера "S2", "I2" с кнопкой X_2/X_1 для измерения тока во вторичной цепи "Ia"—для измерения постоянного тока в цепи выпрямителя, "Id", "Ud" для измерения постоянного тока и напряжения в нагрузке;
- устройство коммутации с тумблерами X_{La} , X_{Lb} , X_{Lc} для включения индуктивности в фазах А,В,С, тумблеров "S7" и "S8" для подключения индуктивной и активной нагрузки, при этом переключение величины активного сопротивления осуществляется переключателем "Rн". Для включения осциллографа используются гнезда "1-2", "3-4", "5-6", "7-8", "9-10", "11", "I2", "Ud" и "I";
- клеммную плату для подключения исследуемых модулей (трехфазный выпрямитель с нулевой точкой (рис. 4) и трехфазный мостовой выпрямитель (рис. 5).

Установка подключается к трехфазной сети переменного тока частотой 50Гц напряжением 380В при помощи переключателя "Сеть" (ПП1) (при этом загораются лампочки Н1-Н3).

4. Программа работы и порядок ее выполнения

4.1. Подготовка установки к работе.

4.1.1. Исходное состояние:

- установить выключатель "Сеть" в положение "Выкл" (горизонтальное положение);

- установить все тумблеры в положение "Выкл" (вниз), а переключатель R_n в крайнее правое положение (холостой ход).

4.1.2. Подключить к сборным клеммам установки исследуемый модуль (трехфазный выпрямитель с нулевой точкой).

4.2. Снять внешнюю характеристику выпрямителя, т.е. зависимость напряжения на нагрузке U_d от тока нагрузки I_d для чего:

- включить переключатель ПП1 "Сеть";
- включить переключатель В8;
- изменяя значение I_d путем установки переключателя K_n в трёх положениях (правом, среднем и левом), снять значение

U_d , а также значения U_2, I_2, I_a, I_1 . Данные занести в таблицу 1.

4.3. Наблюдать формы кривой:

4.3.1. Выпрямленного напряжения U_d при холостом ходе, для чего:

- переключатель R_n (В8) установить в крайнее правое положение;
- подключить осциллограф к гнездам " U_d " и корпусу;
- включить тумблер S8.

Таблица 1

I_d	U_d	I_a	I_2	I_1	U_2

4.3.2. Выпрямленного напряжения U_d при номинальном токе нагрузки, для чего переключатель R_n (В8) установить в крайнее левое положение. На осциллографе С1-55 установить: усилитель У1 - ручку "вольт/дел." в положение "2", ручку длительность "время/деление" в положение 1мс., синхронизация: "внутр.1" ручками "уровень" и "стаб" засинхронизировать осциллограмму.

Замерить: f_{Π} - частоту пульсаций, U_d - постоянное напряжение (рис.1 в). Замерить ток фазы, для чего: R_n - левое положение, осциллограф подключить к точкам 3, 4, ручку "вольт/дел." - положение 0,02" (рис.1 г-е). Тумблерами X_{La} , X_{Lb} , X_{Lc} наблюдать изменение формы кривой тока фазы.

Замерить обратное напряжение на диоде, для чего:

осциллограф подключить к точкам 4,11, ручку "вольт/дел." - в положение "5", замерить осциллографом величину $U_{обр}$.

4.3.3. Повторить пункты 2,3 для второго модуля.

5. Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Краткое описание принципа работы схем выпрямления.
3. Принципиальную схему установки с перечнем оборудования и приборов, использованных в работе. Принципиальные схемы исследуемых выпрямителей.

4. Таблицы с экспериментальными данными, отношения напряжений и токов U_d/U_2 , I_a/I_d , I_2/I_d , I_1/I_d и осциллограммы с объяснениями. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Вольт-амперная характеристика и физические процессы, происходящие в полупроводниковом диоде.
2. Принцип действия нулевой схемы выпрямления.
3. Принцип действия мостовой схемы выпрямления.
4. Параметры и характеристики статических выпрямителей.

