

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

Методические указания
для выполнения лабораторных работ
по дисциплине

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА



Часть 1

Казань 2015 г.

УДК 621.3.011(07)

ББК 31.21 Р

Методические указания составлены Зиганшиным Б.Г., Лукмановым Р.Р., Дмитриевым А.В., Лушновым М.А., Халиуллиным Д.Т.

Рецензенты:

Профессор кафедры «Процессы и аппараты» Казанского национального исследовательского технологического университета, д.т.н. Н.Х. Зиннатуллин

Доцент кафедры каф. эксплуатации машин и оборудования Казанского государственного аграрного университета, к.т.н. Н.Ф. Вафин.

Рассмотрено и одобрено:

Решением заседания кафедры машин и оборудования в агробизнесе Казанского ГАУ (протокол № 8 от 5 февраля 2015 г.)

Решением методической комиссии ИМ и ТС Казанского ГАУ (протокол № 7 от 16 февраля 2015 г.)

Зиганшин Б.Г., Лукманов Р.Р., Дмитриев А.В., Лушнов М.А., Халиуллин Д.Т. Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроника». Ч.1. - Казань: Изд-во Казанск. ГАУ, 2015. – 36 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроника» студентами бакалавриата очной и заочной форм обучения по направлению 35.03.06 – «Агроинженерия».

Изучение дисциплины «Электротехника и электроника» формирует элементы следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВПО и ООП по данному направлению подготовки: ПК – 1, ПК – 3, ПК - 5.

УДК 621.3.011(07)

ББК 31.21 Р

©ФГБОУ ВПО Казанский государственный аграрный университет, 2015 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Лабораторная работа № 1. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с одним источником питания.....	4
Лабораторная работа №2. Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания ...	6
Лабораторная работа №3. Исследование режимов работы и методов расчета нелинейных цепей постоянного тока	8
Лабораторная работа №4. Определение параметров и исследование режимов работы электрической цепи переменного тока с последовательным соединением катушки индуктивности, резистора и конденсатора	10
Лабораторная работа №5. Исследование режимов работы линии электропередачи переменного тока при изменении коэффициента мощности нагрузки	13
Лабораторная работа №6. Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей звездой...	16
Лабораторная работа №7. Определение параметров и исследование режимов работы трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник	20
Лабораторная работа №8. Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности	22
Лабораторная работа №9. Определение параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом и при наличии воздушного зазора в магнитопроводе	25
Лабораторная работа №10. Определение параметров и основных характеристик однофазного трансформатора	27
Лабораторная работа №11. Исследование асинхронного трехфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором	31
Литература.	36

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

1 Цель работы

1.1 Ознакомление с приемами и погрешностями измерения токов, напряжений и сопротивлений с помощью амперметра и вольтметра.

1.2 Закрепление навыков расчета линейных электрических цепей с одним источником питания.

1.3 Исследование мостовой цепи постоянного тока с резистивным датчиком.

ВНИМАНИЕ! При выполнении данной и всех последующих работ все выключатели неиспользуемые в работе должны быть выключены.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема питания ЛАТРа TV2 (тумблер SA3 устанавливается в верхнее положение – включено, тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа в положение «0-100В»). Тумблер SA11 должен находиться в верхнем положении.

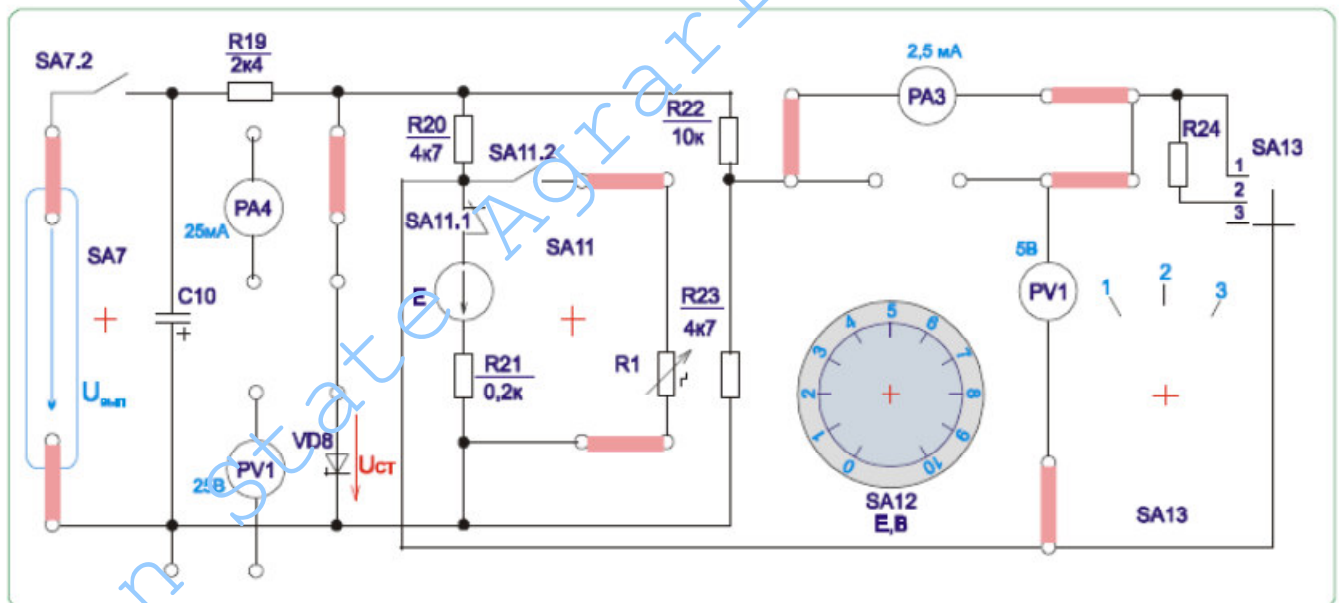


Рисунок 1.1 – Электрическая схема

Напряжение на выходе ЛАТРа регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10 В и правый – с шагом 1 В. При этом левый переключатель имеет рабочие положения «0», «10», «20», а правый работает во всех положениях. Напряжение на выходе ЛАТРа устанавливается таким, чтобы стабилитрон VD8 вошел в режим стабилизации (при по-вольтном увеличении $U_{\text{вых}}$ ЛАТРа, напряжение на PV1 мало изменяется).

Измерительный мост включается тумблером SA7.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОСТА

$$R_{20} = 4,7 \text{ к}\Omega ;$$

$$R_{22} = 10,0 \text{ к}\Omega ;$$

$$R_{23} = 4,7 \text{ к}\Omega ;$$

$U_{\text{ст}}$ – измерить тестером.

Внимание! При измерении $U_{\text{ст}}$ вольтметр $V1$ и миллиамперметр $A3$ в схеме после моста должны быть отключены.

2 Основные теоретические соотношения.

2.1 Условие равновесия моста постоянного тока определяется из соотношения:

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

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

При значении тока $I_3 = 0$.

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

$$R_{24} = \frac{U_1}{I_3}.$$

2.3 Рассчитать значение выходного напряжения $U_{\text{вых.}}$ моста постоянного тока можно, используя метод эквивалентного генератора:

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

где
$$I_3 = \frac{U_{\text{х.х.}}}{R_{24} + R_{\text{в.з.}}}$$

$U_{\text{х.х.}}$ – напряжение холостого хода при разомкнутом резисторе R_{24} (SA13 в положении «3»);

$R_{\text{в.з.}}$ - сопротивление относительно точек разрывамоста при закороченном источнике входного напряжения.

2.4 $R_{\text{в.з.}}$ можно определить экспериментально.

2.4.1 Переключателем SA13 устанавливается режим холостого хода (поз. «3») и вольтметром $PV1$ измеряется напряжение $U_{\text{х.х.}}$.

2.4.2 Переключателем SA13 устанавливается режим короткого замыкания (поз. «1») и амперметром PA3 измеряется ток $I_{\text{к.з.}}$;

2.4.3 Определяют $R_{\text{в.з.}}$:

$$R_{\text{в.з.}} = \frac{U_{\text{х.х.}}}{I_{\text{к.з.}}}.$$

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Изучить схему измерительного моста.

3.2 При максимальном рассогласовании моста с помощью вольтметра и амперметра определить величину сопротивления резистора R_{24} .

3.3 Снять экспериментальную зависимость $U_{\text{вых}} = f(R_1)$.

3.4 Методом эквивалентного генератора рассчитать величину выходного напряжения моста при R_1 заданном преподавателем и сопоставить с экспериментальными данными. Оценить погрешность.

3.5 Экспериментально определить напряжение $U_{\text{хх}}$ и сопротивление $R_{\text{кз}}$ исследуемой схемы относительно точек подключения сопротивления R_{24} . Сравнить полученные значения с расчётными по п. 3.4.

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ДВУМЯ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ

1 Цель работы

1.1 Закрепление на практике основных методов расчета цепей постоянного тока с несколькими источниками постоянного напряжения.

1.2 Исследование моста постоянного тока с генераторным датчиком.

Для выполнения лабораторной работы используется схема, приведенная упрощенно на рисунке 2.1. Вместо резистора R_1 включается тумблером SA_{11} источник E [тумблер SA_{11} должен находиться в нижнем положении]. Полная схема приведена на рисунке 1.1.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема питания ЛАТРа TV2 (тумблер SA_3 устанавливается в верхнее положение – включено, тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа в положение «0-100В»). Тумблер SA_{11} должен находиться в верхнем положении.

Напряжение на выходе ЛАТРа регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый – с шагом 1В. При этом левый переключатель имеет рабочие положения «0», «10», «20», а правый работает во всех положениях. Напряжение на выходе ЛАТРа устанавливается таким, чтобы стабилитрон VD8 вошел в режим стабилизации (при по-вольтном увеличении $U_{\text{вых}}$ ЛАТРа, напряжение на PV1 мало изменяется). Измерительный мост включается тумблером SA_7 .

Величину ЭДС источника E устанавливают с помощью переключателя E , где деления указаны в вольтах.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОСТА:

$$R_{20} = 4,7 \text{ к}\Omega ;$$

$$R_{22} = 10 \text{ к}\Omega ;$$

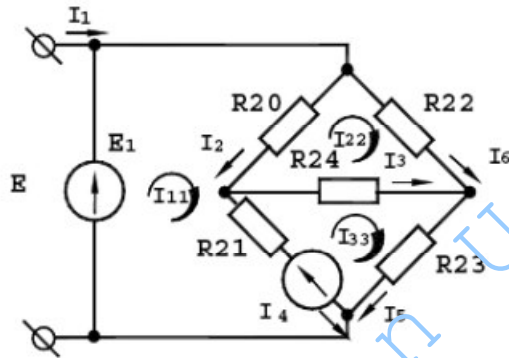
$$R_{23} = 4,7 \text{ к}\Omega ;$$

$$R_{21} = 200 \text{ к}\Omega ;$$

$$U_{A\dot{O}} = E_1 = U_{N\dot{O}} = 16 \text{ В}.$$

2 Основные теоретические соотношения

2.1 Метод контурных токов (рисунок 2.1).



I_{11} , I_{22} , I_{33} – контурные токи; I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 , I_6 – токи ветвей

Рисунок 2.1 – Упрощенная электрическая схема

Система уравнений для расчета контурных токов:

$$I_{11} \cdot (R_{20} + R_{21}) - I_{22} R_{20} - I_{33} R_{21} = E_1 - E,$$

$$I_{22} \cdot (R_{20} + R_{24} + R_{22}) - I_{11} R_{20} - I_{33} R_{24} = 0,$$

$$I_{33} \cdot (R_{21} + R_{23} + R_{24}) - I_{22} R_{24} - I_{11} R_{21} = E.$$

Решив систему уравнений и определив значение контурных токов, определяют значение тока I_3 :

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

Выходное напряжение моста:

$$U_{A\dot{O}} = I_3 \cdot R_{24} \text{ (} R_{24} \text{ из лабораторной работы №1)}.$$

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1. Методом контурных токов рассчитать величину выходного напряжения моста при значении электро-движущей силы ЭДС E , равном E_{max} , или при заданном преподавателем.

3.2. Снять экспериментально зависимость $U_{\text{вых}} = f(E)$, сопоставить $U_{\text{вых}}$ для заданного E с расчетным.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1 Цель работы

1.1 Ознакомление со свойствами и характеристиками стабилитронов.

1.2 Изучение принципа действия и исследование характеристик параметрического стабилизатора напряжения.

Для выполнения лабораторной работы используется схема, приведенная на рисунке 3.1. Для выполнения лабораторной работы собирается схема питания ЛАТРа *TV2* (тумблер *SA3* устанавливается в верхнее положение – включено, тумблер переключения пределов регулирования напряжения ЛАТРа в положение «0-100В»). Тумблер *SA11* должен находиться в верхнем положении.

Напряжение на выходе ЛАТРа регулируется двумя переключателями: левый – с шагом 10В и правый – с шагом 1В. При этом левый переключатель имеет рабочие положения «0», «10», «20», а правый работает во всех положениях. Исследуемая схема включается тумблером *SA7*. Исследуемым нелинейным элементом является стабилитрон *VD8*.

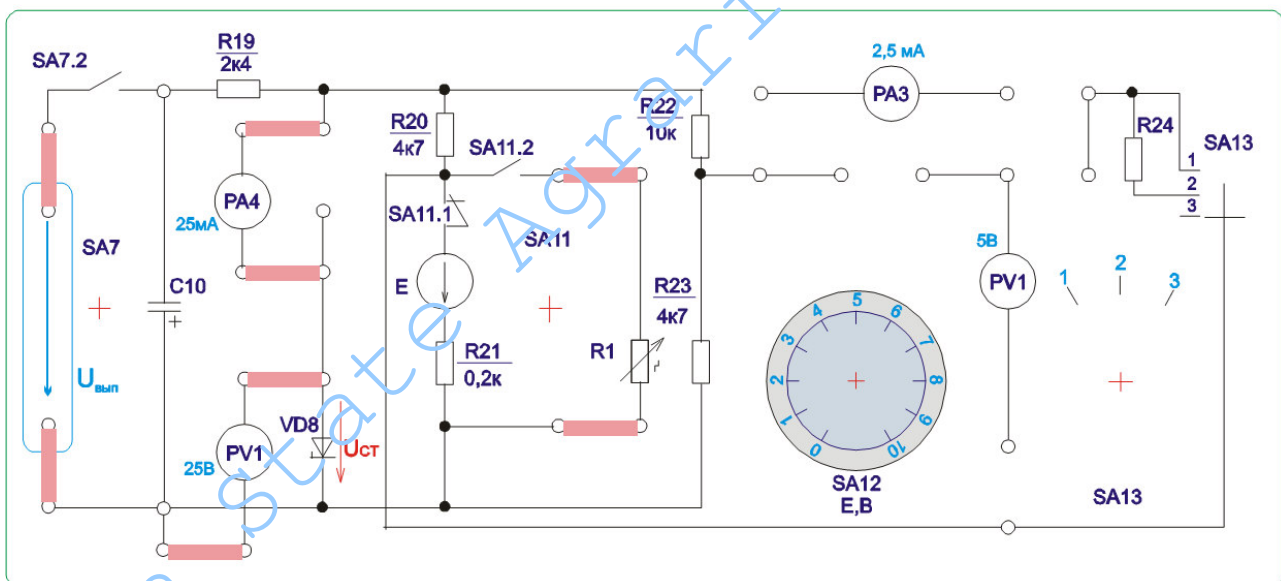


Рисунок 3.1 – Электрическая схема

Нагрузкой стабилитрона является измерительный мост постоянного тока и изменяется она путем изменения величины сопротивления переменного резистора *R1* (Ключ *SA11* устанавливается в верхнее положение).

Для выполнения расчетов по работе задано:

а) тип стабилитрона *Д814А* – установлены два последовательно.

Паспортные данные:

$$U_{\text{НО.}} = 7,75\text{В};$$

$$\Delta U_{\tilde{N}\tilde{O}} = 0,75\hat{A};$$

$$r_{\tilde{N}\tilde{O}} = 6\hat{\Omega};$$

$$I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{A}\tilde{O}} = 40mA;$$

$$I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{E}\tilde{I}} = 3mA.$$

б) Сопротивление резисторов

$$R19 = 1,5\hat{\Omega};$$

$$R20 = 4,7\hat{\Omega};$$

$$R22 = 10\hat{\Omega};$$

$$R23 = 4,7\hat{\Omega}.$$

2 Расчет значения эквивалентного сопротивления нагрузки $R_{н.экв.}$

При расчете сопротивления $R_{н.экв.}$ сопротивление резистивного датчика $R1$ выбирается по усмотрению преподавателя в пределах от 0 до 10 кОм /тумблер SA11 должен находиться в верхнем положении/.

2.1 Значение сопротивления нагрузки $R_{н.экв.}$ определяют по формуле: (рисунок 3.1):

$$R_{\tilde{I}\tilde{Y}\tilde{E}\tilde{A}} = \frac{(R20 + R1)(R22 + R23)}{R20 + r1 + R22 + R23}.$$

2.2 Расчет динамического сопротивления стабилитрона R_d :

$$R_{\tilde{A}} = \frac{U_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{A}\tilde{O}} - U_{\tilde{N}\tilde{O}}}{I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{A}\tilde{O}} - I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{E}\tilde{I}}},$$

где значения $U_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{A}\tilde{O}}$, $U_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{E}\tilde{I}}$, $I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{A}\tilde{O}}$, $I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{E}\tilde{I}}$, определяются по справочнику.

2.3 Балластное сопротивление параметрического стабилизатора определяют из соотношения:

$$R_{\tilde{A}} = R19 = \frac{U_{\tilde{A}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{A}\tilde{O}} - U_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{E}\tilde{I}}}{I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{A}\tilde{O}} + I_{\tilde{N}\tilde{O},\tilde{L}\tilde{E}\tilde{I}}}.$$

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Изучить принцип действия параметрического стабилизатора напряжения и электрическую схему включения стабилитрона на стенде совместно с управляемым выпрямителем и мостовой измерительной схемой без $R24$ в качестве нагрузки.

3.2 Рассчитать значение эквивалентного сопротивления нагрузки $R_{I.\tilde{Y}\tilde{E}\tilde{A}}$ для $R1$ от 0 до 10 кОм.

3.3 Рассчитать $U_{вх.мин}$ с заданными $R_{\tilde{A}} = R19 = 1,5\hat{\Omega}$ и $R_{н.мин}$, при котором параметрический стабилизатор не выходит из режима стабилизации.

Определить $U_{\text{вх.экспер.}}$ экспериментально и $U_{\text{ст.экспер.}}$. Напряжение $U_{\text{вх}}$ измерить тестером.

3.4 Снять экспериментально зависимость $U_{\text{вых.}} = f(U_{\text{вх.}})$ и $I_{\text{ст.}} = f(U_{\text{вх.}})$ при $R_{\text{н.}} = \text{const.}$ Определить $I_{\text{ст.мин}}$ экспериментально. Рассчитать $U_{\text{вх.мин}}$ для $I_{\text{ст.мин}}$ экспер. – сопоставить с измеренным.

3.5 Снять экспериментально зависимость $U_{\text{вых.}} = f(R_{\text{н.}})$, при $U_{\text{вх.мин.}}$. Для более точного построения зависимости взамен прибора PV1 можно использовать цифровой тестер.

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ, РЕЗИСТОРА И КОНДЕНСАТОРА

1 Цель работы

1.1 Определение параметров схемы замещения индуктивной катушки с магнитопроводом.

1.2 Изучение основных режимов работы электрической цепи при последовательном соединении R , L , C .

1.3 Изучение методов построения векторных диаграмм напряжений и токов.

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

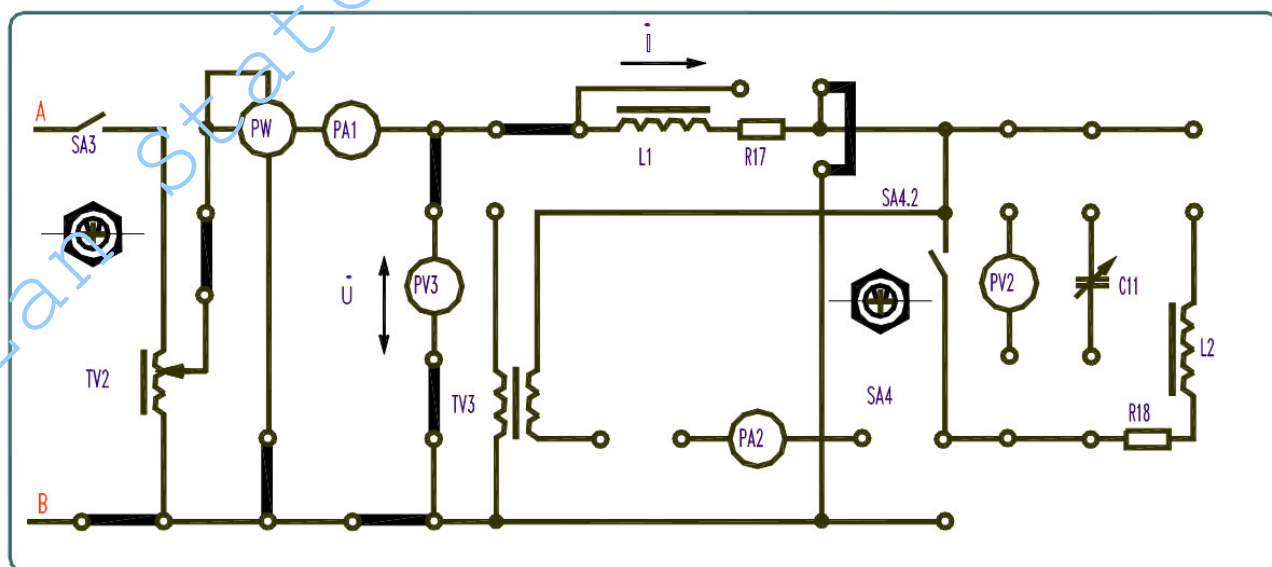


Рисунок 4.1 – Электрическая схема последовательного соединения R и L

Для номинального режима ($I_{н.} = 0,8A$) определяют параметры схемы замещения катушки индуктивности: $L1$ и $R_{к1}$. При этом номинальный ток катушки устанавливается путем изменения напряжения автотрансформатора $TV2$.

Для номинального режима определяют величину емкости C_{11} , при которой будет наблюдаться резонанс напряжения, и собирают схему, приведенную на рисунке 4.2. Рассчитанную емкость конденсатора устанавливают путем коммутации тумблеров в магазине емкостей.

Исследуют режим работы цепи, изменяя величину C_{11} , и строят зависимость $I11=f(C11)$ и $\cos\varphi=f(C11)$

$$I_1 = F(C_{11}) \text{ и } \cos\varphi = F(C_{11}).$$

2 Основные теоретические соотношения

2.1 Определение параметров схемы замещения катушки индуктивности.

В номинальном режиме $I_{н.} = 0,8A$ снимают показания приборов:

$PA1$ – ток через катушку,

$PW2$ – активная мощность, потребляемая катушкой $L1$,

$PV3$ – напряжение на катушке $L1$.

Зная показания приборов, определяют значение параметров схемы замещения катушки:

$$R_{\Sigma} = \frac{P}{I_i^1}; \quad Z_{\Sigma} = \frac{U}{I_i}; \quad L = \frac{X_{K1}}{2\pi f}; \quad X_{K1} = \sqrt{Z_{\Sigma}^2 - R_{\Sigma}^2}$$

$$R_{K1} = R_{\Sigma} - R_{17}; \quad Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2};$$

где $R_{17} = 17 \text{ Ом}$

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

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

$$X_{K1} = X_{\tilde{N}_{11}};$$

$$\text{где } X_{\tilde{N}} = \frac{1}{2\pi f \tilde{N}_{11}}.$$

Таким образом,

$$\tilde{N}_{\tilde{N}_{11}} = \frac{1}{2\pi f X_{K1}}.$$

При резонансе сопротивление чисто активное поэтому ток в цепи:

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

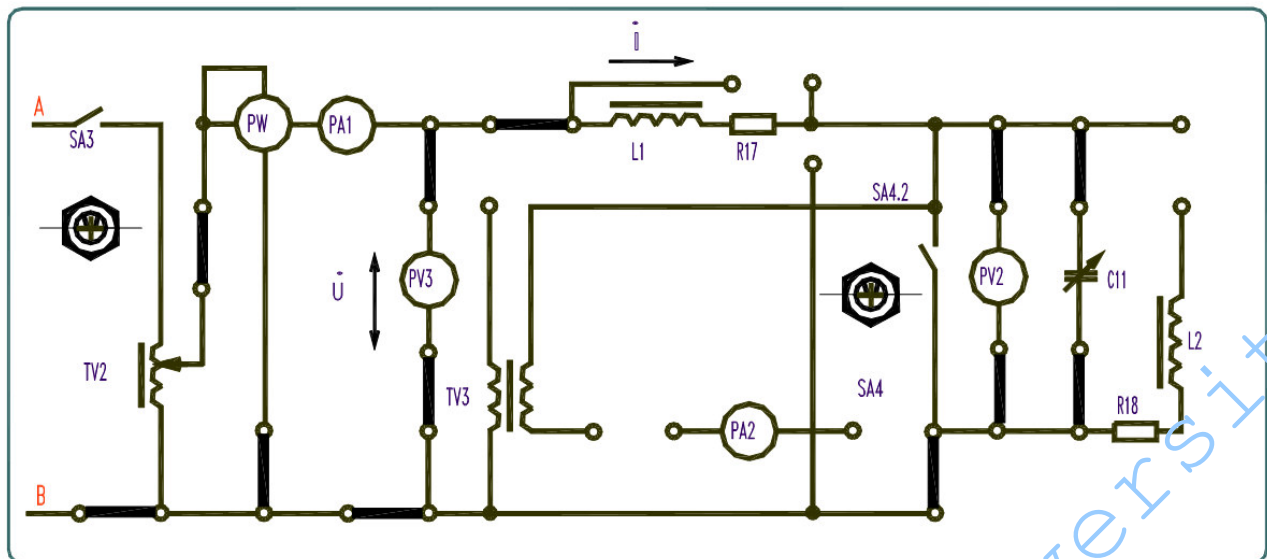


Рисунок 4.2 – Электрическая схема последовательного соединения R, L и C

2.3 Определение расчетным путем значений $\cos\varphi$ и тока в цепи при максимальном значении емкости конденсатора C11.

Значение $C_{11\max} = 63 \text{ мкФ}$ при всех замкнутых выключателях.

Ток в цепи:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_z^2 + (X_{K1} - X_{\tilde{N}_{11\max}})^2}} = \frac{U}{Z};$$

где $X_{\tilde{N}_{11\max}} = \frac{1}{2\pi f C_{11\max}};$

Z - полное сопротивление.

Коэффициент мощности цепи:

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

Пример построения векторной диаграммы цепи при активно-индуктивном характере цепи дан на рисунке 4.3.

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Собрать на стенде схему для расчета параметров схемы замещения катушки индуктивности L1 и Rk1 и для номинального режима работы ($I_n = 0,8 \text{ A}$) определить значения этих параметров.

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

3.3 Рассчитать напряжение $U_{\min}$, при котором в режиме резонанса напряжений ток в цепи I не превысит $0,8 \text{ A}$.

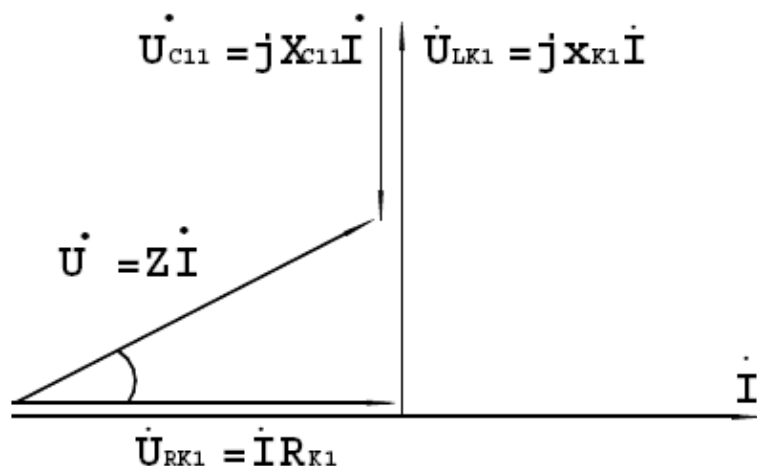


Рисунок 4.3 – Векторная диаграмма напряжений и тока

3.4 Проверить экспериментально расчеты по п.п. 3.2., 3.3.

ВНИМАНИЕ! Прежде чем устанавливать $C_{рез.}$ необходимо установить U меньше чем по п.3.3. напряжение U_{min} и затем постепенно довести до расчетного.

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3.5 Определить расчетным путем значение $\cos\varphi$ и тока I в цепи при максимальном значении емкости конденсатора.

3.6 Снять зависимости $I = f(C_{11})$ и $\cos\varphi = f(C_{11})$, при U_{3min} .

3.7 Для одного из режимов работы цепи построить векторную диаграмму напряжений и тока.

Лабораторная работа №5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ

1 Цель работы

1.1. Изучение эксплуатационных характеристик линии электропередачи переменного тока.

1.2. Экспериментальное определение параметров нагрузки.

1.3. Исследование режимов работы ЛЭП при изменении коэффициента мощности нагрузки.

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

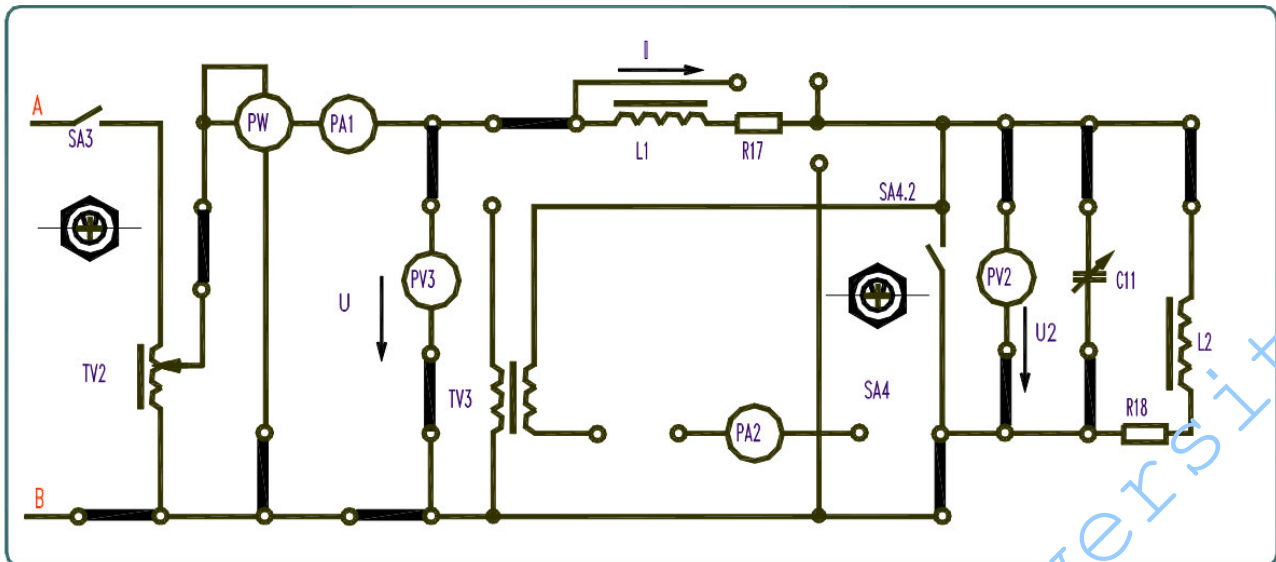


Рисунок 5.1 – Электрическая схема ЛЭП

Закоротив условно представленную ЛЭП ($L1$, $R17$) определяют параметры катушки $L2$, сопротивление $R18$ и $\cos\varphi$ для номинального режима $U_{2н} = 110В$ (схема на рисунке 5.2.).

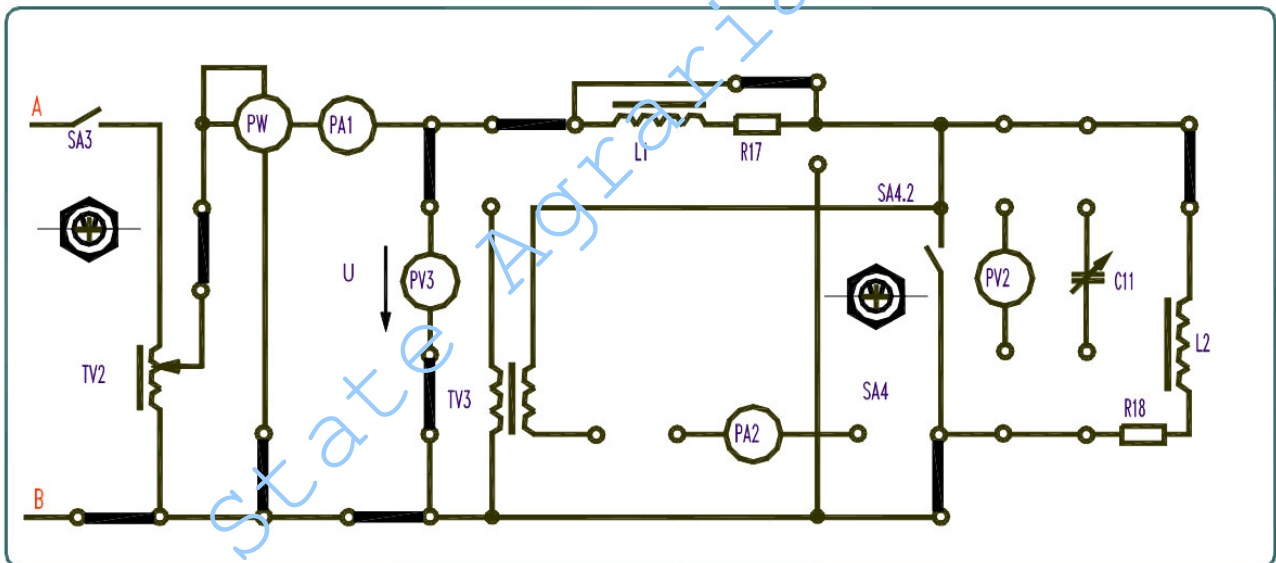


Рисунок 5.2 – Электрическая схема условно закороченной ЛЭП

Рассчитывают величину емкости $C11$ для повышения коэффициента мощности нагрузки до заданного преподавателем значения, а также для выполнения условия резонанса токов и проверяют экспериментально.

2 Основные теоретические соотношения

2.1 Определение сопротивлений нагрузки для ЛЭП.

При расчете сопротивлений нагрузки (R_{18} , X_2) необходимо зашунтировать перемычкой ЛЭП ($L1$, $R17$), установить автотрансформатором $TV2$ номинальное напряжение $U_H = 110\text{В}$ и снять показания приборов $PW2$ и $PA1$.

$$R_{18} \frac{P}{I^2}; \quad Z_{L2} = \frac{U_{2H}}{I}; \quad L = \frac{X_{L2}}{2\pi f}; \quad X_{L2} = \sqrt{Z_{L2}^2 - R_{18}^2}.$$

2.2. Определение коэффициента мощности $\cos\varphi_{2H}$ нагрузки:

$$\cos\varphi_{2H} = \frac{R_{18}}{Z_{L2}}.$$

2.3. Расчет значения емкости C_{11} для повышения $\cos\varphi_2$ до значения $\cos\varphi_{2\text{тр}}$:

$$\tilde{N}_I = \frac{P_2}{\omega U_H^2} (\text{tg}\varphi_{2H} - \text{tg}\varphi_{2\text{тр}}).$$

2.4. Расчет значения емкости C_{11} , при котором в цепи наступит резонанс токов: $b_L = b_C$;

$$b_L = b_C; \quad \frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} = \omega C_{11}; \quad C_{11} = \frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2 \omega}.$$

2.5. Построение графика зависимости $\eta = f(C_{11})$.

Расчет при различных значениях C_{11} необходимо осуществлять по формуле:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_2 \cdot R_{\Sigma}}{U_{2H}^2 \cos\varphi_2}};$$

где значение сопротивления $R_{\Sigma} = R_{17} + R_{K1}$ берется из лабораторной работы №4

$$\cos\varphi = \frac{g}{Y};$$

где g - активная проводимость нагрузки:

$$g = \frac{R_{18}}{Z_{L2}^2};$$

Y - полная проводимость нагрузки:

$$Y = \sqrt{\left(\frac{R_{18}}{Z_{L2}^2}\right)^2 + \left(\frac{X_{L2}}{Z_{L2}^2} - \omega C_2\right)^2};$$

P_2 - активная мощность, потребляемая нагрузкой,

$$P_2 = P - P_1 = P - I^2 \cdot (R_{17} + R_{K1});$$

P – показания ваттметра $PW2$.

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Изучить схему замещения ЛЭП.

3.2 Подключить нагрузку, батарею конденсаторов и необходимые электроизмерительные приборы.

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3.3 Зашунтировав ЛЭП и установив $U_{2н} = 110В$ определить значения сопротивлений нагрузки X_{L2} , R_{18} , а также коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi_{2\partial B}$.

3.4 Определить расчетным путем значение емкости конденсатора C11 для повышения коэффициента мощности нагрузки до значения $\cos \varphi_{2тр}$, заданного преподавателем.

3.5 Изменяя емкость C11 и поддерживая $U_{2н} = 110В$ снять и построить зависимость $\eta = f(\tilde{N}_{11})$.

3.6 Рассчитать значение емкости C_{11} при котором в цепи наступит резонанс токов и проверить на стенде.

Лабораторная работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ

1 Цель работы

1.1 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей звездой.

1.2 Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей звездой.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, приведенная на рисунке 6.1.

В данной лабораторной работе исследуются трехфазные схемы с симметричной, несимметричной и равномерной нагрузками при наличии нейтрального провода и без него.

Для исследования симметричной нагрузки включаются резисторы R37, R39, R40.

Для получения равномерной нагрузки рассчитывают величину емкости C11 из условия:

$$|z_a| = |z_b| = |z_c|.$$

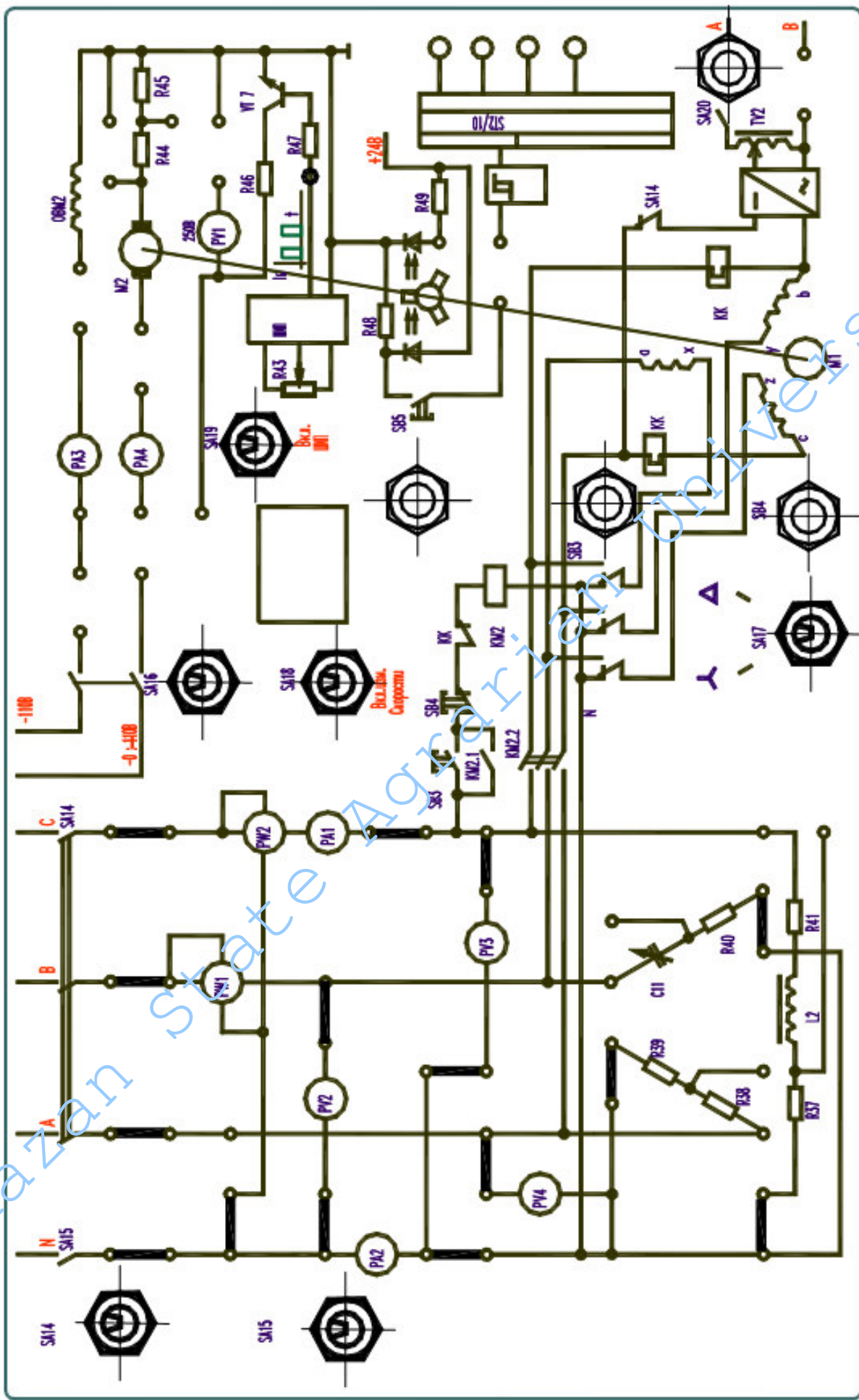


Рисунок 6.1 – Электрическая схема

2 Основные теоретические соотношения

2.1 Исследование симметричной резистивной нагрузки при наличии нейтрального провода.

Для получения симметричной нагрузки:

$$R_{37} = R_{39} = R_{40}.$$

Необходимо переключками замкнуть следующие элементы: R_{38} , C_{11} , L_2 и R_{18} .

Измерить фазные напряжения при помощи вольтметров PV_2 , PV_3 , PV_4 и фазный ток I_1 в фазе «С» при помощи амперметра PA_1 .

Убедиться в отсутствии тока в нейтральном проводе $I_2 = 0$ (PA_2).

Определить значения сопротивлений резисторов R_{37} , R_{39} , R_{40} по Закону Ома:

$$R_{37} = \frac{U_3}{I_1}.$$

Мощность, потребляемую симметричной нагрузкой, определить по формуле:

$$P = 3I_1^2 R_{39}.$$

2.2 Расчет значения емкости C_{11} для получения равномерной нагрузки:

$$Z_a = \sqrt{(R_{40}^2 + X_{N1}^2)}; \quad Z_b = \sqrt{(R_{37} + R_{18})^2 + X_{L2}^2}; \quad Z_c = R_{38} + R_{39}.$$

Приняв $Z_a = Z_b$ определяют значение C_{11} для получения равномерной нагрузки:

$$R_{40}^2 + X_{C11}^2 = (R_{37} + R_{18})^2 + X_{L2}^2;$$

где R_{18} и X_{L2} из лабораторной работы №5.

$$X_{N1} = \sqrt{(R_{37} + R_{18})^2 + X_{L2}^2 + R_{40}^2}.$$

$$\text{Откуда } C_{11} = \frac{1}{\omega X_{N1}}.$$

Значение сопротивления резистора R_{38} определяется из соотношения:

$$R_{38} = Z_c - R_{39}.$$

Т.к. нагрузка в данной фазе носит резистивный характер.

2.3 Исследование равномерной нагрузки без нейтрального провода.

Для выполнения данного пункта отключить нейтральный провод ($I_2 = 0$), а общую точку ваттметров PW_1 , PW_2 подключить к фазе «А».

Набрать рассчитанное значение C_{11} при помощи выключателей.

Разомкнуть переключки, шунтирующие элементы R_{38} , C_{11} , L_2 , R_{41} и таким образом получить равномерную нагрузку.

Измерить фазные напряжения при помощи вольтметров $PV1$, $PV3$, $PV4$ и фазный ток I_I в фазе «С» при помощи амперметра $PA1$.

Убедиться в неравенстве фазных напряжений.

Рассчитать напряжение смещения нейтрали:

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_a + \dot{U}_B \underline{Y}_b + \dot{U}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c};$$

считая: $\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{nN}$; $\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN}$.

Определить токи в фазах

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_a}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_b}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C - \dot{U}_{nN}}{\underline{Z}_c}.$$

Активную мощность, потребляемую нагрузкой, можно определить:

$$P = I_A^2 R_{40} + I_B^2 (R_{37} + R_{18}) + I_C^2 (R_{38} + R_{39});$$

и сравнить ее значение с показаниями ваттметров:

$$P = PW1 + PW2.$$

2.4 Исследование равномерной нагрузки с нейтральным проводом (Общая точка ваттметров - к нейтрали).

В этом случае фазные напряжения:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_b = \dot{U}_c;$$

а фазные токи:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_a}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_b}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_c};$$

причем при равномерной нагрузке:

$$I_A = I_B = I_C;$$

ток в нейтральном проводе:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Исследовать симметричную нагрузку с нейтральным проводом, измерив, фазные токи, напряжения и мощность нагрузки, а также ток в нейтральном проводе.

3.2 Рассчитать сопротивления фаз симметричной нагрузки.

3.3 Рассчитать значения емкости C_{11} и сопротивления резистора R_{38} для обеспечения равномерной нагрузки.

3.4 Равномерная нагрузка без нейтрального провода. Исследовать равномерную нагрузку, измерив, фазные напряжения и мощность нагрузки, без нейтрального провода. Рассчитать напряжение смещения нейтрали и определить токи в фазах А, В, С. Сравнить расчетные и измеренные I_c .

Рассчитать активную мощность потребляемую из сети и сравнить с измеренной.

3.5 Равномерная нагрузка с нейтральным проводом. Исследовать равномерную нагрузку, измерив, фазные напряжения, мощность и ток в нейтральном проводе, подключив его тумблером SA15 (общая точка ваттметров - к нейтрали). Рассчитать комплексные значения токов в фазах А, В, С и определить ток в нейтральном проводе. Сравнить расчетные значения тока с экспериментальными.

Лабораторная работа №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ТРЕУГОЛЬНИК

1 Цель работы

1.1 Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей в треугольник.

1.2 Изучение методов расчета трехфазных цепей при соединении потребителей в треугольник.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, приведенная на рисунке 7.1.

Исследуется работа схемы при равномерной нагрузке.

Строится векторная диаграмма.

2 Основные теоретические соотношения

2.1 Равномерная нагрузка.

На основании расчетов, сделанных в лабораторной работе №6, набрать на стенде равномерную нагрузку. Измерить линейные напряжения и линейный ток, а также снять показания ваттметров $PW1$ и $PW2$.

При равномерной нагрузке: $I_{AB} = I_{BC} = I_{CA}$,

а линейные токи отличаются по значению друг от друга.

Значения линейных токов переделаются по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC};$$

Фазные токи определяют по закону Ома:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{\dot{A}\dot{A}}}; \quad \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{\dot{B}\dot{B}}}; \quad \dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{\dot{C}\dot{C}}}$$

Модуль тока I_C сравнивают со значением измерения.

Рассчитать активную мощность, потребляемую равномерной нагрузкой:

$$P = I_{AB}^2 * R_{40} + I_{BC}^2 (R_{37} + R_{18}) + I_{CA}^2 (R_{38} + R_{39})$$

и сравнить ее с результатами измерения ваттметра $PW1$, $PW2$:

$$P = PW1 + PW2, \text{ где } P - \text{показания прибора.}$$

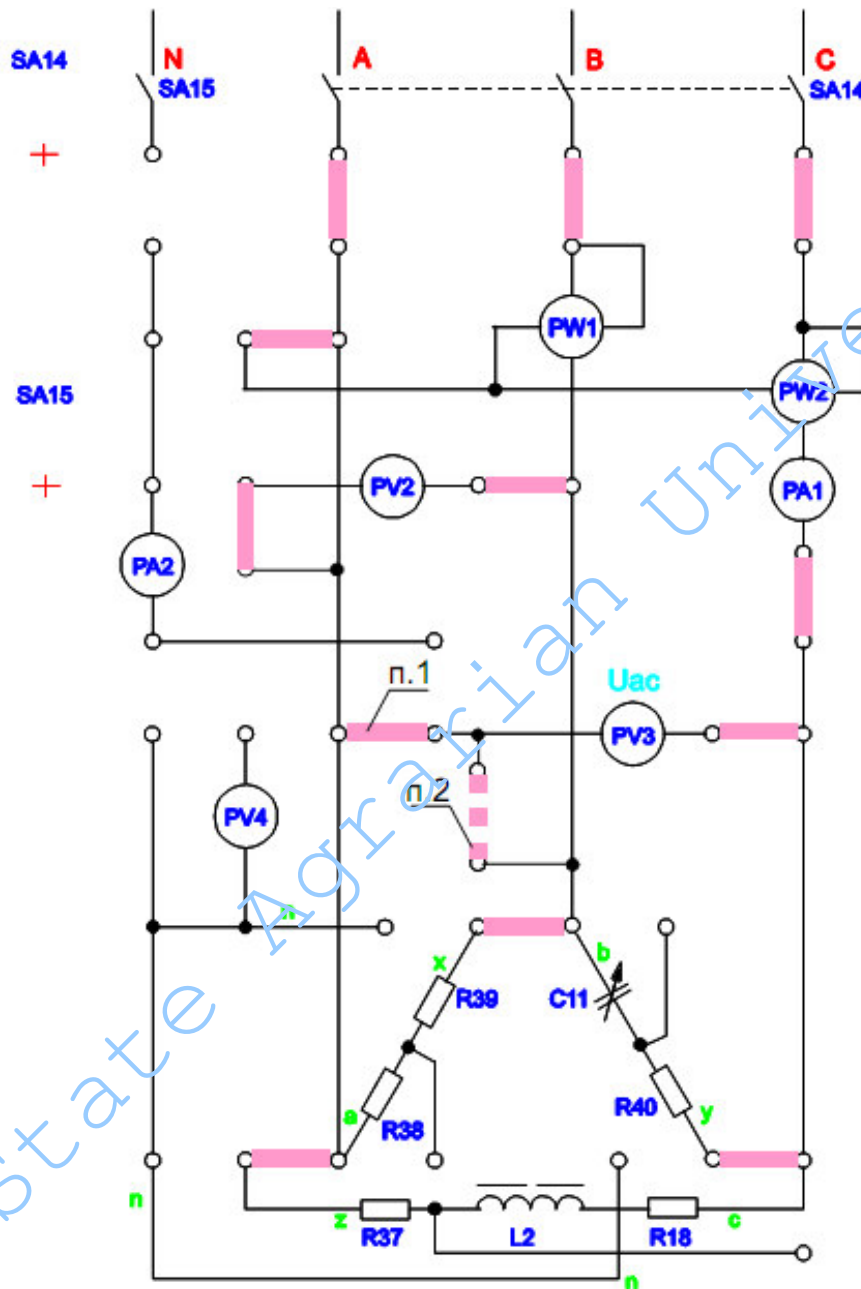


Рисунок 7.1 – Электрическая схема

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1. Установить равномерную нагрузку во всех трех фазах.

Измерить активную мощность нагрузки и линейный ток в линии С нагрузки. Напряжение U_{ab} измерить прибором $PV2$, напряжение U_{bc} , U_{ac} измерить прибором $PV3$, устанавливая перемычку п.2 для измерения U_{bc} либо п.1 для измерения U_{ac} .

3.2. Рассчитать комплексные значения фазных токов и определить линейный ток в линии С. Рассчитать активную мощность потребителя. Результаты вычислений сравнить с экспериментальными данными.

3.3. Построить векторную диаграмму.

Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ТОКА, СОДЕРЖАЩИХ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ

1 Цель работы

1.1 Изучение методов расчета линейных электрических цепей несинусоидального периодического тока.

1.2 Изучение влияния индуктивного и емкостного элементов на величину тока при несинусоидальном напряжении источника.

1.3 Изучение принципа действия сглаживающих L-фильтров и методов расчета их параметров.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, приведенная на рисунке 8.1.

При выполнении данной работы возможно использование осциллографа для исследования несинусоидальных периодических напряжений.

С помощью резистора R_{12} устанавливается заданный угол отпирания тиристора.

Исследуется форма напряжения при наличии L-фильтра и без него.

По результатам измерения производится запись напряжения источника в виде ряда Фурье.

2 Основные теоретические соотношения

Действующие значения несинусоидальных напряжений и тока определяются:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots}; \quad I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots};$$

где U_0 и I_0 - постоянные составляющие несинусоидальных напряжения и тока, разложенных в ряд Фурье;

$U_1, U_2, \dots, I_1, I_2, \dots$ - соответственно действующие значения отдельных гармонических составляющих напряжения и тока.

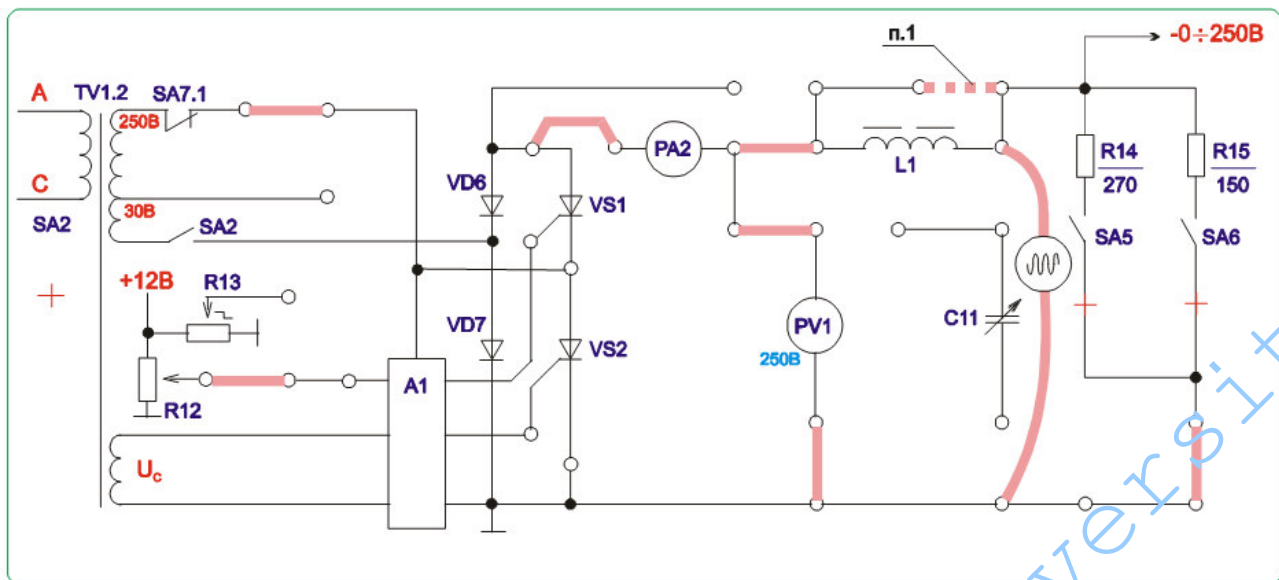


Рисунок 8.1 – Электрическая схема

$$U_1 = \frac{U_{1M}}{\sqrt{2}}; \quad U_2 = \frac{U_{2M}}{\sqrt{2}}; \quad I_1 = \frac{I_{1M}}{\sqrt{2}}; \quad I_2 = \frac{I_{2M}}{\sqrt{2}}$$

где U_{1M} , U_{2M} , ... I_{1M} , I_{2M} , ... - соответственно амплитудные значения отдельных составляющих напряжения и тока.

Угол включения тиристоров α регулируется за счет изменения напряжения управления с помощью $R12$.

Гармонический состав напряжения управляемого выпрямителя описывается рядом Фурье:

$$U = U_0 + U_{1M} \sin(2\omega t + \varphi_1) + U_{2M} \sin(4\omega t + \varphi_2) + U_{3M} \sin(6\omega t + \varphi_3);$$

Численные значения отдельных гармонических составляющих в долях амплитудного значения напряжения на входе выпрямителя и их начальные фазы приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Численные значения отдельных гармонических составляющих

α	U_0	U_{1M}	U_{2M}	U_{3M}	φ_1	φ_2	φ_3
30	0,594	0,491	0,123	0,0546	83,8	52,7	2,56
45	0,543	0,543	0,121	0,06	73,7	5,91	77,7
60	0,477	0,551	0,110	0,098	60,0	-60,0	-16,1
75	0,401	0,532	0,131	0,124	44,0	45,8	87,8
90	0,318	0,474	0,175	0,111	26,6	-14,0	9,46
105	0,236	0,386	0,201	0,0874	8,15	-62,9	-86,9
120	0,159	0,281	0,189	0,0949	-10,9	73,0	-5,49
135	0,0932	0,174	0,140	0,0962	-30,4	31,1	-82,3

В качестве нагрузки в данной лабораторной работе используется цепь (рисунок 8.2). Активное сопротивление R_H задается преподавателем:

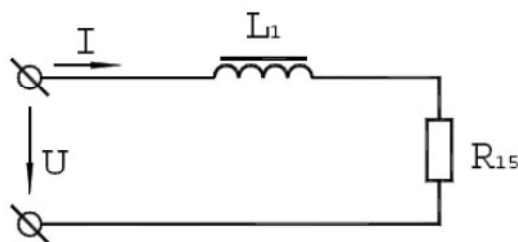


Рисунок 8.2 – Электрическая схема

$R14$ или $R15$, или $R14 \parallel R15$.

Данную цепь для расчета постоянной составляющей и гармонических составляющих ряда Фурье для несинусоидального тока можно представить в виде схемы замещения:

2.1. Для расчета постоянной составляющей тока (рисунок 8.3).

$$I_0 = \frac{U_0}{R14}; \quad R14 = 270 \hat{\Omega};$$

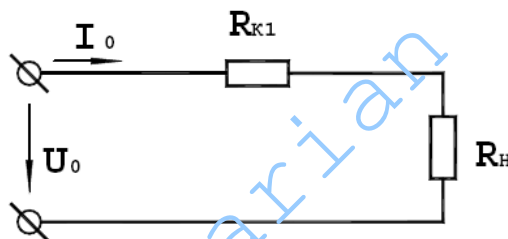


Рисунок 8.3 – Электрическая схема

2.2. Для расчета гармонических составляющих тока используется схема (рисунок 8.4.).

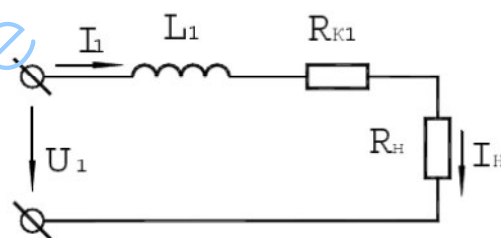


Рисунок 8.4 – Электрическая схема

Действующее значение токов гармонических составляющих можно определить из выражения вида:

$$I_k = \frac{U_k}{\sqrt{(R_H + R_{k1})^2 + (k\omega L_1)^2}};$$

где $k=2; 4; 6; \dots$

$$\omega = 2\pi f;$$

$f = 50$ Гц – частота сети.

Сдвиг по фазе между током и напряжением соответствующих гармонических составляющих:

$$\varphi_{ki} = \arctg \frac{K\omega L_1}{R_H + R_{K1}}.$$

Действующее значение несинусоидального тока:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_K^2 + \dots}.$$

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Изучить схему управляемого выпрямителя на стенде.

3.2 Установить значение угла управления тиристорным выпрямителем заданное преподавателем с помощью резистора $R12$.

3.3 Собрать схему рисунка 8.1. Катушку $L1$ зашунтировать (установить перемычку п.1). Сопротивление нагрузки ($R14$, $R15$) установить по заданию преподавателя. Включить схему и измерить с помощью вольтметра $V1$ магнитоэлектрической системы среднее значение напряжения на выходе управляемого выпрямителя (УВ). С помощью осциллографа контролируется угол управления и измеряется амплитуду U_m питающего напряжения.

3.4 Считая, что измеренное в п. 3.3. напряжение равно U_0 для заданного угла, воспользовавшись таблицей 8.1. определить U_m на входе УВ и действующие значения гармонических составляющих выходного напряжения УВ.

Записать напряжение УВ для заданного угла управления в виде ряда Фурье.

3.5 Используя данные п. 3.4. и л.р. №4, рассчитать действующее значение тока для схемы рисунка 8.4. R_H – задается преподавателем ($R14$ или $R15$ или $R14//R15$).

3.6 Собрать схему рисунка 8.1. ($L1$ – введен в цепь, перемычка п.1 - отсутствует) и при заданных в п. 3.2. – 3.5. R_H и угле управления измерить действующее значение тока (амперметр $PA2$). Сравнить результаты расчета и эксперимента.

Лабораторная работа №9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ С ЗАМКНУТЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ И ПРИ НАЛИЧИИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА В МАГНИТОПРОВОДЕ

1 Цель работы

1.1 Изучить методы определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

1.2 Построить вольтамперную характеристику /в.а.х./ катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

1.3 Построение в.а.х. катушки индуктивности с воздушным зазором в магнитопроводе.

Для выполнения лабораторной работы по исследованию катушки с замкнутым магнитопроводом собирается схема, приведенная на

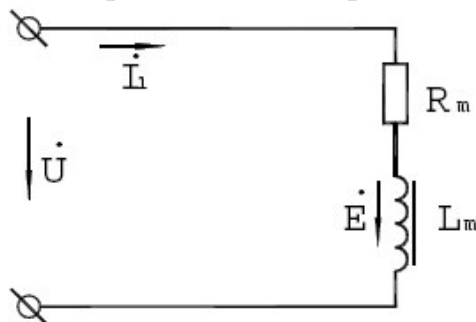


Рисунок 9.1 – Электрическая схема

Для исследования катушки с разомкнутым магнитопроводом используется схема, приведенная на рисунке 5.2. лабораторной работы №5.

2 Основные теоретические соотношения

Схема замещения катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом дана на рисунке 9.2.

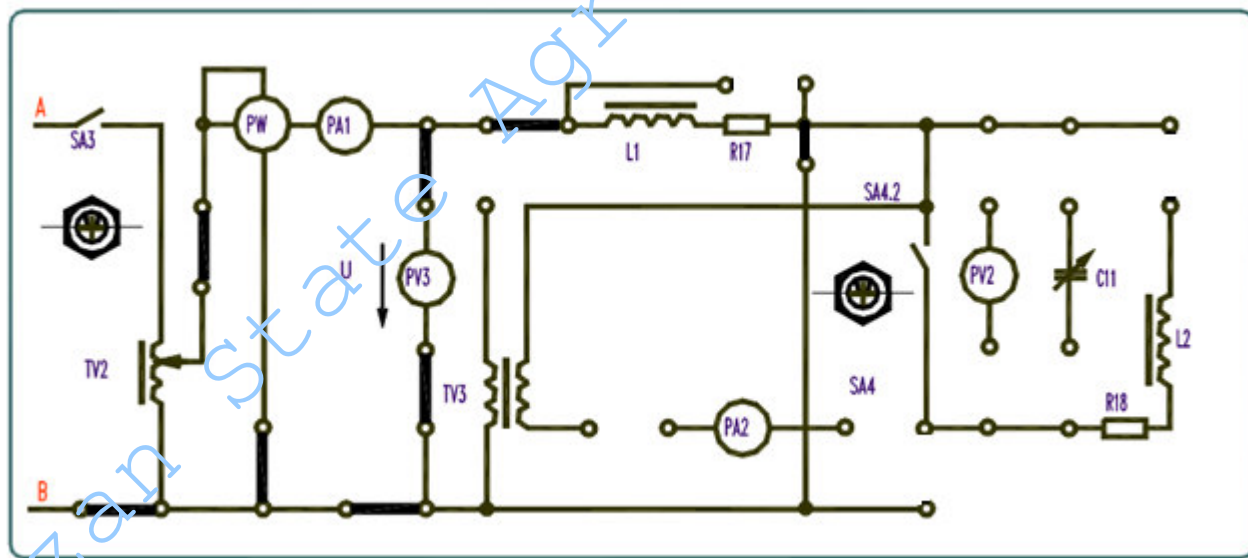


Рисунок 9.2– Электрическая схема в стенде

$$R_M = \frac{P}{I^2}; \quad Z_M = \frac{U}{I}; \quad X_M = \sqrt{(Z_M^2 - R_M^2)};$$

На линейном участке кривой намагничивания материала замкнутого магнитопровода катушки значение R_M и X_M имеют небольшое значение, а в области насыщения величины R_M и X_M , уменьшаются.

Следовательно, в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом имеет нелинейный характер.

Методы определения параметров схемы замещения катушки индуктивности с разомкнутым магнитопроводом даны в лабораторных работах № 4 и № 5.

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1 Собрать схему для расчета параметров R_m и X_m катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом (рисунок 9.1.).

3.2 Построить в.а.х. катушки индуктивности с замкнутым магнитопроводом.

$$I = f(U)$$

3.3 Определить параметры схемы замещения на линейном участке в.а.х. и в области насыщения. Для измерения тока в первичной обмотке трансформатора использовать тестер или амперметр переменного тока с пределом 200мА.

3.4 Собрать схему для расчета параметров схемы замещения катушки индуктивности с зазором в магнитопроводе.

ВНИМАНИЕ! Тумблер SA4 должен находиться в выключенном положении (рычажок – внизу).

3.5 Определить параметры схемы замещения катушки индуктивности с воздушным зазором в магнитопроводе.

3.6 Снять вольт-амперную характеристику катушки индуктивности с зазором. Сравнить характеристики с п. 3.2.

Лабораторная работа №10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1 Цель работы

1.1 Изучение устройства и принципа действия однофазного трансформатора.

1.2 Изучение схемы замещения трансформатора и определение ее параметров.

1.3 Изучение влияния характера нагрузки на внешнюю характеристику и к.п.д. трансформатора.

Исследование однофазного трансформатора производится по схеме, представленной на рисунке 10.1.

2 Основные теоретические соотношения

2.1 Схема замещения трансформатора (рисунок 10.3).

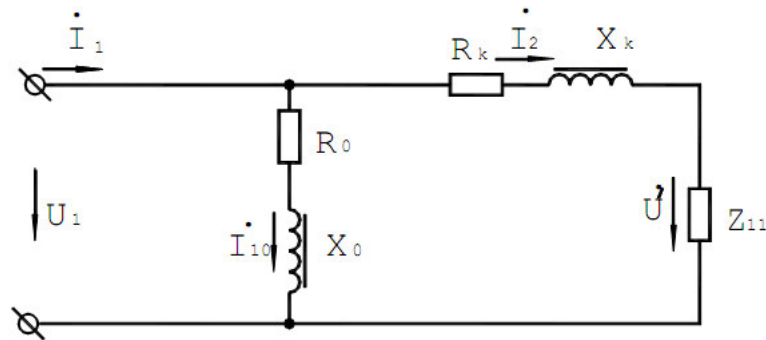


Рисунок 10.3 – Электрическая схема

R_0 , X_0 - параметры схемы замещения, определяемые из опыта холостого хода трансформатора,

R_k , X_k - параметры схемы замещения, определяемые из опыта короткого замыкания трансформатора.

2.2 Опыт холостого хода (рисунок 10.4).

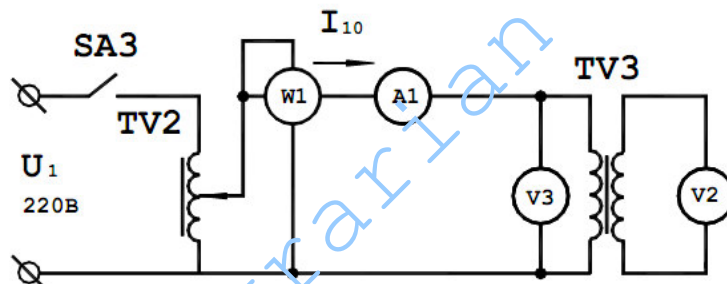


Рисунок 10.4 – Электрическая схема опыта холостого хода

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

$$R_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2}; \quad Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad X_0 = \sqrt{(Z_0^2 - R_0^2)}; \quad n = \frac{U_{1H}}{U_2};$$

n - коэффициент трансформации.

2.3 Опыт короткого замыкания рисунок 10.5.

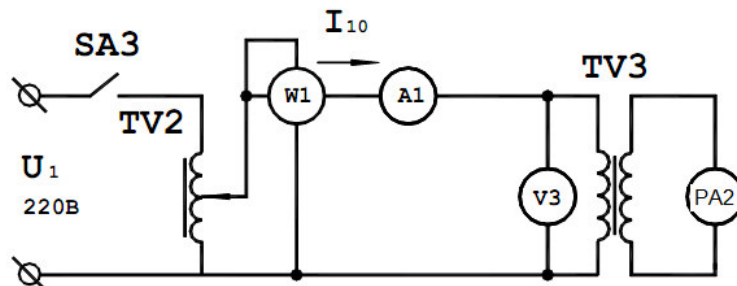


Рисунок 10.5 – Электрическая схема опыта короткого замыкания

Показания приборов $PW1$, $PV3$, $PA2$, дают возможность определить параметры схемы замещения:

$$R_H = \frac{P}{I_{1H}^2}; \quad Z_K = \frac{U_{1H}}{I_{1H}}; \quad X_K = \sqrt{(Z_K^2 + R_K^2)};$$

а также активные и реактивные сопротивления обмоток трансформатора:

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

2.4 Коэффициент мощности нагрузки (X_{L2} , R18). Используя данные лабораторной работы №5 определяют $\cos\varphi$ нагрузки

$$\cos\varphi_{2H} = \frac{R_{18}}{Z_{L2}};$$

2.5 К.п.д. трансформатора:

$$\eta = \frac{\beta S_i' \cos\varphi_{2H}}{\beta S_i' \cos\varphi_{2H} + P_o + \beta^2 P_{\Sigma}};$$

где $\beta = \frac{I_1}{I_{1H}} = \frac{I_2}{I_{2H}}$ - коэффициент загрузки трансформатора

$S_i' = U_{1i} I_{1i} = U_{2i} I_{2i} = 100 \text{ В} \cdot \text{А}$ - полная мощность трансформатора.

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

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

где $\Delta U_{2\%} = \beta(U_{\Sigma a} \cos\varphi_2 + U_{\Sigma \dot{a}} \sin\varphi_2);$

$$U_{\Sigma a} = \frac{I_{1H} R_K}{U_{1H}} 100\% = \frac{P_K}{S_H} 100\%;$$

$U_{\Sigma a}$ - активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора;

$$U_{\Sigma \dot{a}} = \frac{I_{1H} X_K}{U_{1H}} 100\%;$$

$U_{\Sigma \dot{a}}$ - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора.

2.7 Повышение коэффициента мощности нагрузки.

Для повышения значения коэффициента мощности нагрузки ($\cos\varphi$) параллельно нагрузке (R18, L2) включается конденсатор C11.

Значение емкости конденсатора рассчитывают по формуле:

$$C_{11} = \frac{P_2}{\omega U_{2H}^2} (\tg\varphi_{2H} - \tg\varphi_{2\text{сд}})$$

3 Задание на выполнение лабораторной работы

3.1. Изучить схему включения трансформатора.

3.2. Провести опыты х.х. и к.з. трансформатора. Для измерения тока х.х. в первичной обмотке трансформатора использовать тестер или амперметр переменного тока с пределом 200мА.

ВНИМАНИЕ! В опыте к.з. до включения SA3 вывести ЛАТР T2 в 0, тумблер SA4 установить в верхнее положение. В опыте х.х. номинальное напряжение первичной обмотки 220В.

3.3. Рассчитать параметры схемы замещения трансформатора.

3.4. Для нагрузки R18, L2 (л.р. №5) рассчитать потери напряжения, вторичное напряжение и к.п.д.

3.5. Измерить вторичное напряжение при нагрузке R18, L2 и сравнить с рассчитанными в п. 3.4.

3.6. Рассчитать коэффициент мощности нагрузки R18, L2 и определить значение емкости C11 для повышения $\cos\varphi$ нагрузки до основы электроники значения, заданного преподавателем. Результаты расчета проверить экспериментально.

3.7. Рассчитать к.п.д. трансформатора при $\cos\varphi_{2тр}$ и сравнить с п. 3.4.

3.8. Рассчитать потери напряжения при $\cos\varphi_{2тр}$ и сравнить с п. 3.5.

Лабораторная работа №11

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ТРЕХФАЗНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

1 Цель работы

1.1. Изучение принципа действия трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

1.2. Изучение основных свойств характеристик электродвигателя.

1.3. Построение механической характеристики электродвигателя $M = f(S)$.

1.4. Построение рабочих характеристик электродвигателя.

Для выполнения лабораторной работы собирается схема, представленная на рисунке 11.1.

Паспортные данные асинхронного двигателя:

ТИП АИР56А2У3

$P_H = 0,18 \text{ кВт}$

$\eta_i = 65\%$;

$\cos\varphi = 0,78$;

$n_H = 2730 \text{ об/мин}$;

$I_H = 0,5 \text{ А}$;

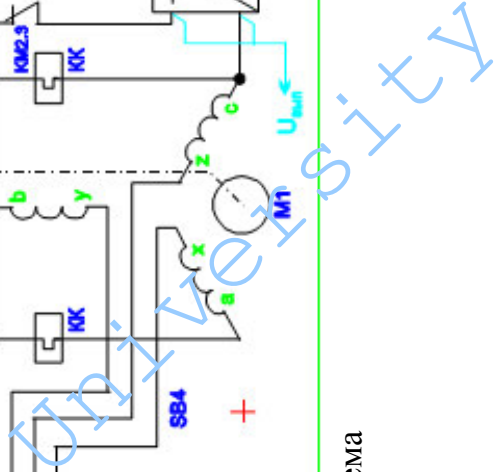


Рисунок 11.1 – Электрическая схема

$$\lambda \frac{M_K}{M_H} = 2,2;$$

$$\frac{\dot{I}_I}{\dot{I}_i} = 2,2;$$

$$\frac{I_I}{I_H} = 4.$$

В работе исследуют и строят механическую характеристику две 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 измеряют цифровым измерителем в относительных единицах. Для определения истинного значения нужно воспользоваться формулой:

$$n = \frac{N \cdot 3000}{100};$$

где n - текущее показание измерителя.

2 Основные теоретические соотношения

2.1 Уравнение механической характеристики:

$$M = f(s);$$

$$M = \frac{2M\hat{e}}{S/S\hat{e} + S\hat{e}/S}; \text{ - формула Клосса.}$$

где $M\hat{e} = \lambda M_i$ - максимальный момент, развиваемый двигателем;

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

$$M_i = 9,55 \frac{P_i}{n_H} \text{ - номинальный момент двигателя;}$$

Вращающий момент через параметры схемы замещения можно определить:

$$M = \frac{3U_{10}^2 \cdot r_2'}{\omega_0 s \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{S} \right) + (X_1 + X_2')^2 \right]};$$

$U_{1\phi}$ - фазные напряжения;

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \text{ - угловая частота вращения магнитного поля статора;}$$

f_1 - частота тока;

p - число пар полюсов;

r_1 - сопротивление фазы статора;

r'_2 – приведенное сопротивление фазы ротора;

X_l – индуктивное сопротивление фазы статора;

X'_2 – приведенное индуктивное сопротивление фазы ротора;

Приведенные значения тока ротора $I'_2 = I_1$ определяют из выражения вида:

$$I_1 = I'_2 \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_1}{S}\right) + (x_1 + x'_2)^2}}$$

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

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

$S_H = \frac{n_0 - n_2}{n_0}$ - номинальное скольжение;

$n_0 = \frac{60f_1}{p}$ - синхронная частота вращения магнитного поля статора;

2.2 Расчет к.п.д. и $\cos \varphi_1$ двигателя.

$\eta = \frac{P_2}{P_1}$ - к.п.д. двигателя;

где P_2 - мощность на валу двигателя.

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

M - текущее значение момента на валу двигателя;

n_2 - текущее значение частоты вращения двигателя;

P_1 - мощность, потребляемая двигателем.

Определяется по показаниям ваттметров.

$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}$ - коэффициент мощности двигателя;

где $S_1 = 3U_{\phi} I_{\phi}$ - полная мощность двигателя;

U_{ϕ} и I_{ϕ} - измеряются приборами PV4 и PA1 при соединении обмоток двигателя звездой.

3 Задание на выполнение лабораторной работы

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

При номинальной частоте вращения:

$$M'_H = \frac{M_H}{3} 4; I'_{1\dot{\theta}i} = \frac{I_{1\dot{\theta}i}}{\sqrt{3}};$$

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

$I'_{1\dot{\theta}i}$ – ток при снижении напряжения в $\sqrt{3}$ раз.

3.2 Изучить и собрать схему испытания асинхронного двигателя. На схеме нагрузкой АД является генератор постоянного тока $M2$, якорь которого коммутируется транзисторным ключом $VT7$, подключенным к широтно-импульсному модулятору ШИП. Тумблером $SA16$ включается цепь возбуждения генератора $M2$, тумблером $SA19$ включают ШИП, $SA18$ – измеритель скорости, $SA14$ подает напряжение на схему управления АД, кнопка $SB3$ служит для пуска двигателя, кнопка $SB4$ – для останова, переключателем $SA17$ осуществляется переключение схемы соединения обмоток.

3.3 Установить $SA17$ в положение «Y», резистор $R43$ в положение “min”, включить $SA14$. Кнопкой $SB3$ запустить двигатель.

3.4 Подключить обмотку возбуждения нагрузочного генератора тумблером $SA16$, ШИП тумблером $SA19$ и измеритель скольжения тумблером $SA18$. Соппротивлением $R43$ установить в фазе статора АД был равен $I'_{1\dot{\theta}i}$.

Считая, что к валу АД приложена номинальная нагрузка для номинального режима $M'_H = M_0 + M_{\tilde{A}}$ и $M_{\tilde{A}} = C * I_{\beta\tilde{A}}$, определить M_0

Здесь M_0 - статический момент нагрузки холостого хода (Нм);

$M_{\tilde{A}}$ – момент генератора постоянного тока (Нм);

$I_{\beta\tilde{A}}$ - ток якоря генератора постоянного тока (А) (прибор $PA4$);

$$\tilde{N} = \frac{M_{H1}}{I_{\beta\tilde{A}}} = \frac{0,147}{0,8};$$

где $M_{l\tilde{A}}$ – номинальный тормозной момент;

$I_{\beta l\tilde{A}}$ – номинальный ток якоря генератора;

3.5 Считая M_0 независимым от частоты вращения изменяя $I_{\beta\tilde{A}}$ с помощью $R43$ снять показания измерителя частоты вращения, ваттметра $PW1$, $PW2$, $PA2$ – ток фазы статора АД $PA4$ – ток якоря генератора и $PV3$ – линейные напряжения приложенные к АД.

3.6 По результатам измерений построить:

- механическую $M = f(S2)$;

- две рабочих характеристики $\eta = f(P2)$ и $\cos \varphi_1 = f(P2)$.

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

Литература

1. Касаткин А.С. Электротехника: Учебник /А.С.Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Изд-кий центр Академия, 2008. -544 с.
2. Иванов И.И.,Соловьев Г.И.,Фролов В.Я. Электротехника и основы электроники: Учебник 7-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Изд-во Лань, 2012. – 736с., ил.
3. Новожилов О.П. Электротехника и электроника: учебник для бакалавров. Электронная копия / 2-е изд. – М.: Юрайт, 2013.
4. Славинский А.К. Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.К. Славинский, И.С. Туревский. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ Инфра-М, 2013. - 448 с.: ил.; 60х90 1/16. ЭБС «Znanium.com».