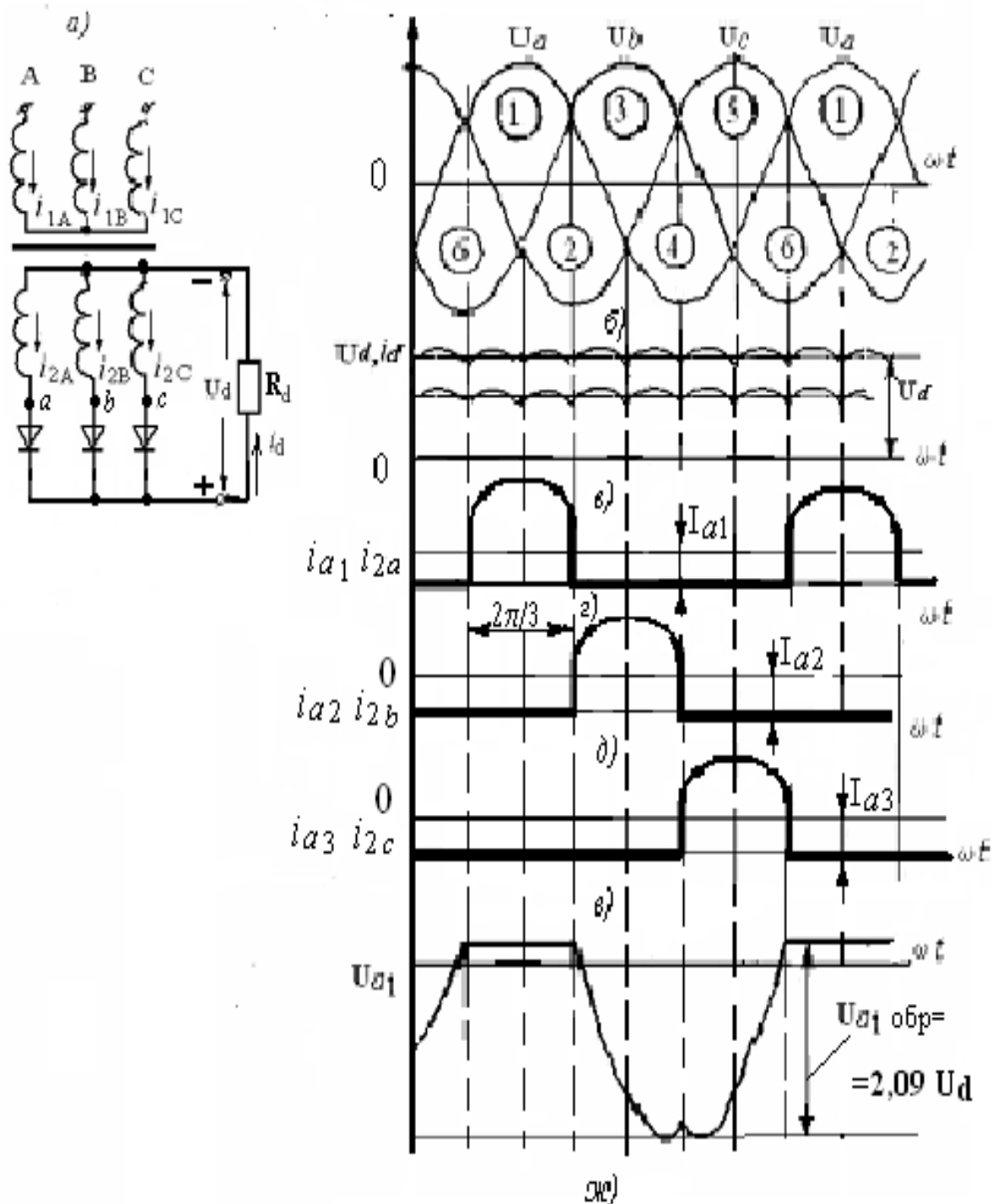


Рисунок 1 - Трехфазная нулевая неуправляемая схема выпрямления

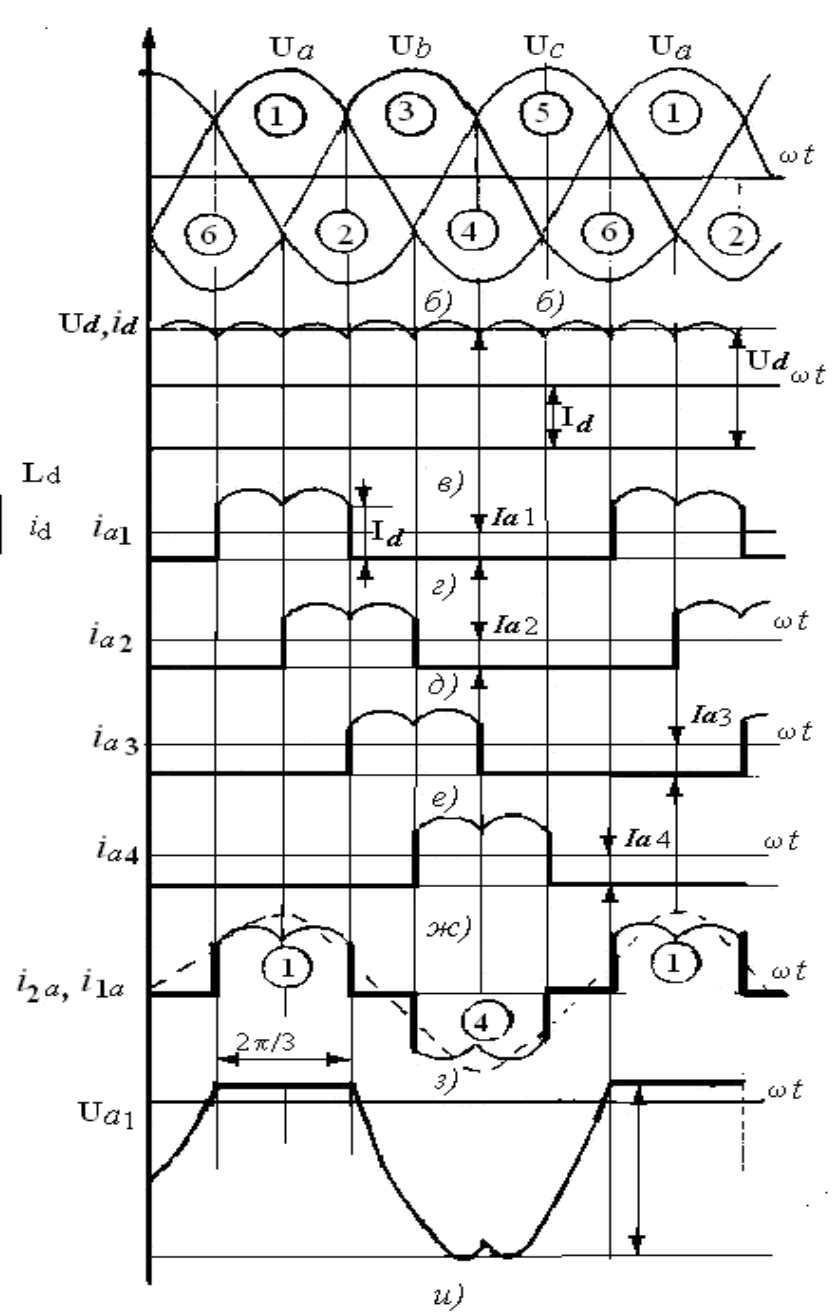


Рисунок 2 - Мостовая неуправляемая схема выпрямления

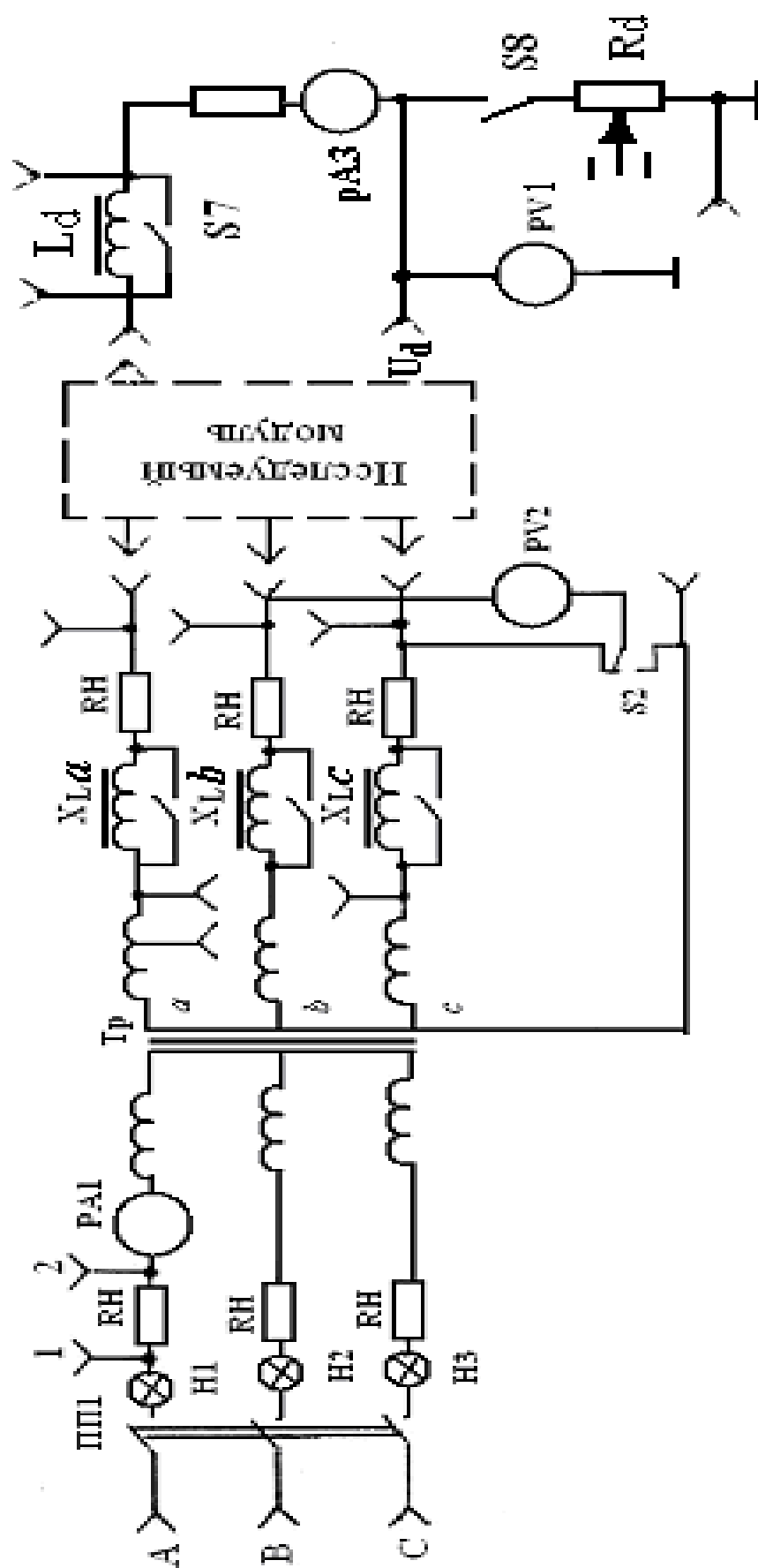


Рисунок 3 - Принципиальная электрическая схема испытательной установки

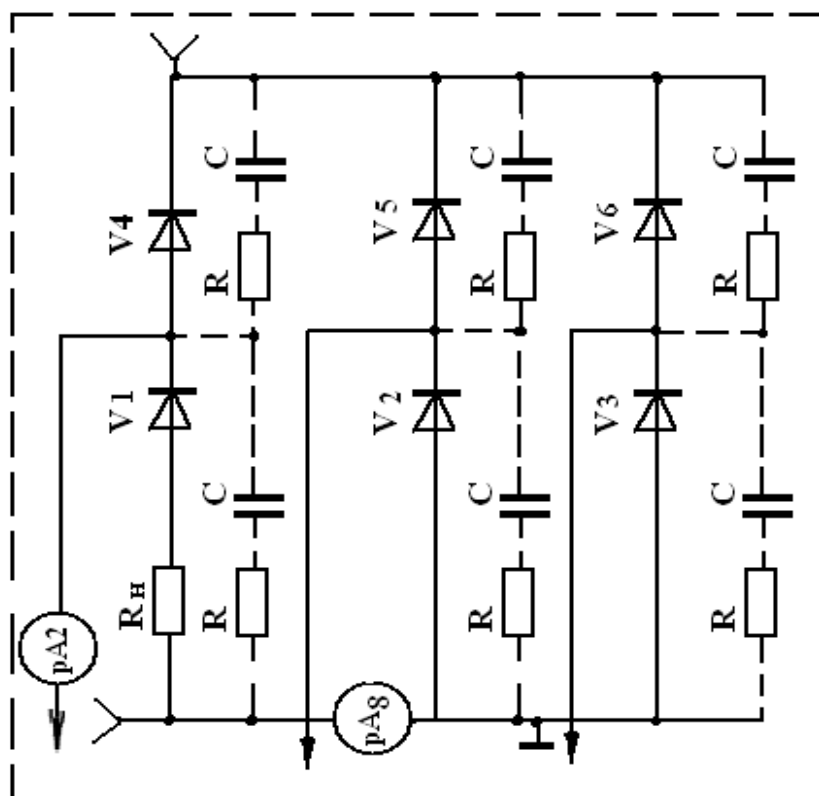


Рисунок 5 - Клеммная плата для подключения исследуемого трехфазного мостового выпрямителя

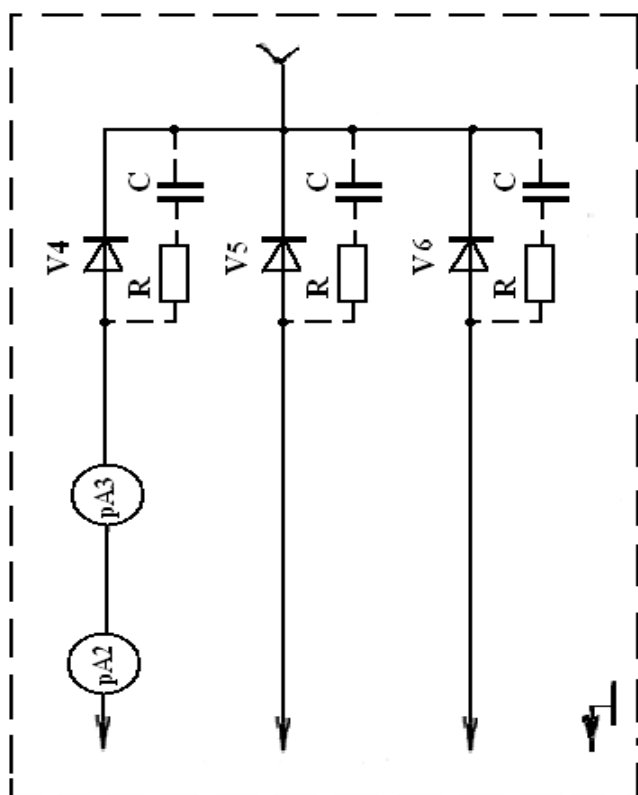


Рисунок 4 - Клеммная плата для подключения исследуемого трехфазного выпрямителя с нулевой точкой

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воскобович В.Ю. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных средств / В.Ю. Воскобович, Т.Н. Корнилова, В.А. Павлова. – СПб.: «Элмор», 2001.–384 с.
2. Данилов А.И. Общая электротехника с основами электроники /И.А. Данилов, П.М. Иванов.- М.: Высш. Шк., 2000.-752 с.
3. Судовая электротехника и электроника / Под ред. Д.В. Вилесова – Л.: Судостроение, 1985. – 312 с.
4. Правила классификации и постройки морских судов. Морской Регистр судоходства.– СПб.: Регистр РФ, 2001. – 843 с.
5. Скаржепа В.А. Электроника и микросхемотехника/ В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко.– Киев: Высш. шк., 1989.– 431 с.
6. Тулин М. Справочное пособие по цифровой электронике / М. Тулии. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
7. Федорко П.П. Электроника на судах / П.П. Федорко. – М.: Транспорт, 1976. – 192 с.
8. Электротехника и основы электроники / Под ред. В.Г. Герасимова – М.: Высш. шк., 1999. – 452 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Образец бланка титульного листа к контрольной работе)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Морской институт

ОТЧЕТ
по
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № ____

(тема лабораторной работы)
по дисциплине «Общая электротехника и электроника»

Студент _____

Группа _____

Дата выполнения _____

Проверил _____

Севастополь

**Конева Светлана Андреевна
Цалоев Владимир Муратович**

**ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭЛЕКТРОНИКА**

*Методические указания
к лабораторным работам*

В авторской редакции

Изд. № 164/19. Объём 2,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет"