

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

Составитель

С. Г. Филимонов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Методические указания к лабораторным работам

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2014

Рецензенты

Старовойтов В. А. – доцент кафедры электропривода и автоматизации
Семькина И. Ю. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника»

Филимонов, Сергей Гаврилович. Электрические машины: методические указания к лабораторным работам [Электронный ресурс] для студентов направления 13.03.02 (140400.62) «Электроэнергетика и электротехника» образовательные программы «Электропривод и автоматика», «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» и специальности 21.05.04 (130400.65) «Горное дело», образовательная программа «Электрификация и автоматизация горного производства», очной формы обучения / сост.: С. Г. Филимонов. – Кемерово : КузГТУ, 2014. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Приведено содержание лабораторных занятий, индивидуальные задания и примерные оценочные средства для текущего контроля (коллоквиума, контрольной работы и т.п.).

© КузГТУ, 2014
© Филимонов С. Г.,
составление, 2014

Оглавление

Лабораторная работа № 1: ИСПЫТАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ	4
Лабораторная работа № 2: ИСПЫТАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА СМЕШАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ	11
Лабораторная работа № 3: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ	18
Лабораторная работа № 4: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ	25
Лабораторная работа № 5: ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА	32
Лабораторная работа № 6: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ РАБОТЕ НА НЕСИММЕТРИЧНУЮ НАГРУЗКУ	39
Лабораторная работа № 7: ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ	47
Лабораторная работа № 8: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ	53
Лабораторная работа № 9: ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РЕГУЛЯТОРА И ФАЗОРЕГУЛЯТОРА	64
Лабораторная работа № 10: ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАТОРА	69
Лабораторная работа № 11: ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	74
Лабораторная работа № 12: РАБОТА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ИНДИВИДУАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	85

Лабораторная работа № 1: ИСПЫТАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомится на разобранном лабораторном образце, по учебнику и конспекту лекций с конструкцией генератора постоянного тока.

1.2. Приобрести практические навыки в исследовании машин постоянного тока.

1.3. Получить экспериментальные данные и построить внешнюю, регулировочную, короткого замыкания и холостого хода характеристики генератора с независимым возбуждением.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Свойства генераторов постоянного анализируются с помощью характеристик, устанавливающих зависимости между основными величинами, определяющими работу генератора. Такими величинами являются: напряжение на зажимах генератора (U_G), ток возбуждения (I_B), ток в якоре (I_a), скорость вращения (ω). Напряжение генератора имеет решающее значение, т.к. оно определяет свойства генератора в отношении той сети, на которую работает генератор. Основными характеристиками ГПТ являются:

2.1. **Нагрузочная характеристика** зависимость $U_G = F(I_B)$ при $I_a = \text{const}$ в частном случае, $I_a = 0$, нагрузочная характеристика превращается в **характеристику холостого хода**, имеющую важное значение для оценки свойств генераторов и построения других характеристик.

2.2. **Внешняя характеристика** зависимость $U_G = F(I_a)$ при $I_B = \text{const}$ и скорости вращения $\omega = \text{const}$.

2.3. **Регулировочная характеристика** зависимость $I_B = F(I_a)$ при $U_G = U_{x.x.}$; в частном случае при сопротивлении нагрузки $R_H = 0$ и $U_G = 0$, регулировочная характеристика переходит в **характеристику короткого замыкания**.

Названные выше характеристики можно снять опытным путем и построить косвенным методом, используя данные опыта холостого хода и короткого замыкания.

2.4. Построение характеристического треугольника. Характеристический треугольник дает возможность, с одной стороны, оценить влияние падения напряжения в цепи якоря и реакции якоря на напряжение якоря генератора, а с другой стороны, может быть использован для построения нагрузочной (рис. 2), внешней и регулировочной характеристик. Строят треугольник для тока якоря при $I_k = I_{ан}$ (в данном случае $I_{ан} = 10$ А, а сопротивление цепи якоря генератора $R_a = 0,5$ Ом). Построение проводят следующим образом.

На общем графике (рис. 1) строят снесенные в начало координат начальные участки характеристик холостого хода (1) и короткого замыкания (2).

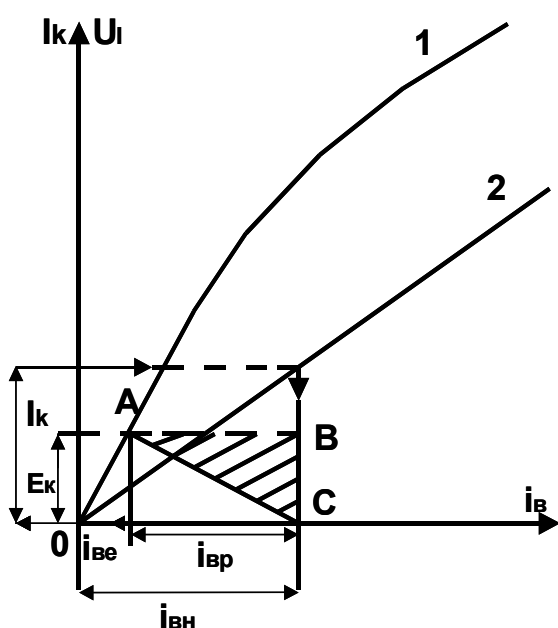


Рис. 1

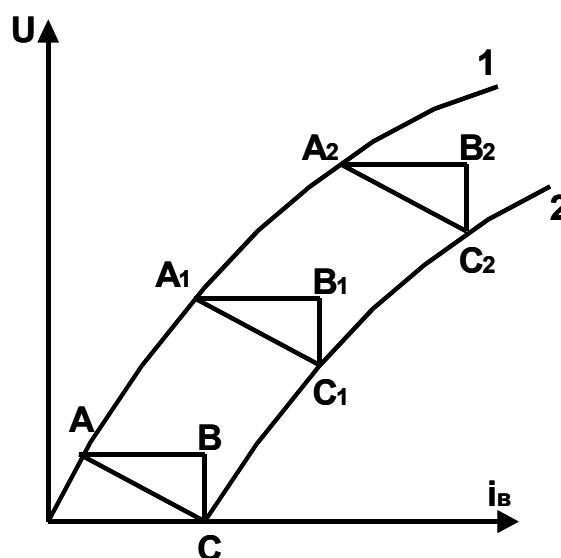


Рис. 2

Для тока $I_k = I_{ан}$ по характеристике короткого замыкания определяют соответствующий ему ток возбуждения $i_{вн} = OC$. От точки C откладывают отрезок BC равный падению напряжения в цепи якоря $I_k \cdot R_a$ и проектируют точку B на ось U_1 до пересечения с характеристикой XX в точке A. Ток возбуждения $i_{вн}$ (отрезок OC) состоит из двух составляющих $i_{ве}$ и $i_{вр}$. Первая составляющая ($i_{ве}$) создает ЭДС E_k , которая компенсирует падение напряжения в цепи якоря $I_k \cdot R_a$; вторая составляющая $i_{вр}$ компенсирует продольно-размагничивающее действие реакции якоря. Таким образом, в характеристическом треугольнике катет AB в масштабе тока возбуждения представляет МДС реакции якоря, а катет

BC – ЭДС якоря, компенсирующую падение напряжения в цепи якоря при токе $I_k = I_{ан}$.

2.5. Построение нагрузочной характеристики $U_r = F(i_b)$.

Так как по условию $\omega = \text{const}$ и $I_a = I_{ан} = \text{const}$, то и $I_k \cdot R_a = \text{const}$, и если пренебречь насыщением, то можно считать, что размеры сторон характеристического треугольника не меняются. Следовательно, перемещая треугольник параллельно самому себе так, чтобы вершина А скользила по характеристике холостого хода (1), видим, что вершина С опишет нагрузочную характеристику (2) для тока $I_{ан}$ (рис. 2).

При построении нагрузочной характеристики для тока якоря I_a отлично от $I_{ан}$, необходимо пересчитать стороны характеристического треугольника ABC.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1. Описание работы стенда

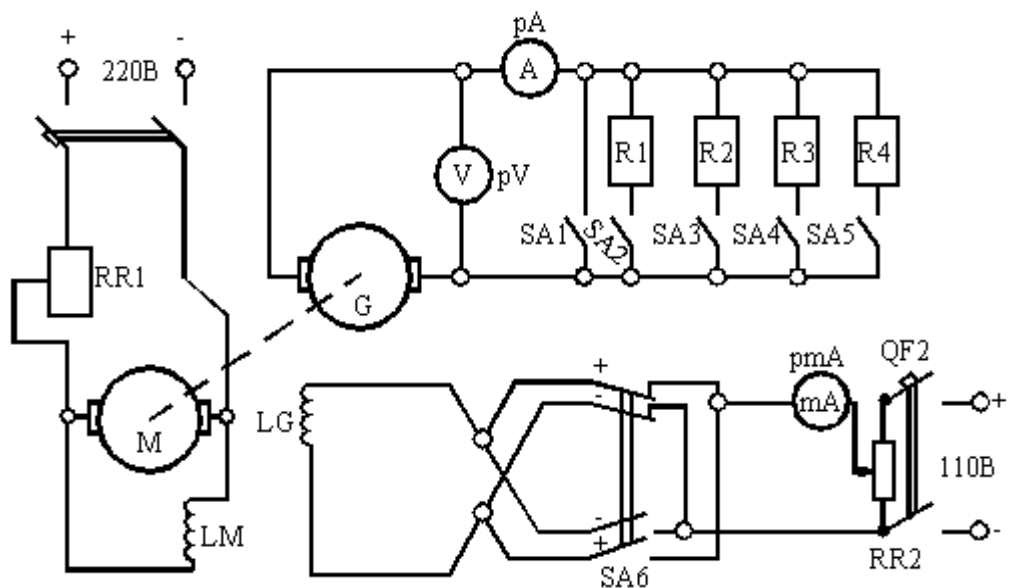


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда

Схема питается постоянным напряжением 220 В и 110 В. Через автоматический выключатель QF1 постоянное напряжение 220 В поступает на двигатель постоянного тока М. Пусковой резистор RR1 служит для уменьшения пусковых токов во время запуска двигателя М, регулирования скорости вращения. Генератор посто-

янного тока независимого возбуждения G приводится во вращение двигателем M.

Через автоматический выключатель QF2 в цепь обмотки возбуждения генератора LG подается постоянное напряжение 110 В. С помощью регулировочного реостата RR2 изменяем ток обмотки возбуждения генератора G. Переключатель SA6 служит для перемены полярности тока I_b на обмотке возбуждения LG. Миллиамперметр PmA в цепи обмотки возбуждения предназначен для измерения тока возбуждения. Вольтметр PV и амперметр PA в цепи якоря генератора служат для снятия показаний при различной нагрузке генератора G. Выключатель SA1 является короткозамыкателем цепи якоря. Выключатели SA2-SA5 служат для выключения нагрузочных сопротивлений R1-R4.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Получение данных для построения характеристики холостого хода (частный случай нагрузочной характеристики при $I_a = 0$).

4.1.1. Включить автоматический выключатель QF1.

4.1.2. Перемещая движок пускового реостат RR1, запустить приводной двигатель M. Измерить ЭДС остаточной намагниченности генератора G.

4.1.3. Включить автоматический выключатель QF2.

4.1.4. Плавно перемещая движок реостата RR2 (вверх), увеличить ток возбуждения и ЭДС.

4.1.5. После достижения ЭДС величины U_n начать уменьшать ток возбуждения до $I_b = 0$.

4.1.6. Изменить полярность постоянного тока, подводимого к обмотке возбуждения, путем переключения тумблера SA6.

4.1.7. Выполнить операции с п. 4.1.4 по п. 4.1.5.

4.1.8. Вновь изменить полярность тока подводимого к обмотке возбуждения и увеличить ток в обмотке возбуждения до U_n .

4.1.9. Отключить установку.

4.1.10. Данные испытаний, значения U_r и I_b при каждом их изменении, заносят в таблицу 1.

Таблица 1

U, В										
I _В , mA										

4.2. Получение данных для характеристики короткого замыкания (частный случай регулировочной характеристики).

4.2.1. Запустить приводной двигатель без подачи напряжения на обмотку возбуждения генератора (QF2 выключен).

4.2.2. Включить выключатель SA1 и измерить ток короткого замыкания, вызванный остаточной намагниченностью генератора и занести в таблицу 2.

Таблица 2

I _{к.з.} , А		10
I _В , mA	0	

4.2.3. Включить цепь обмотки возбуждения (QF2).

4.2.4. Плавно перемещая движок реостата RR2, увеличить ток якоря до $I_a = I_H = 10A$.

4.2.5. Занести в таблицу 2 значения токов и отключить установку.

4.2.6. Характеристика короткого замыкания линейна и для ее построения достаточно двух пар значений токов I_к и I_в.

4.3. Получение данных для построения внешней характеристики.

4.3.1. Запустить приводной двигатель (QF1 включить).

4.3.2. Включить питание обмотки возбуждения ГПТ (QF2) и установить с помощью резистора RR2 максимальный ток возбуждения.

4.3.3. Путем включения резисторов R1-R4 увеличить нагрузку генератора от $I_a = 0$ до $I_a = I_H$.

4.3.4. Значения U_Г и I_а при каждом изменении нагрузки занести в таблицу 3.

Таблица 3

I _а , А						
U _Г , В						

4.4. Получение данных для регулировочной характеристики ГПТ.

4.4.1. Запустить приводной двигатель (QF1 включить).

4.4.2. Резистором RR2 установить напряжение холостого хода генератора $U_r = 50$ В.

4.4.3. Включить поочередно каждую ступень нагрузки генератора (резисторы R1-R4, выключатели SA2-SA5). При изменении напряжения генератора каждый раз резистором RR2 восстановить напряжение $U_r = 50$ В. Полученные при этом значения тока якоря I_a и тока возбуждения I_b занести в таблицу 4.

Таблица 4

Измеряемая величина	Увеличение I_a $0 \rightarrow I_H$					Уменьшение I_a $I_H \rightarrow 0$				
	I_a, A									
I_b, mA										

4.4.4. После достижения и регистрации в таблице 4 максимального тока нагрузки I_a произвести обратное поочередное отключение ступеней нагрузки (R1-R4) выключателями SA2-SA4 до $I_a = 0$. Значения $U_r = 50$ В поддерживается резистором RR2. Полученные для каждой ступени изменения нагрузки значения токов I_a и I_b занести в таблицу 4.

4.5. Выключателями QF1 и QF2 выключить приводной двигатель M и обесточить обмотку возбуждения LG генератора G.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. На основании полученных данных построить основные характеристики ГПТ:

- характеристику холостого хода (восходящую и нисходящую ветви и истинную характеристику холостого хода, являющуюся средней линией петли гистерезиса);
- внешнюю характеристику $U_r = f(I_a)$;
- регулировочную характеристику $I_b = f(I_a)$.

5.2. Построить вспомогательные характеристики ГПТ:

- характеристику короткого замыкания $I_b = f(I_a)$;
- характеристический треугольник;

Используя характеристический треугольник построить нагрузочную характеристику для тока якоря $I_a = I_n = 10 \text{ A}$.

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

6.1. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

6.2. Таблицы с данными опытов.

6.3. Графики характеристик ГПТ.

6.4. Формулы и зависимости, поясняющие работу генератора в различных режимах.

6.5. Упрощенную математическую модель ГПТ с независимым возбуждением в системе координат $d; q$.

7. ВОПРОСЫ

1. Пояснить на лабораторном образце конструкцию генератора постоянного тока и назначение его основных элементов.

2. Показать элементы конструкции ГПТ, изображенные на принципиальной электрической схеме.

3. Что называют «реакцией якоря МПТ»? Пояснить причину возникновения поперечной реакции якоря и ее воздействие на работу машины.

4. Требования ГОСТа по обозначению элементов ГПТ на принципиальных схемах.

5. Дать определение холостого хода ГПТ.

6. Дать определение внешней характеристике ГПТ.

7. Дать определение регулировочной характеристике ГПТ.

8. Написать уравнения электрического равновесия якорной цепи генератора, цепи обмотки независимого возбуждения.

9. Изобразить энергетическую диаграмму генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

10. Указать на чертеже ГПТ расположение компенсационной обмотки, дополнительных полюсов и пояснить их назначение.

11. Написать уравнение электромагнитного момента (момента сопротивления вращению) на валу генератора.

Лабораторная работа № 2: ИСПЫТАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА СМЕШАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомится по учебнику и конспекту лекций с конструкцией и устройством генератора постоянного тока (ГПТ) смешанного возбуждения.

1.2. Приобрести практические навыки в исследовании машин постоянного тока при различных способах включения обмоток возбуждения.

1.3. Получить экспериментальные данные и построить внешние и регулировочные характеристики ГПТ при параллельном возбуждении генератора, при смешанном возбуждении с согласным включением последовательной обмотки возбуждения и при встречном ее включении.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Генераторы параллельного (шунтового), последовательного (серисного) и смешанного (компаундного) возбуждения называют *генераторами с самовозбуждением*.

Генераторы с самовозбуждением не требуют особого источника тока для возбуждения. Так как генератор смешанного возбуждения имеет параллельную и последовательную обмотку возбуждения, то он совмещает в себе свойства генераторов обоих типов.

Основное условие самовозбуждения генератора – необходимо, чтобы небольшой (2-3 % от нормального) поток остаточного намагничивания Φ_{oc} совпадал по направлению с добавочным потоком намагничивания Φ_o , создаваемому обмотками возбуждения генератора при его вращении.

Если напряжение на зажимах генератора G с увеличением нагрузки (I_a) быстро уменьшается, то это говорит о встречном включении последовательной обмотки возбуждения $LG2$; если с ростом нагрузки напряжение остается постоянным или растет, то это говорит о согласном включении обмотки $LG2$.

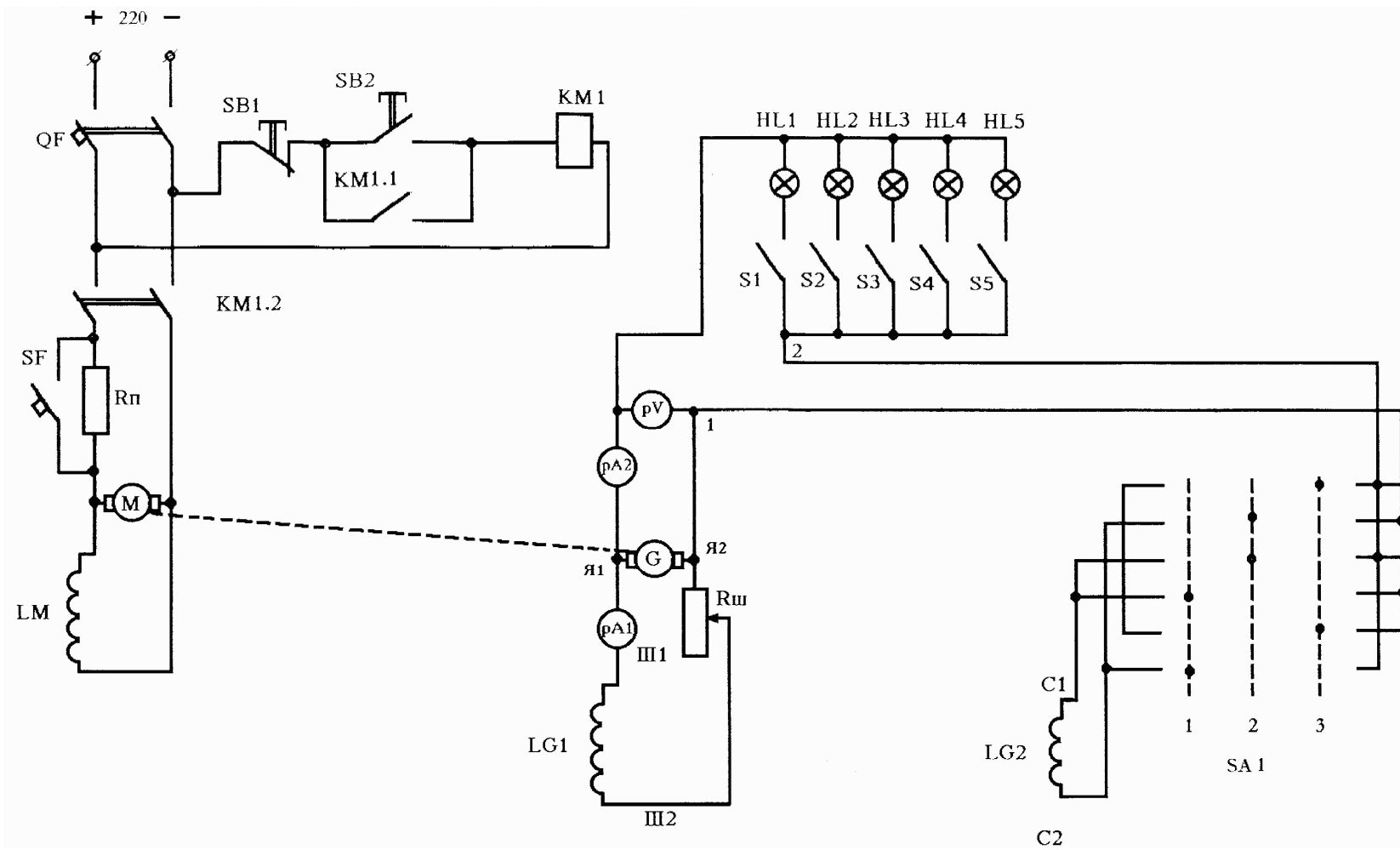


Рис. 1. Принципиальная схема

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1. Описание работы стенда

С помощью автоматического выключателя QF постоянное напряжение 220 В подается на силовые клеммы КМ1.2 магнитного пускателя КМ1 и одновременно на кнопку управления катушкой этого пускателя.

Через нормально замкнутую кнопку SB1 «СТОП» напряжение подается на кнопку SB2 «ПУСК», которая при нажатии подает напряжение на катушку магнитного пускателя КМ1, после чего пускатель замыкает свои силовые контакты КМ1.2 и одновременно вспомогательный контакт КМ1.1, который шунтирует кнопку SB2 «ПУСК».

После того как контакты КМ1.2 замкнулись, напряжение 220 В поступает на двигатель постоянного тока М через пусковой резистор $R_{п}$. Резистор служит для уменьшения пусковых токов во время запуска двигателя М. После разгона двигателя при включении автоматического выключателя SF шунтируется пусковой резистор $R_{п}$, двигатель М переходит в рабочий режим.

Ток возбуждения в параллельной обмотке возбуждения LG1 генератора G регулируют при помощи регулировочного реостата $R_{ш}$, и устанавливают номинальное напряжение $U_{Г х.х.}$, которое измеряют с помощью вольтметра pV. Амперметры pA1 и pA2 служат для измерения значений тока якоря I_a при различной нагрузке генератора G и тока в параллельной обмотке возбуждения LG1. Генератор G нагружают при помощи ламп HL1-HL5 и выключателей S1-S5 через многопозиционный переключатель SA, который служит для переключения полярности включения последовательной обмотки LG2 генератора G. В первом положении SA включает обмотку LG2 в цепь схемы с параллельной обмоткой LG1 согласно, во втором – встречно, а в третьем – отключает обмотку LG2 и замыкает точки ее включения 1 и 2 в якорной цепи генератора G.

3.2. Проверка условий самовозбуждения

При разомкнутых выключателях S1-S5 вольтметром V измеряют напряжение на выходе вращающегося генератора. Если вольтметр V показывает небольшое напряжение (ЭДС остаточного магнетизма), то это свидетельствует о том, что магнитная система генератора обладает остаточным магнетизмом Φ_{oc} . Затем реостатом

$R_{ш}$ постепенно увеличивают ток в параллельной обмотке возбуждения LG1 и наблюдают за показаниями вольтметра V . При этом возможны три случая:

а) напряжение генератора остается неизменным, что свидетельствует об обрыве в цепи возбуждения (найти место обрыва и устранить его), либо мала скорость вращения генератора;

б) напряжение генератора уменьшается, что указывает на неправильное подключение обмотки возбуждения к цепи обмотки якоря, при котором МДС обмотки возбуждения действует встречно магнитному потоку остаточного магнетизма Φ_{oc} и размагничивает машину; устранить этот дефект можно, изменив направление тока в параллельной обмотке возбуждения LG1 (поменять местами провода, подключенные к зажимам обмотки Ш1 и Ш2); или изменить направление вращения генератора и приводного двигателя М;

в) напряжение генератора увеличивается – начинается процесс самовозбуждения.

После того, как вы убедились в том, что генератор самовозбуждается, можно приступать к его исследованию.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Получение данных для внешней характеристики генератора со смешанным возбуждением (согласное включение)

4.1.1. Ознакомиться со стендом. Записать паспортные данные генератора. Подготовить таблицу.

4.1.2. Привести во вращение испытуемый генератор, включив приводной двигатель постоянного тока (п. 3.1).

4.1.3. Возбудить генератор (п. 3.2), установив на нем при помощи регулировочного реостата $R_{ш}$ номинальное напряжение 220 В (первая точка характеристики) $U_{x,x}=U_n$.

4.1.4. Постепенно загрузить генератор до номинальной нагрузки с помощью выключателей S1-S5, измеряя при этом токи якоря, возбуждения и напряжение на зажимах якоря генератора. Сопротивление регулировочного реостата $R_{ш}$ – не изменять.

4.1.5. Данные измерений занести в таблицу.

4.2. Полностью разгрузить генератор ($I_a=0$) и регулировочным реостатом $R_{ш}$ установить напряжение якоря равное 150В и снять регулировочную характеристику.

4.2.1. Постепенно увеличить нагрузку (S1-S5), поддерживая при помощи реостата $R_{ш}$ постоянное напряжение на якоре $U_r = 150$ В.

4.2.2. Полученные значения токов I_a и I_b занести в таблицу.

4.2.3. Разгрузить генератор ($I_a=0$). Выключить приводной двигатель (SB1).

Таблица

Тип возбуждения	Характеристики	Измеренные параметры					
Смешанное согласное	Внешняя	U (В)					
		I_b (мА)					
		I_a (А)					
	Регулировочная	U (В)					
		I_b (мА)					
		I_a (А)					
Смешанное встречное	Внешняя	U (В)					
		I_b (мА)					
		I_a (А)					
	Регулировочная	U (В)					
		I_b (мА)					
		I_a (А)					
Параллельное	Внешняя	U (В)					
		I_b (мА)					
		I_a (А)					
	Регулировочная	U (В)					
		I_b (мА)					
		I_a (А)					

4.3. Переключить последовательную обмотку встречно, поменяв местами при помощи переключателя SA1 ее концы C1 и C2, и проделать опыт п. 4.1.2. Снять внешнюю характеристику генератора при встречном включении последовательной обмотки возбуждения LG2.

4.4. Снять регулировочную характеристику при встречном включении LG2, проделав опыт по пункту 4.2.

Разгрузить генератор ($I_a=0$). Выключить приводной двигатель (SB1).

4.5. Отключить последовательную обмотку возбуждения LG2 при помощи переключателя SA1 и проделать опыт п. 4.1.2, сняв внешнюю характеристику генератора с параллельной обмоткой возбуждения.

4.6. Снять регулировочную характеристику генератора с параллельным возбуждением, проделав опыт п. 4.2.

4.7. Разгрузить полностью генератор G, выключить приводной двигатель M (кнопка SB1) и снять напряжение со стенда (QF).

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

По полученным данным (таблица) построить в одной системе координат $U = f(I_a)$ три внешних характеристики при $I_b = \text{const}$, а в системе координат $I_b = f(I_a)$ три регулировочных характеристики генератора при $U_r = \text{const}$ и при параллельном, смешанном встречном и смешанном согласном включении обмоток возбуждения.

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

6.1. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

6.2. Таблицы с данными опытов.

6.3. Графики внешних и регулировочных характеристик.

6.4. Формулы и аналитические зависимости, поясняющие условия самовозбуждения генератора и его работу при разных схемах включением обмоток возбуждения (по мере необходимости).

6.5. Упрощенную математическую модель ГПТ в системе координат dq.

7. ВОПРОСЫ

1. Условия самовозбуждения генератора параллельного возбуждения.

2. Написать уравнение электрического равновесия якорной цепи генератора со смешанным возбуждением.

3. Объяснить различие внешних характеристик генератора при параллельном, смешанном согласном и смешанном встречном включении обмоток возбуждением.

4. Пояснить причину различия регулировочных характеристик генератора при различных способах возбуждения.

5. Написать уравнение электромагнитного момента сопротивления вращению на валу генератора.

6. Показать на чертеже (или лабораторном образце) генератора расположение якорной обмотки, параллельной и последовательной обмоток возбуждения.

Лабораторная работа № 3: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться по учебнику и конспекту лекций с конструкцией и принципом действия двигателей постоянного тока с независимым возбуждением.

1.2. Приобрести практические навыки в исследовании режимов работы электрических машин постоянного тока, снять данные для электромеханической и механической характеристики.

1.3. Построить естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики ДПТ при изменении напряжения и сопротивления цепи якоря, магнитного потока обмотки возбуждения.

1.4. Рассчитать и построить рабочие характеристики ДПТ независимого возбуждения в относительных величинах.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема лабораторной установки для исследования двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ). Схема включает в себя автоматический выключатель QF , через который осуществляется питание автотрансформатора TV и блока питания БП для обмоток возбуждения, а также их защита от токов короткого замыкания.

Напряжение с автотрансформатора подаётся на понижающий трансформатор T , со вторичной обмотки которого через выпрямитель питается обмотка якоря двигателя. Автотрансформатор TV предназначен для изменения напряжения в якорной цепи исследуемого двигателя, которое контролируется вольтметром PVI . Величина тока в якорной цепи двигателя измеряется амперметром PAI . Конденсатор C служит для сглаживания пульсаций выпрямленного тока в обмотке якоря.

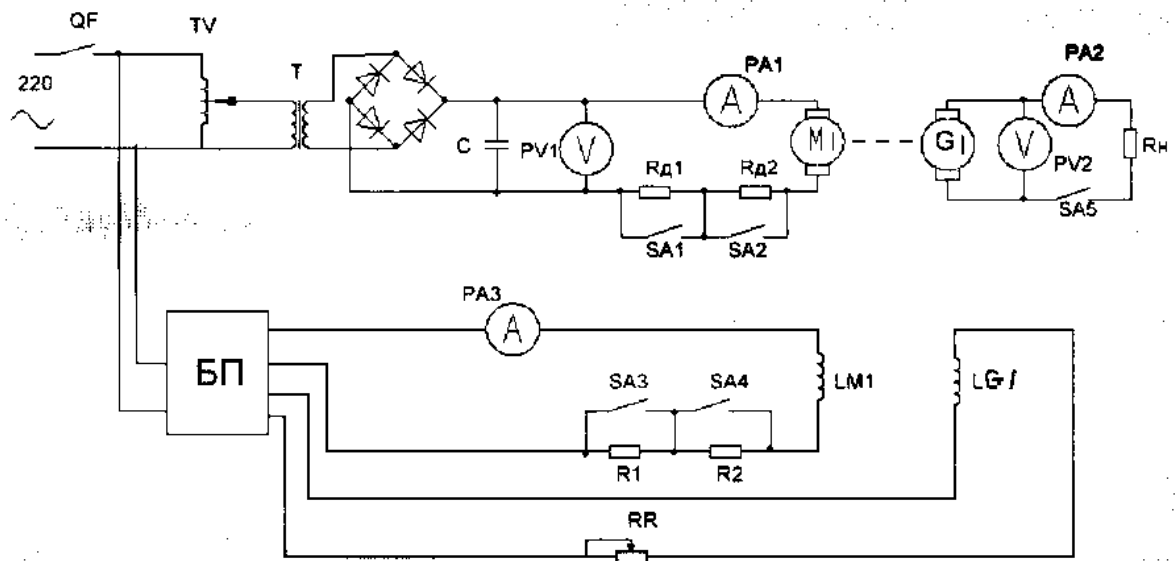


Рис.1. Принципиальная схема лабораторной установки

Ток и напряжение в якорной цепи нагрузочного генератора измеряются амперметром $PA2$ и вольтметром $PV2$ соответственно.

Выключатели $SA1$ и $SA2$ служат для ввода в цепь якоря дополнительных сопротивлений $Rd1$ и $Rd2$ соответственно. В исходном состоянии выключатели $SA1$ и $SA2$ находятся в положении «Вкл» для шунтирования сопротивлений $Rd1$ и $Rd2$.

Выключатели $SA3$ и $SA4$ предназначены для изменения тока в обмотке возбуждения двигателя $LM1$ путём ввода в неё сопротивлений $R1$ и $R2$ соответственно. В исходном состоянии выключатели $SA3$ и $SA4$ находятся в положении «Вкл». Ток в обмотке возбуждения двигателя измеряется амперметром $PA3$. С помощью регулируемого реостата RR изменяется ток в обмотке возбуждения нагрузочного генератора LGI , тем самым увеличивая или уменьшая нагрузку на двигатель.

Выключатель $SA5$ предназначен для размыкания якорной цепи нагрузочного генератора $G1$ при работе в режиме холостого хода.

3. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Номинальные данные исследуемого двигателя и нагрузочной машины одинаковы: $U_H = 12,5$ В; $P_H = 225$ Вт; $I_{ан} = 18$ А;

$n_H = 1850$ об/мин (193,6 рад/с); $\eta = 0,64$; $R_3 = 1,22$ Ом; возбуждение независимое.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Получение данных для построения электромеханических и механических характеристик исследуемого двигателя при изменении напряжения на якоре ($U_a = var$, $R_a = const$, $\Phi = const$).

4.1.1. Привести схему в исходное состояние: выключатели QF , $SA1-SA5$ в положение «Вкл», реостат RR выведен.

4.1.2. С помощью автотрансформатора TV установить по вольтметру $PV1$ напряжение в цепи якоря 8 В.

4.1.3. С помощью реостата RR , изменяя ток в цепи обмотки $LG1$ нагрузочного генератора $G1$, произвести замеры параметров для 3–4 точек искусственной характеристики. Данные измерений занести в таблицу 1. Реостат RR установить в исходное положение (вывести).

Таблица 1

Измерено						Вычислено	
№ п/п	$U_a(PV1)$, В	$I_a(PA1)$, А	$U_{a.ген}(PV2)$, В	$I_{a.ген}(PA2)$, А	$n(PS)$, об/мин	M_2 , Нм	P_2 , Вт

4.1.4. С помощью автотрансформатора TV установить по $PV1$ напряжение в цепи якоря 10 В и повторить действия по пункту 4.1.3.

4.1.5. С помощью автотрансформатора TV установить по $PV1$ напряжение в цепи якоря 14 В и повторить действия по пункту 4.1.3.

4.2. Получение данных для построения электромеханических и механических характеристик исследуемого двигателя при изменении сопротивления в якорной цепи ($U_a = const$, $R_a = var$, $\Phi = const$).

4.2.1. Установка в работе, схема управления находится в исходном состоянии (см. п. 4.1.1). Включить в якорную цепь исследуемого двигателя $M1$ добавочное сопротивление $R1$ переводя выключатель $SA1$ в положение «Выкл».

4.2.2. С помощью автотрансформатора установить по $PV1$ напряжение в цепи якоря 12 В.

4.2.3. С помощью реостата RR , изменяя ток в цепи обмотки $LM2$ нагрузочного генератора $G1$, произвести замеры параметров для 3–4 точек искусственной характеристики. Данные измерений занести в таблицу 2. Реостат RR установить в исходное положение (вывести).

4.2.4. Перевести выключатель $SA1$ в положение «Вкл», а $SA2$ в положение «Выкл» и повторить действия по пункту 4.2.3.

4.2.5. Перевести выключатель $SA1$ в положение «Выкл» и повторить действия по пункту 4.2.3.

Таблица 2

№ п/п	Измерено					Вычислено	
	$U_a(PV1),$ В	$I_a(PA1),$ А	$U_{a.ген}(PV2),$ В	$I_{a.ген}(PA2),$ А	$n(PS),$ об/мин	$M_2,$ Нм	$P_2,$ Вт

4.3. Получение данных для построения электромеханических и механических характеристик исследуемого двигателя при изменении магнитного потока ($U_a = \text{const}, R_a = \text{const}, \Phi = \text{var}$).

4.3.1. Установка в работе, схема управления находится в исходном состоянии (см. п.4.1.1). Включить в цепь обмотки возбуждения $LM1$ исследуемого двигателя $M1$ добавочное сопротивление $R1$ переводя выключатель $SA3$ в положение «Выкл».

4.3.2. С помощью автотрансформатора TV установить по $PV1$ напряжение в цепи якоря 12 В.

4.3.3. С помощью реостата RR , изменяя ток в цепи обмотки $LM2$ нагрузочного генератора $G1$, произвести замер параметров для 3–4 точек искусственной характеристики. Данные измерений занести в таблицу 3. Реостат RR установить в исходное положение (вывести).

Таблица 3

№ п/п	Измерено						Вычислено	
	$U_a(PV1),$ В	$I_a(PA1),$ А	$U_{a.г}(PV2),$ В	$I_{a.ген}(PA2),$ А	$I_в(PA3),$ А	$n(PS),$ об/мин	$M_2,$ Нм	$P_2,$ Вт

4.3.4. Включить в цепь обмотки возбуждения LMI исследуемого двигателя $M1$ добавочное сопротивление $R2$ переведя выключатели $SA3$ в положение «Вкл», а $SA4$ в положение «Выкл» и повторить действия по пункту 4.3.3.

4.3.5. Перевести выключатель $SA3$ в положение «Выкл» и повторить действия по пункту 4.3.3.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. На основании опытных данных (табл. 1, 2, 3) построить естественную и искусственные электромеханические $\omega=f(I_a)$ и механические $\omega=f(M)$ характеристики. Характеристики строить в относительных величинах. За базовые значения переменных брать номинальные их значения согласно п. 3.

5.2. При вычислении вращающего момента на валу испытуемого двигателя $M1$ можно воспользоваться приближенными расчетными формулами, полученными на основании условия инвариантности мощности. На рис. 2. представлена упрощенная энергетическая диаграмма системы «двигатель - генератор» ($M-G$).

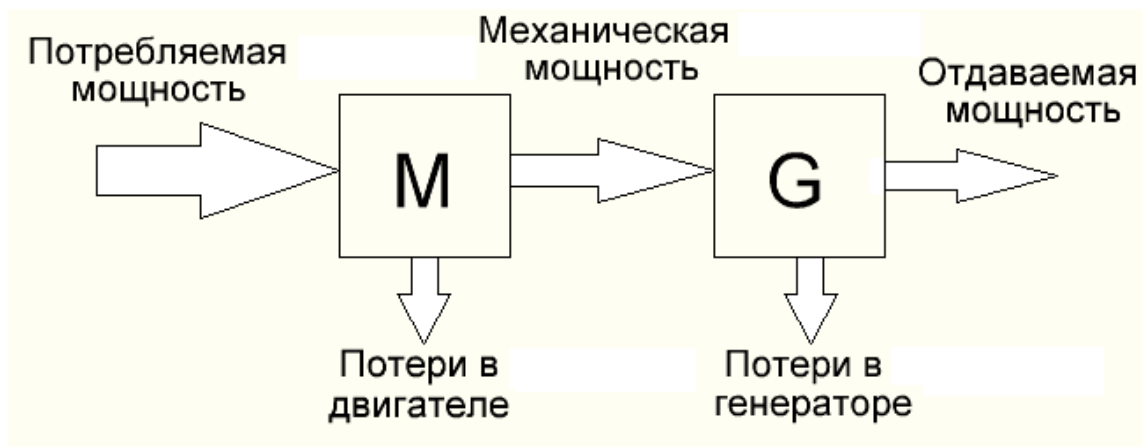


Рис.2. Энергетическая диаграмма стенда

Общие потери мощности при двойном преобразовании энергии в системе $M1-G1$ составляют:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{дв}} + \Delta P_{\text{ген}} = P_{1\text{дв}} - P_{2\text{ген}}, \quad (5.1)$$

где $P_{1\text{дв}} = U_{a1}I_{a1}$ – мощность, потребляемая исследуемым двигателем из первичной сети постоянного тока, Вт; $P_{2\text{ген}} = U_{a2}I_{a2}$ – мощность,

отдаваемая нагрузочной машиной во вторичную сеть постоянного тока, Вт; $\Delta P_{\text{дв}}$ – потери мощности в исследуемом двигателе при преобразовании электрической энергии в механическую, Вт; $\Delta P_{\text{ген}}$ – потери мощности в нагрузочной машине при преобразовании механической энергии в электрическую, Вт.

Поскольку машины соединены общим валом, а номинальные мощности исследуемой M и нагрузочной машин G одинаковы, то в первом приближении можно считать, что суммарные потери в них при работе в любом промежуточном режиме тоже одинаковы. Распределение мощностей в системе «исследуемый двигатель – нагрузочная машина» имеет вид:

$$P_{\text{дв}} - \Delta P_{\text{дв}} = P_{\text{мех}} = P_{\text{ген}} + \Delta P_{\text{ген}} \quad (5.2)$$

где $P_{\text{мех}} = M_{\text{в}} \cdot \omega_{\text{в}}$ – механическая мощность на валу двигателя и нагрузочной машины; $\omega_{\text{в}}$ – угловая скорость вращения общего вала; $M_{\text{в}}$ – искомый вращающий момент на общем валу двигателя $M2$ и генератора $G2$.

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 6.1. Чертеж (схематично) поперечного разреза электрической машины с указанием основных элементов конструкции частей.
- 6.2. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.
- 6.3. Таблицы с данными опытов.
- 6.4. Графики характеристик.
- 6.5. Формулы и зависимости, поясняющие работу двигателя в различных режимах и методику расчета данных для построения характеристик.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Объяснить по принципиальной электрической схеме рис. 1 работу лабораторной установки.
2. Какие преимущества имеет двигатель с независимым возбуждением перед двигателями параллельного возбуждения?

3. Как изменить направление вращения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением?

4. Какие особенности имеет режим динамического торможения у двигателей независимого возбуждения по сравнению ДПТ других типов?

5. Каким образом можно перевести двигатель независимого возбуждения из двигательного режима работы в режим противовключения?

6. Каким образом можно перевести двигатель независимого возбуждения из двигательного режима работы в режим динамического торможения?

7. Объяснить процесс регулирования скорости вращения ДПТ НВ ослаблением магнитного потока машины.

8. Объяснить процесс регулирования скорости вращения ДПТ НВ введением добавочного сопротивления в цепь якоря.

9. Объяснить процесс регулирования скорости вращения ДПТ НВ изменением подводимого к якорю двигателя напряжения.

10. Дать сравнительный анализ способов регулирования скорости вращения двигателей независимого возбуждения.

Лабораторная работа № 4: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться по учебнику и конспекту лекций с конструкцией и принципом действия двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением (ДПТ ПВ).

1.2. Приобрести практические навыки в исследовании режимов работы электрических машин постоянного тока, снять данные для электромеханической и механической характеристики.

1.3. Построить естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики ДПТ при изменении напряжения якоря, сопротивления в якорной цепи и при ослаблении потока возбуждения, а также рассчитать и построить рабочие характеристики ДПТ последовательного возбуждения.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

На (рис.1) представлена принципиальная электрическая схема лабораторной установки по испытанию двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Схема включает в себя автоматический выключатель QF , через который осуществляется питание схемы и её защита от токов короткого замыкания. При замыкании ключа $SA1$ исследуемый электродвигатель M подключается с сети постоянного тока 110 В , напряжение подводимое к электродвигателю контролируется с помощью вольтметра $pV1$.

Последовательно с якорной обмоткой электродвигателя включен пусковой реостат $R_{пуск}$, служащий для ограничения пускового тока и для получения искусственных характеристик. После окончания процесса пуска реостат $R_{пуск}$ должен быть шунтирован ключом $SA3$. Регулировочный реостат $RR1$ и ключ $SA2$, предназначены для регулирования скорости вращения электродвигателя M шунтированием его обмотки возбуждения LM . Амперметры $pA1$ и $pA2$, служат для измерения тока в обмотке возбуждения и в обмотке якоря соответственно.

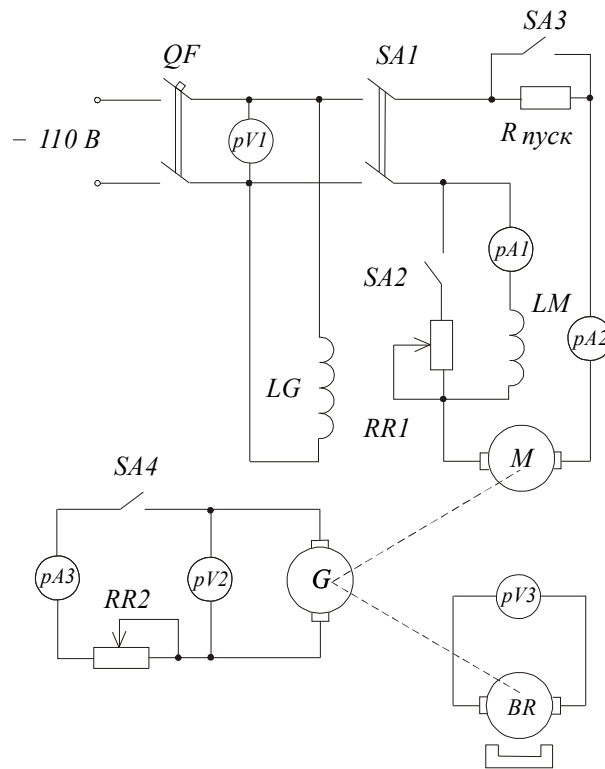


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки по испытанию электрического двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

В качестве нагрузочного устройства, используется генератор постоянного тока с независимым возбуждением G , вал которого соединен с валом испытуемого электродвигателя (механическая связь на рис. 1 показана пунктирной линией), а как же с валом тахогенератора BR , предназначенного для измерения скорости вращения данной системы. Для изменения нагрузки на валу двигателя M , последовательно якорной обмотке G включены ключ $SA4$ и реостат $RR2$. Напряжения на зажимах генератора G , и ток в его якорной обмотке контролируются с помощью $pV2$ и $pA3$ соответственно.

Паспортные данные на испытуемый электродвигатель и генератор с независимым возбуждением приведены в таблице 1.

Таблица 1

Обозначение	Наименование	Возбуждение	P_n , кВт	I_n , А	n_n , об/мин	КПД, %	U_n , В	$U_{вн}$, В
M	ПС-51	Посл.	0,32	4	1200	72	110	-
G	ПСТ-53	Независ.	0,55	6,2	3000	76	110	110

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Получение данных для построения естественной скоростной (электромеханической) $n=f(I_a)$ и рабочих характеристик n , M_2 , $I_a=f(P_2)$ ДПТ ПВ.

3.1.1. Включить автоматический выключатель QF и по вольтметру $pV1$ проконтролировать величину напряжения поданного на стенд ($U=100$ В).

3.1.2. Необходимо убедиться, что ключи $SA2-SA4$ находятся в отключенном состоянии.

3.1.3. Пуск двигателя осуществляется включением ключа $SA1$ (кнопка “Пуск”).

3.1.4. После стабилизации тока якоря включить ключ $SA3$, шунтирующий пусковое сопротивление $R_{пуск}$.

3.1.5. Включить ключ $SA4$ и реостатом $RR2$ увеличить нагрузку на валу испытуемого двигателя до $I_a=1,2I_n$.

3.1.6. Постепенно уменьшая реостатом $RR2$ ток в якорной обмотке генератора G , снизить нагрузку на валу двигателя M , до тех пор, пока ток не станет равным $I_a=0,2I_n$. При этом через приблизительно одинаковый интервал значений тока якоря двигателя I_a снимать показания приборов (не менее пяти показаний) и заносить их в таблицу 2.

3.1.7. Выключить установку.

Таблица 2

№ п/п	Измерено					Вычислено	
	$U_{сстм}(pV1)$, В	$I_{a.об}(pA2)$, А	$U_{a.ген}(pV2)$, В	$I_{a.ген}(pA3)$, А	$n(pV3)$, об/мин	M_2 , Нм	P_2 , Вт

3.2. Получение данных для построения искусственных характеристик ДПТ ПВ при ослаблении потока возбуждения.

3.2.1. Запустить двигатель (пункты 3.1.1. – 3.1.4.).

3.2.2. Включить ключ $SA4$ и реостатом $RR2$ увеличить нагрузку на валу испытуемого двигателя до $I_a=I_n$.

3.2.3. Ввести полностью реостат $RR1$, включить ключ $SA2$ и установить реостатом $RR1$ $I_B=0,5 I_a$.

3.2.4. Постепенно уменьшая реостатом $RR2$ ток в якорной обмотке генератора G , снизить нагрузку на валу двигателя M , до тех

пор, пока ток не станет равным $I_a=0,2I_n$. При этом через приблизительно одинаковый интервал тока якоря двигателя I_a снять показания приборов (не менее пяти показаний) и занести их в таблицу 3.

Таблица 3

Данные для построения искусственной электромеханической, механической характеристики при $\Phi=var$

Измерено						Вычислено	
№ п/п	$U_{сету}(pV1)$ В	$I_{a.дв}(pA2)$ А	$U_{a.ген}(pV2)$ В	$I_{a.ген}(pA3)$ А	$n(pV3)$ об/мин	M_2 Нм	P_2 Вт

3.3. Получение данных для построения искусственных характеристик при введении добавочного сопротивления в цепь якоря.

3.3.1. Запустить двигатель (пункты 4.1.1. – 4.1.3.).

3.3.2. Ключ $SA3$ разомкнут, пусковой резистор $R_{пуск}$ остается включенным в цепь якоря.

3.3.3. Включить ключ $SA4$ и реостатом $RR2$ увеличить нагрузку на валу испытуемого двигателя до $I_a=1,2I_n$.

3.3.4. Постепенно уменьшая реостатом $RR2$ ток в якорной обмотке генератора G , снизить нагрузку на валу двигателя M , до тех пор, пока ток не станет равным $I_a=0,2I_n$. При этом через приблизительно одинаковый интервал тока якоря двигателя I_a снять показания приборов (не менее пяти показаний) и занести их в таблицу 4.

3.3.5. Выключить установку.

Таблица 4

Данные для построения искусственной электромеханической и механической характеристики при $R_{a.доб.}=var$

Измерено						Вычислено	
№ п/п	$U_{сету}(pV1)$ В	$I_{a.дв}(pA2)$ А	$U_{a.ген}(pV2)$ В	$I_{a.ген}(pA3)$ А	$n(pV3)$ об/мин	M_2 Нм	P_2 Вт

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

4.1. На основании опытных данных (табл. 2, 3, 4) построить в одной системе координат естественную и две искусственные электромеханические характеристики $n = f(I_a)$:

а) при ослабленном магнитном потоке возбуждения;

б) при введенном в цепь якоря добавочном сопротивлении $R_{пуск}$. Характеристики строить в относительных величинах. За базовые значения переменных n и I_a брать их номинальные величины из таблицы 1.

4.2. По данным таблиц 1-4 рассчитать вращающий момент на валу испытуемого двигателя M_2 и механическую мощность исследуемого двигателя P_2 .

4.3. При вычислении вращающего момента на валу испытуемого двигателя M_2 в статическом режиме работы можно воспользоваться приближенными расчетными формулами, полученными на основании упрощенных энергетических диаграмм двигателя и генератора.

Потери мощности при двойном преобразовании энергии в системе М1-G2 составляют:

$$\Delta P = \Delta P_{дв} + \Delta P_{ген} = P_{1дв} - P_{2ген}, \quad (4.1)$$

где $P_{1дв} = U_{a1} I_{a1}$ – мощность, потребляемая исследуемым двигателем из первичной сети постоянного тока, Вт; $P_{2ген} = U_{a2} I_{a2}$ – мощность, отдаваемая нагрузочной машиной (генератором) во вторичную сеть постоянного тока, Вт; $\Delta P_{дв}$ – потери мощности в исследуемом двигателе при преобразовании электрической энергии в механическую, Вт; $\Delta P_{ген}$ – потери мощности в нагрузочной машине при преобразовании механической энергии в электрическую, Вт.

Поскольку номинальные мощности исследуемой и нагрузочной машин различаются почти в два раза (см. табл. 1), то в первом приближении можно считать, что суммарные тепловые потери $\Delta P = \Delta P_{дв} + \Delta P_{ген}$ в машинах распределятся прямо пропорционально отношению их номинальных мощностей.

$$\frac{0,32 \text{ кВт}}{0,55 \text{ кВт}} = 0,6 \approx \frac{\Delta P_{дв}}{\Delta P_{ген}}, \quad \text{т.е. } \Delta P_{дв} \approx 0,6 \Delta P_{ген} \quad (4.2)$$

Решая совместно уравнения (4.1) и (4.2) находим значения $\Delta P_{ген}$ и $\Delta P_{дв}$ для каждого опыта. Тогда баланс мощностей в системе «исследуемый двигатель – нагрузочная машина» имеет вид:

$$P_{дв} - \Delta P_{дв} = P_{мех} = P_{2ген} + \Delta P_{ген}. \quad (4.3)$$

где $P_{мех} = M_{в} \cdot \omega_{в}$ – механическая мощность на валу двигателя и нагрузочной машины; $\omega_{в}$ – угловая скорость вращения общего вала; $M_{в}$ – искомый вращающий момент на общем валу двигателя М2 и генератора G2.

4.4. Пользуясь расчетными и снятыми при выполнении опытов данным (табл. 2.1), построить рабочие характеристики $M_2, n, I_a = f(P_2)$.

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

5.1. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

5.2. Таблицы с данными опытов.

5.3. Графики электромеханической, механической и рабочих характеристик.

5.4. Формулы и зависимости, поясняющие работу двигателя в различных энергетических режимах.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Объяснить вид и особенности механической и электромеханической характеристики двигателя последовательного возбуждения.

2. Чем опасен холостой ход для двигателя последовательного возбуждения?

3. Какие преимущества имеет двигатель последовательного возбуждения перед двигателем параллельного возбуждения?

4. Как изменить направление вращения двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением?

5. Какие особенности имеет режим динамического торможения у двигателей последовательного возбуждения по сравнению ДПТ других типов?

6. Каким образом можно перевести двигатель последовательного возбуждения в режим противовключения?

7. Каким образом можно перевести двигатель последовательного возбуждения в режим динамического торможения?

8. Какие имеются способы регулирования частоты вращения серийного двигателя?

9. Объяснить причину изменения скорости вращения двигателя при ослаблении магнитного потока машины.

10. Объяснить причину изменения скорости вращения двигателя при введении добавочного сопротивления в цепь якоря.

11. Объяснить причину изменения скорости вращения якоря ДПТ при изменении подводимого к двигателю напряжения.

Лабораторная работа № 5: ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить устройство и принцип действия однофазного трансформатора.

1.2. Приобрести практические навыки в исследовании трансформаторов.

1.3. Получить экспериментальные данные, обработать их и построить характеристики холостого хода, короткого замыкания, треугольник короткого замыкания, внешнюю характеристику и зависимость КПД исследуемого трансформатора от нагрузки.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для определения параметров трансформатора опытным путем необходимо провести два опыта: холостого хода и короткого замыкания.

2.1. Опыт холостого хода может проводиться и при питании со стороны вторичной обмотки. Обычно питание осуществляется со стороны обмотки НН (низкого напряжения), т.к. это облегчает проведение экспериментов. Подводимое напряжение изменяется в пределах $(0,3 \div 1,2)U_H$ данной обмотки. Потери при холостом ходе P_x – при $U_x = U_{1H}$, это потери в стали магнитопровода трансформатора.

По данным опыта холостого хода P_x ; I_x ; U_x определяют параметры ветви намагничивания схемы замещения трансформатора x_0 ; r_0 ; z_0 и ток холостого хода I_0 . Уравнения трансформатора при холостом ходе выглядят следующим образом:

$$\dot{U}'_1 = -\dot{E}'_1 + \dot{I}_1 \cdot Z_1; \quad \dot{U}'_2 = \dot{E}'_2; \quad \dot{I}_0 = \dot{I}_1.$$

2.2. Опыт короткого замыкания проводится при пониженном напряжении, приложенном к первичной обмотке $U_k = (0,05 \div 0,15)U_{1H}$.

При проведении опыта следует иметь в виду, что по обмоткам трансформатора протекает номинальный ток, и сопротивление их за счет нагревания может меняться. При проведении опыта сопротивление обмоток следует привести к температуре 75°C .

Потери мощности P_k при коротком замыкании и токе $I_k = I_{2H}$ – это потери в меди трансформатора P_m .

Уравнения трансформатора при коротком замыкании

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 \cdot Z_1; \quad 0 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 \cdot Z'_2; \quad \dot{I}_1 = -\dot{I}'_2.$$

По данным опыта короткого замыкания P_k ; I_k ; U_k определяют параметры треугольника короткого замыкания $U_{ак} = I_{1H} \cdot r_k / U_{1H} \cdot 100\%$; $U_{рк} = I_{1H} \cdot x_k / U_{1H} \cdot 100\%$ и напряжение короткого замыкания

$$U_k = I_{1H} \cdot Z_k / U_{1H} \cdot 100\%.$$

2.3. Внешней характеристикой трансформатора называют зависимость $U_2 = f(I_2)$ при $U_1 = \text{const}$; $\cos\varphi_2 = \text{const}$. Иногда значения тока I_2 берут в относительных величинах, заменяя его значения коэффициентом нагрузки $\beta = I_2 / I_{2H}$; $U_2 = f(\beta)$.

Уравнение внешней характеристики имеет вид

$$U_2 = U_{2x.x} - \Delta U,$$

где $\Delta U = \beta(U_{ак} \cdot \cos\varphi_2 + U_{рк} \cdot \sin\varphi_2)$.

2.4. КПД трансформатора η показывает соотношение между мощностью, которая передается из первичной обмотки во вторичную и обратно, и мощностью, которая преобразуется в тепло и рассеивается

$$\eta = 1 - (P_x + \beta^2 \cdot P_k) / (\beta \cdot S_{2H} \cdot \cos\varphi_2 + P_x + \beta^2 \cdot P_k).$$

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

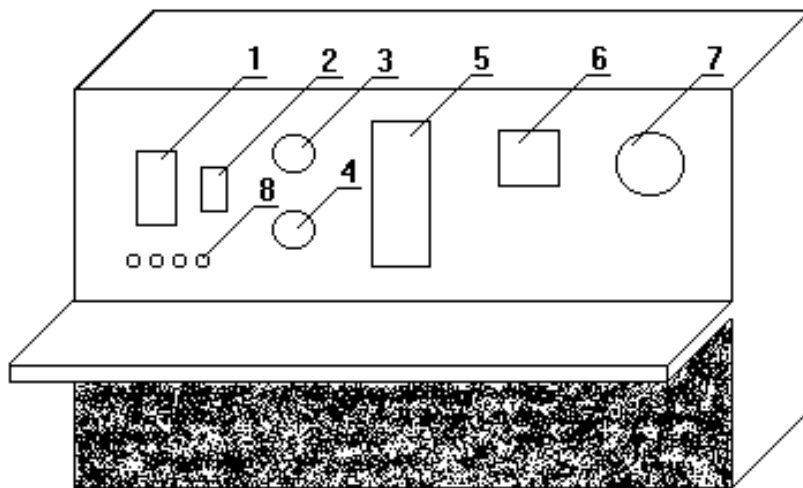


Рис. 1

На верхней части передней панели установлены: автоматический выключатель (QF) поз. 1, через который подается питание на автотрансформатор (TV1) поз. 4, с которого подается напряжение на группу контактов, выведенных на переднюю панель поз. 8, к которым подключается комплект измерительных приборов К-505. Короткозамыкатель (SA1) поз. 2, имеет два положения Вкл/Выкл. «Вкл» соответствует режиму короткого замыкания. На переднюю панель выведены: вольтметр (PV2) поз. 6, для измерения напряжения вторичной цепи и амперметр (РА2) поз. 7, для измерения тока вторичной цепи. Реостат (RR) поз. 5 и ключ (SA2) поз. 3, имеющий четыре положения, для подключения конденсатора, реостата, катушки индуктивности и холостой ход.

За передней панелью в верхней части расположены универсальный трансформатор напряжения, конденсатор, реостат, катушка индуктивности.

Каркас стенда заземлен на заземляющий контур.

3.1. Принципиальная электрическая схема стенда

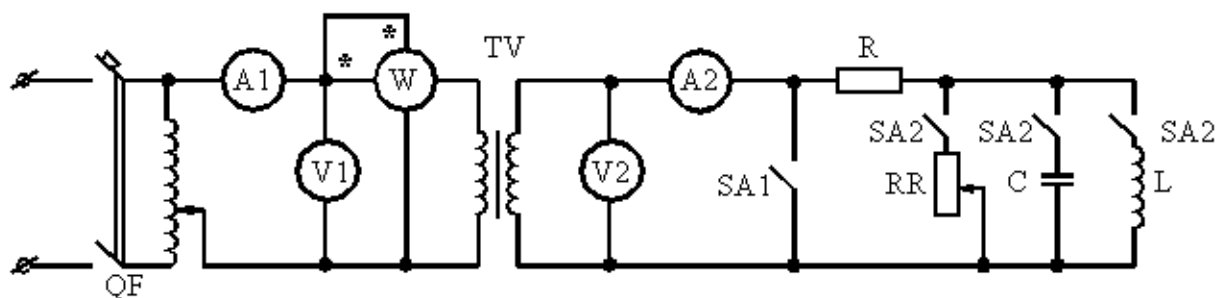


Рис. 2

С помощью автоматического выключателя QF на вход автотрансформатора подается напряжение 220 В. Через комплект измерительных приборов К-505 напряжение подается на первичную обмотку трансформатора УТН-1. Основные характеристики трансформатора: $S_H = 300 \text{ ВА}$; $U_{1H} = 220 \text{ В}$; $I_{2H} = 3 \text{ А}$.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Опыт холостого хода

4.1.1. Собрать схему, изображенную на рис. 3.

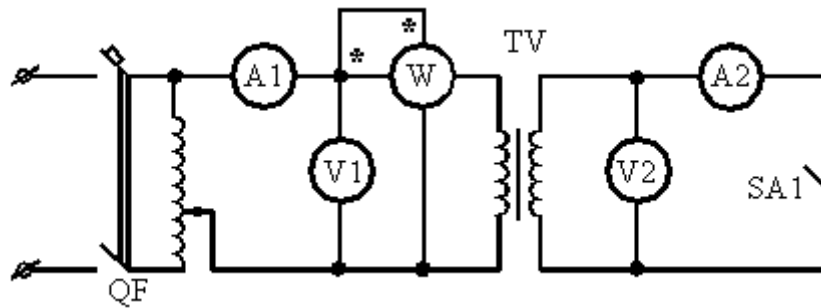


Рис. 3

4.1.2. С помощью автотрансформатора (поз. 4) изменять напряжение U_1 от 60 до 240 В; снять 4-5 точек. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Измерено				Вычислено				
	$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1(I_0), А$	$P_{x/x}, Вт$	K	x_0	r_0	$P_{ст}, Вт$	z_0

4.2. Опыт короткого замыкания

4.2.1. Уменьшить напряжение U_1 до 0. Включить короткозамыкатель SA1. Собрать схему, изображенную на рис. 4.

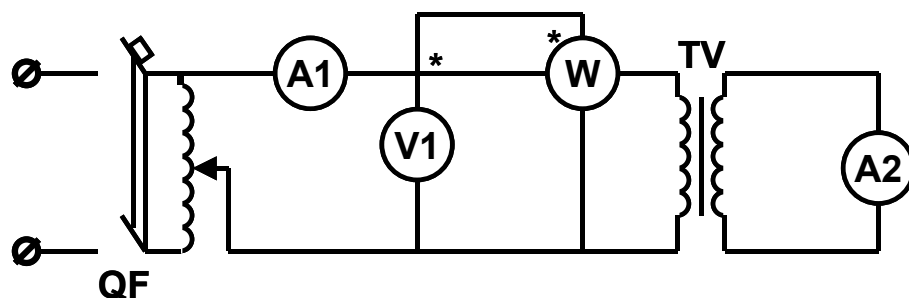


Рис. 4

4.2.2. Увеличивать напряжение U_1 и следить за показанием амперметра во вторичной цепи трансформатора A_2 . Установить ток $I_k = I_{2н} = 3 А$. Записать показания приборов в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	Измерено					Вычислено					
	$U_{1к},$ В	$I_{1к},$ А	$I_{2к},$ А	$P_{к},$ Вт	$P_{м},$ Вт	$U_{ак},$ %	$U_{рк},$ %	$U_{к},$ %	$Z_{к}$	$r_{к}$	$x_{к}$

4.2.3. Уменьшая напряжение U_1 до 0 снять показания приборов в пяти точках и занести их в таблицу 2.

4.2.4. Разомкнуть короткозамыкатель SA1.

4.3. Исследование трансформатора под нагрузкой

4.3.1. Собрать схему, изображенную на рис. 2.

4.3.2. Установить первичное напряжение $U_1 = U_H = 220$ В.

4.3.3. Переключателем режимов SA2 поочередно установить активную, активно-индуктивную либо активно-емкостную нагрузку, каждый раз записывая показания приборов в табл. 3.

Таблица 3

Нагрузки	$U_{1н},$ В	$U_2,$ В	$P_1,$ Вт	$I_1,$ А	$I_2,$ А	φ_2
Холостой ход	220					
Активно-индуктивная	220					$+60^\circ$
Активно-емкостная	220					-60°
Активная	220					0

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. На основании данных, полученных в опыте холостого хода:

- построить зависимость тока I_0 , потерь холостого хода P_x , $\cos\varphi_x$ от напряжения U_x ;

- определить коэффициент трансформации трансформатора K при $U_{1н} = 220$ В;

- определить параметры ветви намагничивания схемы замещения трансформатора x_0 ; r_0 ; z_0 ;

- построить векторную диаграмму режима холостого хода трансформатора;

- определить потери в стали трансформатора P_c .
- 5.2. На основании данных опыта короткого замыкания:
- построить зависимость тока I_k , мощности короткого замыкания P_k от напряжения короткого замыкания U_k ;
 - определить потери в меди трансформатора;
 - построить векторную диаграмму работы трансформатора в режиме короткого замыкания;
 - определить параметры треугольника короткого замыкания U_k .
- 5.3. Построить в одной системе координат внешнюю характеристику трансформатора:
- при активной нагрузке трансформатора;
 - при активно-индуктивной нагрузке трансформатора;
 - при активно-емкостной нагрузке трансформатора.
- 5.4. Построить векторные диаграммы трансформатора при индуктивной и емкостной нагрузке.
- 5.5. Определить максимальное значение КПД (η) трансформатора и соответствующее ему значение коэффициента нагрузки β .
- 5.6. Построить общий вид зависимости от нагрузки $\eta = f(\beta)$.
- 5.7. Рассчитать установившийся ток короткого замыкания трансформатора.
- 5.8. Рассчитать ударный ток короткого замыкания трансформатора.

6. ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 6.1. Чертеж поперечного разреза стержня трансформатора с обмотками.
- 6.2. Принципиальные электрические схемы опытов холостого хода и короткого замыкания.
- 6.3. Таблицы с данными опытов.
- 6.4. Графики зависимостей и характеристик.
- 6.5. Формулы, уравнения и векторные диаграммы, поясняющие работу трансформатора в исследуемых режимах.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Дайте классификацию однофазных трансформаторов и опишите их устройство.
2. Поясните принцип действия трансформатора.
3. Почему, при отсутствии электрической связи между обмотками, увеличение тока во вторичной обмотке трансформатора влечет за собой увеличение тока в первичной?
4. На что расходуется активная мощность, потребляемая трансформатором в опыте холостого хода?
5. На что расходуется активная мощность, потребляемая трансформатором в опыте короткого замыкания?

Лабораторная работа № 6: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ РАБОТЕ НА НЕСИММЕТРИЧНУЮ НАГРУЗКУ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться по учебнику и конспекту лекций с конструкцией, принципом действия и работой трехфазных трансформаторов в различных режимах.

1.2. Приобрести практические навыки в определении параметров схемы замещения трехфазных трансформаторов, работающих на несимметричную нагрузку при различных схемах соединения обмоток.

1.3. Ознакомиться с условиями включения трехфазных трансформаторов в параллельную работу.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Для анализа несимметричных режимов работы трехфазных трансформаторов используется метод симметричных составляющих, предложенный в 1918 г. С. Фортестью. Метод основан на принципе наложения (принципе суперпозиции), который справедлив только для линейных систем. Поэтому при использовании метода принимается допущение, что сталь магнитопроводов трансформатора в несимметричном режиме работы не насыщена.

2.2. Следует иметь в виду, что параметры схем замещения трансформатора работающего на несимметричную нагрузку для токов прямой и обратной последовательности одинаковы и равны параметрам схемы замещения трансформатора работающего в симметричном режиме.

Для токов нулевой последовательности параметры и все переменные схемы замещения зависят от схемы соединения обмоток трансформатора. При этом возможны два принципиально различных варианта схем соединения обмоток, в которых:

а) токи нулевой последовательности протекают только в одной обмотке трансформатора;

б) токи нулевой последовательности протекают в обеих обмотках (первичной и вторичной одновременно).

2.3. При проведении опытов полагаем, что мощность сети, питающей исследуемый трансформатор, намного больше мощности самого трансформатора. Это означает, что при любых искажениях симметрии вторичных и первичных фазных напряжений система первичных линейных напряжений остается симметричной.

В качестве источника регулируемого напряжения использован автотрансформатор АТМН-32-220-75 ЦХЛН, а в качестве исследуемого трехфазного трансформатора использован групповой трансформатор типа ТСП, мощностью $S_n = 150 \text{ ВА}$, $I_{н2} = 1 \text{ А}$, $U_{2н} = 16 \text{ В}$.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема лабораторной установки для определения параметров схемы замещения, трехфазного трансформатора при симметричной нагрузке. Схема включает в себя автоматический выключатель $QF1$, через который осуществляется питание автотрансформатора $TV1$ и его защита от токов короткого замыкания.

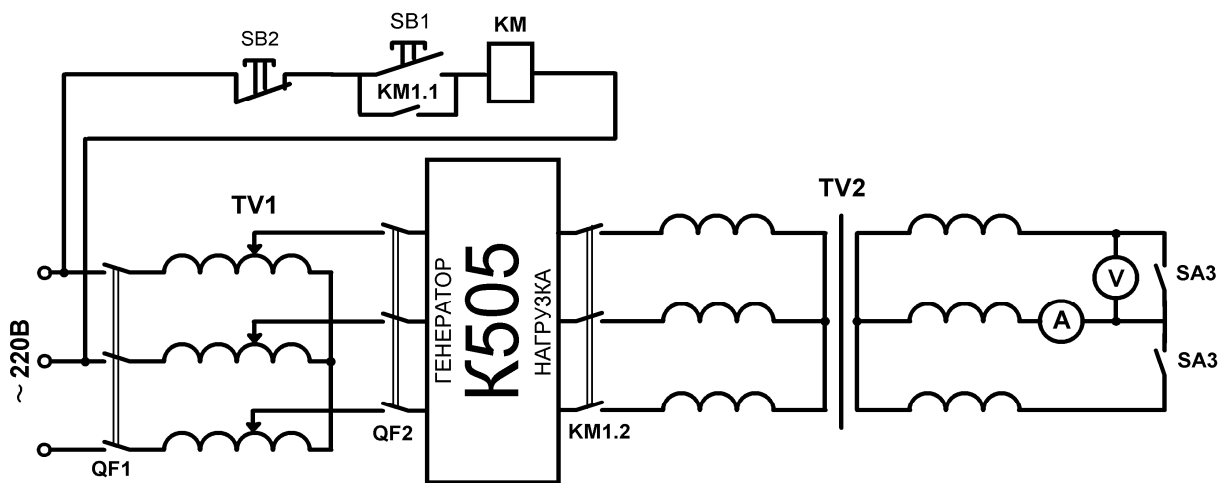


Рис. 1

Напряжение автотрансформатора $TV1$ через выключатель $QF1$, измерительный комплекс приборов К-505 и пускатель KM подается на вторичную обмотку исследуемого трансформатора $TV2$. Обмотка ВН исследуемого трансформатора $TV2$ с помощью контактора $SA3$ замыкается накоротко в режиме короткого замыкания, либо размыкаются - в режиме холостого хода. В цепь фазы B обмотки

ВН включены приборы PV и PA для определения токов и напряжений в исследуемых режимах.

Напряжение автотрансформатора $TV1$ через выключатель $QF1$, измерительный комплекс приборов К-505 и пускатель KM подается на вторичную обмотку исследуемого трансформатора $TV2$. Обмотка ВН исследуемого трансформатора $TV2$ с помощью контактора $SA3$ замыкается накоротко в режиме короткого замыкания, либо размыкаются – в режиме холостого хода. В цепь фазы B обмотки ВН включены приборы PV и PA для определения токов и напряжений в исследуемых режимах.

На рис. 2 изображена схема для определения сопротивления току нулевой последовательности, когда ток нулевой последовательности протекает только в обмотке НН. Первичная обмотка трансформатора разомкнута, а вторичная соединена по схеме открытого треугольника.

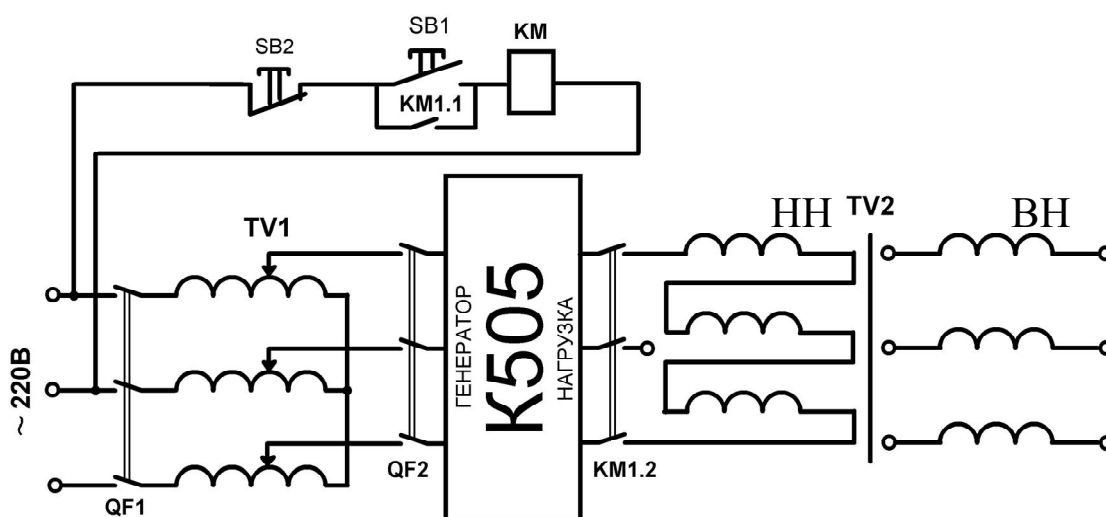


Рис. 2

В этом случае во всех фазах вторичной обмотки протекают токи, одинаковые по величине и фазе, создающие в стержнях магнитной системы потоки нулевой последовательности, замыкающиеся по воздуху и стенкам бака.

На (рис. 3) представлена испытательная схема при соединении обмоток трансформатора Δ/Y_H , имитирующая протекание токов нулевой последовательности в обеих обмотках.

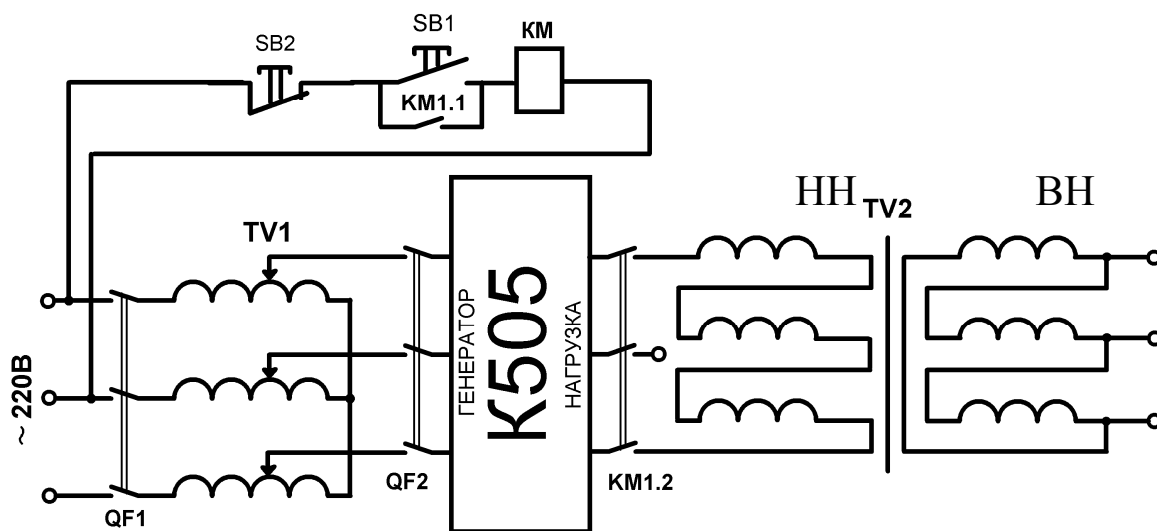


Рис. 3

Обмотка ВН замкнута в треугольник, а по обмотке НН, соединенной по схеме открытого треугольника, протекают токи, одинаковые по величине и фазе, имитирующие токи нулевой последовательности. Пускатель *КМ* снабжен электронной защитой от перенапряжения. Световая сигнализация о срабатывании защиты (при $U_2 > 15$ В) выведена панель кнопки *SB1* «ПУСК».

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Собрать электрическую схему лабораторного стенда (рис. 1), для проведения опыта XX (контакты *SA1* и *SA2* в положении 1, *SA3* разомкнут).

4.2. После проверки схемы преподавателем, замкнуть автоматические выключатели *QF1* и *QF2*, подав напряжение на измерительный комплект *K505*, затем кнопкой *SB1* «ПУСК» подать напряжение на трансформатор *TV2*. С помощью автотрансформатора *TV1* установить по вольтметру *PV* на первичной обмотке линейное напряжение 140 В и провести замеры фазных напряжений, токов и мощностей всех трех фаз вторичной обмотки в режиме холостого хода. Данные результатов опыта занести в таблицу 1.

4.3. Собрать схему для проведения опыта короткого замыкания: контакты *SA1* и *SA2* в положении 1, переключатель *SA3* в положение «ВКЛ». С помощью автотрансформатора *TV1* установить по прибору *PA* в первичной обмотке трансформатора *TV2* ток

400 мА и провести замеры фазных напряжений, токов и мощностей всех трех фаз вторичной обмотки в режиме короткого замыкания. Данные результатов опыта занести в таблицу 1.

Таблица 1

Вторичная обмотка									Первичная обмотка		K_m
U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	P_A	P_B	P_C	U_1	I_1	
										0	
									0		

4.4. Собрать схему для определения параметров схемы замещения для токов нулевой последовательности при соединении обмоток трансформатора по схеме Y/Y_0 (рис. 2). Для чего установить ключи: $SA1$ в положение 0, $SA2$ в положение 2, а $SA3$ разомкнуть.

Установить с помощью автотрансформатора $TV1$ вторичное напряжение 12 В. Провести замеры напряжений, тока и мощности всех во вторичной обмотке. Данные занести в таблицу 2.

4.5. Собрать схему (рис. 3) для определения параметров схемы замещения для токов нулевой последовательности при соединении обмоток трансформатора по схеме Δ/Y_n : переключатели $SA1$ и $SA2$ в положении 2, $SA3$ разомкнут.

Установить с помощью автотрансформатора $TV1$ вторичное напряжение 12 В. Провести замеры напряжений, тока и мощности всех во вторичной обмотке. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ схемы	Вторичная обмотка		
	U_2 (В)	I_2 (А)	P (Вт)
2			
3			

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

5.1. При проведении опыта короткого замыкания и опыта по определению параметров схемы нулевой последовательности необ-

ходимо увеличить диапазоны измерения прибора комплекта К505, измеряющего фазные токи.

5.2. При срабатывании защиты стенда (отключается пускатель *KM* и загорается сигнальная лампочка на панели кнопки *SB1* «ПУСК»), необходимо снизить с помощью автотрансформатора *TV1* напряжение и повторно нажать кнопку *SB1* «ПУСК».

5.3. Помнить, что расчет параметров схемы замещения трехфазного трансформатора ведется по средним значениям фазных токов, мощностей и напряжений.

5.4. Перед нажатием кнопки *SB1* «ПУСК», убедитесь, что напряжение выставлено на МИНИМУМ (ручка регулятора автотрансформатора *TV1* – крайнее правое положение).

5.5. Однофазное напряжение, подводимое к вторичной обмотке исследуемого трансформатора в схемах (рис. 2) и (рис. 3), выбирается таким (около 12–15 В), чтобы ток во вторичной обмотке не превышал номинального значения 1 А.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

6.1. Изобразить схему замещения трехфазного трансформатора и используя результаты опытов холостого хода и симметричного короткого замыкания рассчитать её параметры $x_1, x'_2, r_1, r'_2, x_0, r_0$ для токов прямой и обратной последовательностей.

6.2. Изобразить схему замещения (рис. 4) и рассчитать параметры схемы замещения трансформатора для токов нулевой последовательности x_{00}, r_{00} при соединении обмоток по схеме Y/Y_0 .

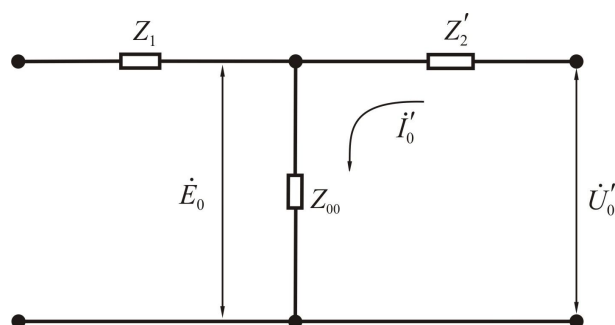


Рис. 4

Модуль полного сопротивления цепи фазы для тока нулевой последовательности можно найти следующим образом:

$$\frac{U_0}{3I_0} = \sqrt{(r'_2 + r_{00})^2 + (x'_2 + x_{00})^2}.$$

В режиме холостого хода вся потребляемая активная мощность расходуется на потери в активных сопротивлениях и стали:

$$r'_2 + r_{00} = \frac{P}{3I_0^2}, \quad (1)$$

сумма индуктивных сопротивлений схемы определится как:

$$x'_2 + x_{00} = \sqrt{\left(\frac{U_0}{3I_0}\right)^2 - \left(\frac{P}{3I_0^2}\right)^2}. \quad (2)$$

Параметры вторичной обмотки x'_2, r'_2 определены нами из опыта короткого замыкания в п. 6.1 ранее; вычитая их значения из сумм, полученных в (1) и (2) найдем x_{00}, r_{00} .

6.3. Изобразить схему замещения для токов нулевой последовательности при соединении обмоток трехфазного трансформатора по схеме Δ/Y_0 и рассчитать её параметры x_{00}, r_{00} .

По опытным данным (для схемы соединения обмоток рис. 3, табл. 2) и в соответствии с выбранной вами схемой замещения для тока нулевой последовательности при соединении обмоток Δ/Y_0 (найти в литературе или составить эту схему самостоятельно) имеем:

$$Z_{00} = \frac{U_2}{3I_2} = Z'_2 + \frac{Z_1 Z_0}{Z_1 + Z_0} = Z'_2 + \frac{Z_1}{1 + Z_1/Z_0}.$$

Так как $Z_0 \gg Z_1$, то с достаточной точностью можно принять, что в этом случае

$$Z_{00} \approx Z_1 + Z'_2 = Z_k.$$

6.4. Построить внешнюю характеристику трансформатора и зависимость его КПД от нагрузки при симметричной нагрузке и $\cos\varphi_2=1$.

6.3. Определить суммарную допустимую нагрузку двух данных трансформаторов, включенных в параллельную работу при условии, что:

а) один из трансформаторов включен на отпайку +5%, а другой на отпайку 0%, соответствующую номинальному напряжению;

б) напряжение короткого замыкания U_k одного из трансформаторов на 20% больше, чем у второго.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

7.1. Чертеж (схематично) поперечного разреза стержневого, бронестержневого и группового трехфазного трансформатора с указанием основных элементов конструкции и путей прохождения магнитных потоков нулевой последовательности.

7.2. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

7.3. Таблицы с данными опытов.

7.4. Схему замещения фазы трансформатора; схему замещения нулевой последовательности при соединении обмоток трансформатора по схеме Y/Y_0 ; схему замещения нулевой последовательности при соединении обмоток трансформатора по схеме Δ/Y_0 ;

7.5. Графики характеристик.

7.6. Формулы и зависимости, поясняющие работу трансформатора в различных режимах и методику расчета данных, необходимых для построения характеристик и диаграмм.

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие схемы соединения обмоток трехфазных трансформаторов вы знаете?

2. Назовите условия параллельной работы трансформаторов?

3. Изобразите схему соединения обмотки трехфазного трансформатора «зигзаг»?

4. Как влияет неравенство коэффициентов трансформации на работу трансформаторов при их параллельном включении?

5. Как влияет несовпадение номеров групп соединения обмоток параллельно включенных трансформаторов на их работу?

6. Как влияет несовпадение значений U_k на работу параллельно включенных трансформаторов?

7. Поясните причину компенсирующего влияния обмотки, включенной по схеме треугольник, на магнитные потоки нулевой последовательности в магнитной системе трехфазного трансформатора.

Лабораторная работа № 7: ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться на разобранном образце, по учебнику и конспекту лекций с конструкцией асинхронного двигателя с фазным ротором.

1.2. Получить практические навыки пуска асинхронного двигателя с помощью пускового реостата.

1.3. На основе экспериментальных данных рассчитать и построить механическую характеристику асинхронного двигателя.

1.4. Выявить зависимость механической характеристики асинхронного двигателя от величины активного сопротивления в цепи ротора.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Для определения механической мощности P_2 и потерь в асинхронном двигателе $\Delta P_{\text{т.ад.}}$ и нагрузочном генераторе $\Delta P_{\text{т.гпт}}$ использовать их упрощенные энергетические диаграммы.

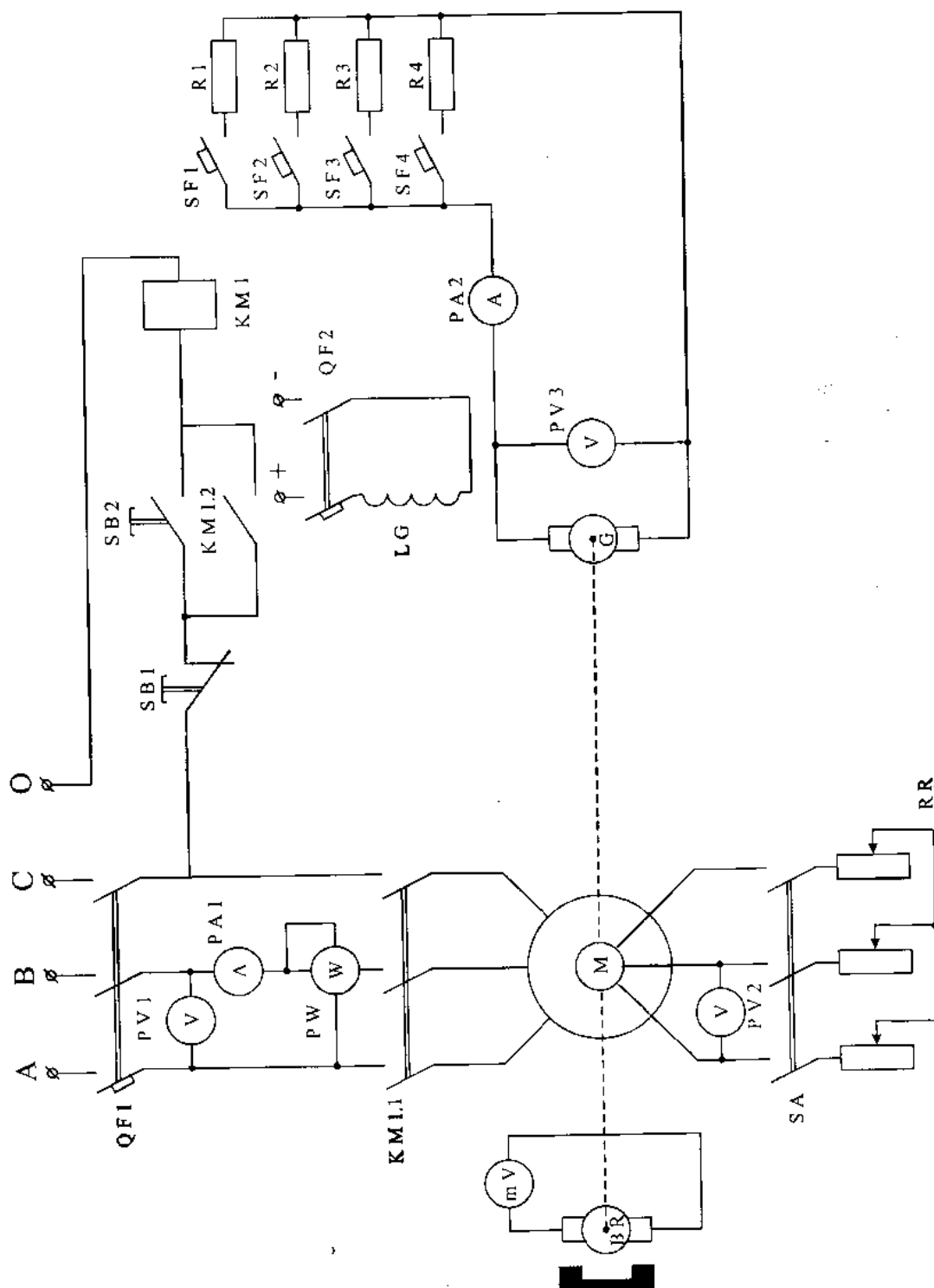
2.2. Поскольку номинальная мощность исследуемого асинхронного двигателя M и нагрузочного генератора G примерно равны, считать равными и потери в них $\Delta P_{\text{т.ад.}} = \Delta P_{\text{т.гпт}}$.

2.3. Момент на общем валу двигателя и генератора определять из условия $M_{\text{ген}} = M_{\text{ад}} = P_2/\omega$;

2.4. Критическое скольжение $S_{\text{кр}}$ и критический момент $M_{\text{кр}}$ для расчета механических характеристик определить используя упрощенную формулу Клосса и две пары значений момента и соответствующего ему скольжения $(M_{\text{ад1}}; S_1)$ и $(M_{\text{ад2}}; S_2)$, полученных экспериментально.

2.5. Для расчета механической характеристики воспользоваться упрощенным уравнением Клосса: $M = 2M_{\text{кр}}/(S_{\text{кр}}/S + S/S_{\text{кр}})$, и зависимостью скорости вращения ротора от скольжения $n = n_c (1-S)$, где n_c – частота вращения поля статора.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА



Принципиальная электрическая схема
асинхронного двигателя

Трехфазное напряжение переменного тока через автоматический выключатель QF1 и пускатель КМ1.1 подается на асинхронный двигатель с фазным ротором М.

В цепи статора двигателя установлены измерительные приборы: вольтметр PV1, амперметр PA1, ваттметр PW.

В цепь ротора включены вольтметр V и через контактор SA реостат RR. Реостат рассчитан на работу как при пусковых токах, так и на длительное протекание рабочих токов. Для измерения частоты вращения двигателя в установке имеется тахогенератор BR, к обмотке статора которого присоединен измерительный прибор, проградуированный в оборотах в минуту.

В качестве нагрузочного устройства асинхронного двигателя с фазным ротором М в схеме предусмотрен генератор постоянного тока независимого возбуждения G, соединенный с двигателем общим валом. Величина нагрузочного момента на валу генератора G регулируется с помощью ключей SF1 – SF4 сопротивлением нагрузочного реостата R1-R4, подключенного к обмотке якоря генератора. Обмотка возбуждения нагрузочного генератора G через автоматический выключатель QF2 подключена к источнику постоянного напряжения.

На рисунке изображена принципиальная схема включения асинхронного двигателя с фазным ротором.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Для испытания асинхронного двигателя с фазным ротором в режиме холостого хода при неподвижном роторе необходимо:

- а) подать на стенд напряжение 380 В. включением вводного автоматического выключателя QF1;
- б) разомкнуть цепь ротора трехфазным выключателем SA и включить пускатель КМ кнопкой «Пуск»;
- в) снять показания с приборов и занести в таблицу 1.

Таблица 1

U_1	U_2	I_1	$P_{x.x.}$	$\cos f_{xx}$	K_e

г) отключить двигатель нажатием кнопки «Стоп».

4.2. Для испытания двигателя под нагрузкой необходимо:

а) замкнуть цепь обмотки ротора, включением трехфазного выключателя SA;

б) включить двигатель, нажатием кнопки «Пуск», и затем постепенно перевести пусковой реостат RR из положения «Пуск» в положение «Работа»;

Таблица 2

Измеряемая величина	Ед. изм.	Положение реостата RR «Работа»					Положение реостата RR «Пуск»					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Нагрузочная машина	U_a	В										
	I_a	А										
	P_a	Вт										
	ΔP_T	Вт										
	$M_{ген}$	Н•м										
Двигатель асинхронный	U_1	В										
	I_1	А										
	P_1	Вт										
	n	об/мин										
	ω	рад/с										
	s											
	f_2	Гц										
	$\cos\varphi$											
	P_2	Вт										
	КПД	%										

в) не возбуждая генератор постоянного тока G (ток $I_a = 0$), снять показания приборов и занести в таблицу 2;

г) возбудить генератор G, подав с помощью автоматического выключателя QF2 на обмотку возбуждения LG постоянное напряжение 220 В.

Изменяя с помощью автоматических выключателей SF1 – SF4 число ступеней реостата, включенных в цепь якоря генератора G, произвести 4–5 замеров. Показания приборов и занести в таблицу 2.

д) выключить полностью нагрузочный реостат SF1 – SF4, а движок пускового реостата RR перевести из крайнего положения «Работа» в крайнее положение «Пуск»;

е) изменяя с помощью автоматических выключателей SF1 – SF4 число ступеней реостата, включенных в цепь якоря генератора, произвести 4–5 замеров показаний приборов, начиная с $I_a = 0$;

ж) данные всех опытов занести в таблицу 2.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. На основании полученных данных (табл. 1) определить коэффициент трансформации K_e по ЭДС, потери в стали АД и $\cos f_{xx}$.

5.2. По данным табл. 2 построить рабочие характеристики асинхронного двигателя $(n, I_1, s, \cos\phi, \eta) = f(P_2)$, объединив их в общей системе координат для различных положений реостата «Пуск» и «Работа».

5.3. Используя каталожные данные двигателя, уравнение Клосса и рассчитанные значения $M_{кр}$ и $S_{кр}$ построить механические характеристики $n = f(M)$ асинхронного двигателя для положений реостата RR «Пуск» и «Работа».

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

6.1. Чертеж (схематично) поперечного разреза асинхронной машины с указанием ее основных частей.

6.2. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

6.3. Таблицы с данными опытов.

6.4. Графики характеристик.

6.5. Формулы и зависимости, поясняющие работу генератора в различных режимах.

7. ВОПРОСЫ

7.1. Пояснить конструкцию асинхронной машины и назначение её основных элементов.

7.2. Показать на рисунке асинхронной машины элементы её конструкции, изображенные на электрической схеме лабораторной установки.

7.3. Почему в первом опыте ротор двигателя остается неподвижным?

7.4. Дайте определение понятию "скольжение".

- 7.5. Дайте определение механической характеристике АД.
- 7.6. Поясните назначение реостата в роторной цепи АД.

Лабораторная работа № 8: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомление с конструкцией трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

1.2. Проведение опытов холостого хода, короткого замыкания, трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

1.3. Построение по снятым данным круговой диаграммы и рабочих характеристик трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Круговая диаграмма АД

Снятие опытным путем рабочих характеристик асинхронного двигателя ($P_1, \cos\varphi_1, S, n, I_1, M_{эм} = f(P_2)$), часто представляет большие трудности, так как необходимо иметь нагрузочную машину, имеющую мощность соизмеримую с мощностью испытуемого двигателя, центрировать её, градуировать её показатели, собирать измерительную схему.

Другой путь получения рабочих характеристик заключается в использовании круговой диаграммы, которую в свою очередь можно построить всего лишь по данным из опытов холостого хода и короткого замыкания.

Круговая диаграмма (КД) асинхронного двигателя представляет собой окружность с дополнительными прямыми, которую описывает конец вектора тока I_1 при изменении скольжения S при постоянных U_1, f_1 и постоянных параметрах машины ($r_1, x_1, r'_2, x'_2, r_m, x_m$).

В ходе данной лабораторной работы необходимо построить упрощённую КД (рис. 1), которая строится на основании упрощённой Г – образной схемы замещения (рис. 2), в которой цепь намагничивания выносятся на зажимы внешней сети с напряжением U_1 при этом считается, что параметры рабочей цепи r_1, x_1, r'_2, x'_2 не изменяются.

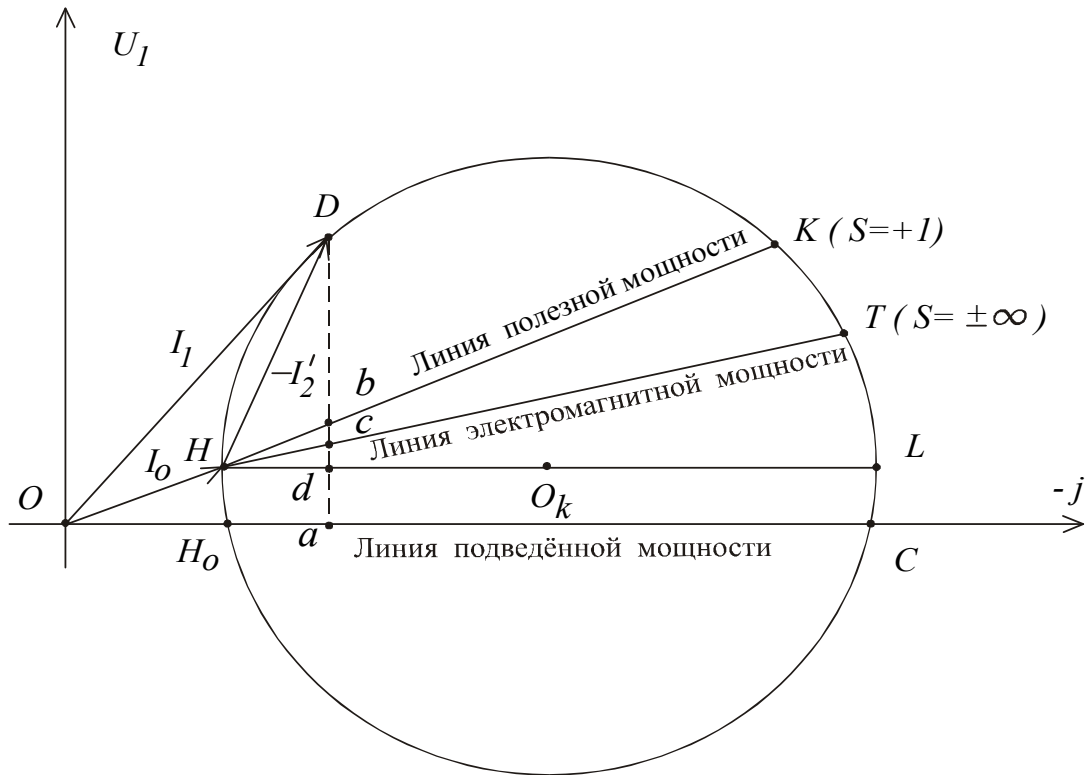


Рис. 1. Упрощённая круговая диаграмма АД

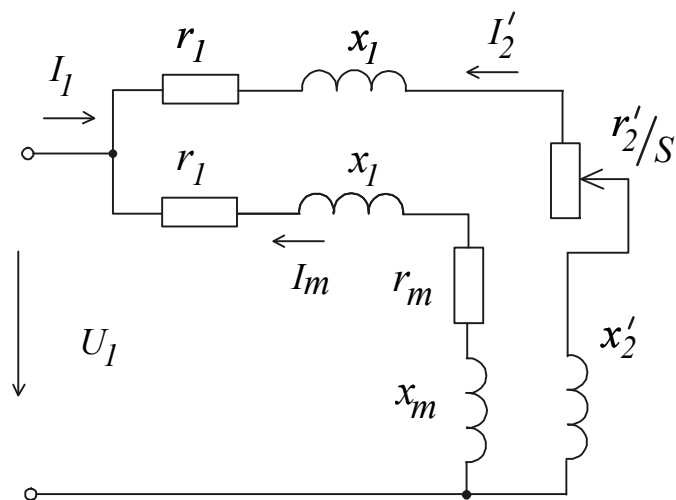


Рис. 2. Упрощённая Г-образная схема замещения асинхронной машины

На упрощённой круговой диаграмме, представленной на рис. 1, можно выделить следующие характерные точки: (·) H – точка холостого хода ($S = 0$), при этом предполагается, что точка ре-

ального холостого хода H , соответствует идеальному холостому ходу; $(\cdot) K$ – точка короткого замыкания ($S = 1$); $(\cdot) T$ – точка соответствующая скольжению $S = \pm\infty$.

При этом выше приведенные точки делят окружность на области: область диаграммы HDK соответствует двигательному режиму работы асинхронной машины, область HLT – генераторному режиму, область KT – режиму электромагнитного тормоза (противовключение).

Кроме того, на круговой диаграмме (рис. 1) можно выделить прямые называемые линией подведенной мощности P_1 (ось абсцисс), линией полезной мощности P_2 (прямая HK) и линией электромагнитной мощности $P_{эм}$ (прямая HT). Таким образом, если машина работает с нагрузкой на валу определяемой током $I_1 = OD$, то отрезок Da масштабе мощности m_p показывает величину потребляемой ею мощности P_1 .

Отрезок da – определяет мощность холостого хода $P_{xx} = 3I_0^2 r_1 + P_c + P_{мех} + P_\rho$. Так как при увеличении нагрузки потери в стали статора P_c и механические потери $P_{мех}$ уменьшаются, а потери в стали ротора растут, то можно приближённо считать, что P_{xx} не зависит от нагрузки $P_{xx} = HH_0 = da = LC = const$.

Отрезок bd показывает сумму электрических потерь обмотке статора и ротора: $dc = P_{\rho 1}$; $bc = P_{\rho 2}$.

Таким образом отрезок $Db = Da - ba$ равен полезной мощности P_2 развиваемой машиной.

2.2. Опыт холостого хода

Опыт холостого хода производится при работе двигателя на холостом ходу, без нагрузки на валу. При этом измеряется первичная мощность холостого хода P_{xx} и ток холостого хода I_0 при изменении приложенного к обмотке статора напряжения $U_1 = (0,4 \div 1,2) U_{1н}$ (здесь имеются в виду фазные значения U_1, I_0).

Из характеристик холостого хода трансформатора мы помним, что I_0 не линейно зависит от U_1 из-за насыщения магнитной цепи машины. По этой же причине $\cos\varphi_0$ уменьшается с увеличением U_1 , так как растёт потребление реактивной мощности машиной.

Значительная часть активной мощности P_{xx} , потребляемой асинхронной машиной на холостом ходу (в отличие от трансформатора) идёт на покрытие механических потерь $P_{мех}$. Механические потери зависят только от скорости вращения, а так как частота

вращения в опыте холостого хода, практически не изменяется, то $P_{мех}$ остаются постоянными. Будем считать, что в первом приближении потери в стали и механические потери равны, $P_c + P_{мех}$ и пренебрегая дополнительными потерями P_δ и потерями в меди обмотки статора получим $P_{xx} = P_c + P_{мех}$.

Тогда потери в стали асинхронной машины определяются как:

$$P_c = P_{xx} / 2 = m_1 \cdot I_0^2 r_m;$$

Параметры схемы замещения:

$$r_m = P_c / m (I_0)^2; \quad z_m = U_1 / I_0; \quad x_m = (z_m^2 - r_m^2)^{1/2};$$

где r_m – сопротивление цепи намагничивания эквивалентное потерям в стали; z_m – полное сопротивление цепи намагничивания.

2.3. Опыт короткого замыкания

Опыт короткого замыкания производится при неподвижном роторе и при пониженном напряжении U_{Ik} подводимого к статору машины, так чтобы ток I_k превышал номинальное значение не более чем в 1,2 раза (обычно напряжение U_{Ik} составляет 15÷20 % от $U_{1н}$).

По данным опыта короткого замыкания можно построить характеристики короткого замыкания. Причем, зависимости I_k , P_k , $\cos\varphi_k$ от напряжения $f(U_{Ik})$ подобны аналогичным зависимостям полученным при проведении опыта короткого замыкания для трансформатора. Мощность короткого замыкания P_k затрачивается практически только на потери в обмотках статора и ротора

Параметры короткого замыкания (r_k , x_k , z_k), пренебрегая цепью намагничивания, определяются выражением:

$$z_k = U_{Ik} / I_k; \quad r_k = P_k / (I_k)^2; \quad r_k = r_1 + r_2'; \quad x_k = x_1 + x_2'; \quad x_k = (z_k^2 - r_k^2)^{1/2}.$$

Потерями в стали в данном случае можно пренебречь, так как опыт короткого замыкания производится при пониженном напряжении, при этом мы помним, что $P_c \sim U_1^2$.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

На рис. 3 представлена принципиальная электрическая схема лабораторной установки. Питание на стенд подается при включении автоматического выключателя $QF1$.

Для осуществления опытов холостого хода и короткого замыкания необходимо иметь регулируемый источник напряжения, в качестве которого применяется трехфазный автотрансформатор

TV1. Контролировать напряжение с выхода автотрансформатора, а также потребляемую машиной мощность и ток можно с помощью комплекта приборов *K-505*.

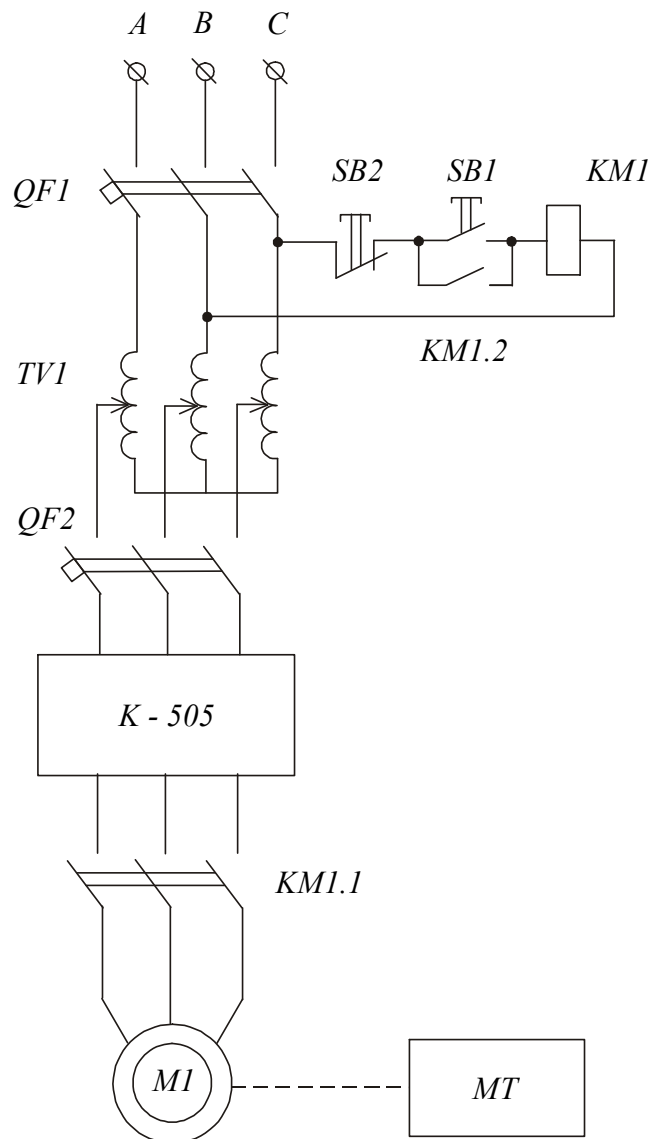


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

Испытуемый асинхронный двигатель *M1* подключается к трехфазной сети силовыми контактами *KM1.1* магнитного пускателя *KM1*, управление которым, в свою очередь, осуществляется кнопками *SB1* («Пуск») и *SB2* («Стоп»).

Для осуществления опыта короткого замыкания используется механический тормоз *MT*, при помощи которого ротор асинхронного двигателя надежно закрепляется.

В качестве объекта исследования в лабораторной работе выступает асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа АО-32-4 с номинальными данными: мощность $P_n = 2,4$ кВт, напряжение $U_n = 220$ В, ток $I_n = 4$ А, синхронная скорость вращения $n = 1500$ об/мин.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная работа состоит из проведения опытов холостого хода и короткого замыкания.

4.1. Опыт холостого хода.

4.1.1. Собрать схему (рис. 3) необходимую для выполнения лабораторной работы. Переключатель пределов измерения амперметра в комплекте приборов К-505 должен быть установлен на максимальный предел (10 А). Предел измерения вольтметра установить 300 В.

4.1.2. После проверки схемы преподавателем подать на стенд напряжение 220 В, включив автоматический выключатель $QF1$.

4.1.3. Включить автоматический выключатель $QF2$ и с помощью автотрансформатора выставить напряжение 40-60 В, контролируя напряжение по вольтметру в комплекте измерительных приборов К-505.

4.1.4. Запустить в ход испытуемый двигатель нажатием кнопки $SB1$ («Пуск»).

4.1.5. Постепенно, при помощи автотрансформатора повышать напряжение до 220 В снять показания приборов и занести их в таблицу 1. Если двигатель начнёт резко снижать обороты при уменьшении напряжения, то его следует немедленно отключить от сети путем нажатия кнопки $SB2$ («Стоп»).

Таблица 1

№	U_{xx} , В	I_{xx} , А	P_{xx} , Вт	$U_{I_{к.з}}$, В	$I_{к.з}$, А	$P_{к.з}$, Вт
Опыт х.х.х				хх-	хх-	хх-
Опыт к.з	хх-	хх-	хх-			

4.1.6. После окончания опыта холостого хода необходимо остановить асинхронный двигатель, нажатием кнопки *SB2* («Стоп»).

4.1.7. Уменьшить напряжение с выхода автотрансформатора до нуля и отключить его от сети автоматическим выключателем *QF2*.

4.1.8. Снять питание со стенда, выключив автоматический выключатель *QF1*.

4.2. Опыт короткого замыкания

4.2.1. Собрать электрическую схему необходимую для выполнения лабораторной работы (рис. 1).

4.2.2. Установить переключатель пределов измерения амперметра в комплекте приборов К-505 на максимальный предел (10 А). Предел измерения вольтметра установить на 30 В.

4.2.3. После проверки схемы преподавателем подать на стенд напряжение 220 В, включив автоматический выключатель *QF1*.

4.2.4. Автоматическим выключателем *QF2* подать напряжение на автотрансформатор. Напряжение с выхода автотрансформатора должно быть равным нулю.

4.2.5. Затормозить ротор испытуемого двигателя с помощью механического тормоза *MT*.

4.2.6. Подключить испытуемый двигатель к сети нажатием кнопки *SB1* («Пуск»).

4.2.7. Постепенно, повышая напряжение автотрансформатором до тех пор, пока $I_k = I_n = 5$ А. снять показания приборов и занести их в таблицу 1.

4.2.8. После окончания опыта короткого замыкания необходимо отключить асинхронный двигатель, нажатием кнопки *SB2* («Стоп»).

4.2.9. Уменьшить напряжение с выхода автотрансформатора до нуля и отключить его от сети автоматическим выключателем *QF2*.

4.2.10. Снять питание со стенда, выключив автоматический выключатель *QF1*.

4.2.11. Освободить ротор асинхронного двигателя с помощью механического тормоза *MT*.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. На основании данных опытов холостого хода и короткого замыкания (табл. 1) определить параметры схемы замещения (рис. 2).

5.2. Построить упрощенную круговую диаграмму испытуемого двигателя.

5.2.1. Из опыта холостого хода определить $\cos\varphi_0$, соответствующий номинальному напряжению:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_0}$$

5.2.2. Определить из опыта короткого замыкания ток $I_{кн}$ при $U_{1к} = U_n$:

$$I_{кн} = I_k \cdot \frac{U_n}{U_{1к}}$$

5.2.3. Определить $\cos\varphi_k$ для $I_k = I_n$:

$$\cos\varphi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot U_{1к} \cdot I_k}$$

5.2.4. Выбрать масштаб тока, мощности, момента по приведённым ниже выражениям:

$$m_i = I_{кн} / 250 \quad \text{А/мм}$$

$$m_p = m_1 \cdot U_n \cdot m_i \quad \text{В/мм}, \quad m_1 - \text{число фаз статора } m_1 = 3$$

$$m_m = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_n \cdot m_i}{2 \cdot \pi \cdot f_1} \quad \text{Нм/мм}, \quad p = 2 \text{ число пар полюсов.}$$

5.2.5. Отложить вектор тока холостого хода и вектор тока короткого замыкания при номинальном напряжении (см. рис. 4).

5.2.5. Определить центр круговой диаграммы, восстановив перпендикуляр к середине отрезка HK до пересечения с прямой LH параллельной оси абсцисс, в точке O_k .

5.2.6. Построить круговую диаграмму, проведя окружность из точки O_k радиусом HO_k .

5.2.7. Провести линию электромагнитной мощности HT под углом δ к линии центра от круговой диаграммы. Угол δ можно определить из выражения:

$$\operatorname{tg}\delta \approx \frac{m_i \cdot D_k \cdot r_1}{U_n},$$

где D_k – диаметр круговой диаграммы (мм).

Линию электромагнитной мощности можно получить также проведя прямую через точки H и M до пересечения с окружностью в точке T . Причём положение точки M определяется соотношением отрезков $KM/MN = r_2'/r_1$. В асинхронных двигателях единых серий обычно $r_2' \approx r_1$.

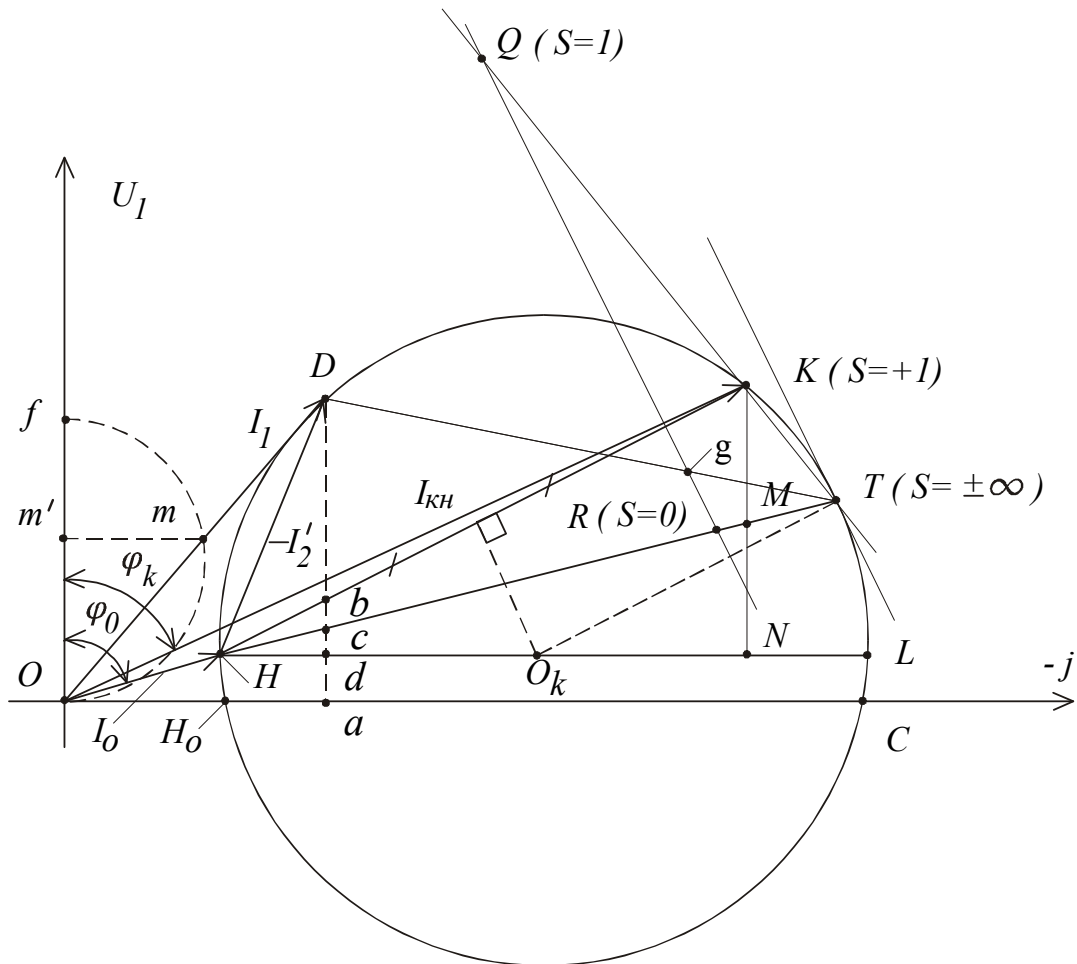


Рис. 4. Круговая диаграмма испытуемого двигателя

5.2.8. Построить шкалу скольжения для чего через T провести касательную, которая перпендикулярна радиусу $O_k T$. Через произвольную точку R на линии электромагнитной мощности провести прямую QR параллельно к касательной. Точка Q на прямой QR определяется как точка пересечения этой прямой с прямой KT . Разделив отрезок QR на равные части, получаем шкалу скольжения.

5.2.9. Для определения коэффициента мощности $\cos\varphi_1$, необходимо на оси ординат отложить отрезок $Of = 100$ мм и построить на ней как на диаметре полуокружность. Точка пересечения m вектора I_1 с этой полуокружностью и будет определять $\cos\varphi_1$.

5.3. Построить рабочие характеристики.

5.3.1. Определить показатели машины для 7 точек выбранных на круговой диаграмме. Результаты занести в таблицу 2.

В качестве примера рассмотрим работу машины в точке D (см. рис. 4).

Таблица 2

Данные для построения рабочих характеристик

№	1	2	3	4	5	6	7
$I_1, \text{А}$							
$\cos\varphi_1$							
$P_1, \text{Вт}$							
$P_2, \text{Вт}$							
η							
S							
$n_2 \text{ об/мин}$							
$M_2 \text{ Нм}$							

Ток статора соответствующий режиму работы машины в точке D определяется как $I_1 = OD \cdot m_i, \text{ А}$.

Коэффициент мощности $\cos\varphi_1$ определяется с помощью собственной шкалы, иначе его можно определить по выражению: $\cos\varphi_1 = Om' / 100$.

Подведенная мощность: $P_1 = Da \cdot m_p, \text{ Вт}$

Полезная мощность: $P_2 = Db \cdot m_p, \text{ Вт}$

Коэффициент полезного действия: $\eta = P_2 / P_1 = (Db/Da) \cdot 100\%$

Для определения скольжения необходимо соединить точки D и T прямой. Точка пересечения g прямой DT со шкалой скольжения, позволит определить искомое скольжение.

Полезный момент: $M_2 = Dd \cdot m_m, \text{ Нм}$

Частота вращения ротора: $n_2 = n_1(1 - S), \text{ об/мин};$

$n_1 = 1500 \text{ об/мин.}$

5.4. По данным таблицы 2 построить рабочие характеристики асинхронного двигателя.

6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Сравнить Г-образную и Т-образную схемы замещения асинхронного двигателя?
2. Объяснить физический смысл аргумента поправочного коэффициента в уточненной Г-образной схеме замещения?
3. В чём отличие идеального холостого хода от реального холостого хода асинхронной машины?
4. Сравнить холостой ход трансформатора и асинхронной машины (векторные диаграммы, схемы замещения, характеристики).
5. Почему в опыте КЗ пренебрегают цепью намагничивания в схеме замещения АД?
6. Сравнить упрощённую и уточнённую круговые диаграммы.
7. Каким образом можно определить перегрузочную способность и кратность пускового момента двигателя из круговой диаграммы?

Лабораторная работа № 9: ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РЕГУЛЯТОРА И ФАЗОРЕГУЛЯТОРА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить работу асинхронной машины с фазным ротором в трансформаторном режиме.

1.2. Ознакомиться с принципиальными схемами индукционного регулятора и фазорегулятора, реализующими трансформаторный режим работы асинхронной машины.

1.3. Снять экспериментальные характеристики регуляторов и построить их векторные диаграммы.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В трансформаторном режиме используется асинхронная машина с фазным ротором, которая работает при заторможенном роторе ($S = 1$). В этом режиме машина является электромагнитным преобразователем и не преобразует электрическую энергию в механическую или обратно. Однако при включении асинхронной машины в трансформаторном режиме следует учитывать что:

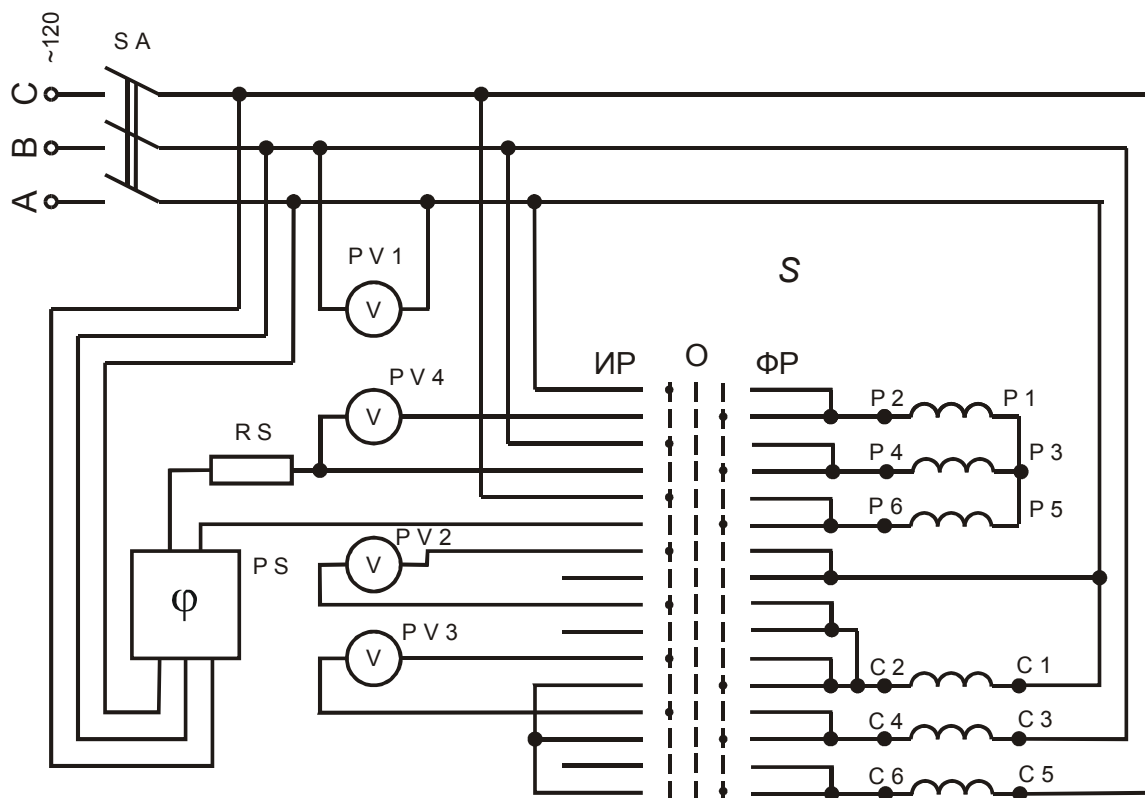
а) так как на ротор и статор действует вращающий момент, который можно определить по круговой диаграмме, статор и ротор должны быть надежно закреплены;

б) в зависимости от схемы соединения между обмотками ротора и статора возможны трансформаторная и автотрансформаторная связь.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1. Принципиальная схема

Принципиальная схема лабораторного стенда «Исследование индукционного регулятора и фазорегулятора» представлена на рисунке. На принципиальной схеме изображены все электрические элементы и приборы, необходимые для проведения испытаний.



Принципиальная схема лабораторного стенда

3.2. Принципы работы схемы

Для выполнения раздела лабораторной работы «Исследование индукционного регулятора» необходимо собрать схему индукционного регулятора переводом ручки переключателя S в положение «Индукционный регулятор» (ИР). При этом обмотки C1C1, C3C4, C5C6, и P1P2, P3P4, P5P6 соединяются в схему индукционного регулятора.

В качестве первичной обмотки служат обмотки ротора, соединённые звездой. Вторичной обмоткой служат фазные обмотки статора, которые включены последовательно с фазными напряжениями сети. Вольтметр PV1 постоянно переключён к питающим линиям после включения SA.

При передаче напряжения выключателем SA вольтметр PV1 показывает напряжение питания. Вольтметр PV2 показывает ЭДС одной из фаз вторичной обмотки. Вольтметр PV3 показывает линейное выходное напряжение индуктивного регулятора.

Для проведения лабораторной работы «Исследование фазорегулятора» собирается схема фазорегулятора переводом ручки переключателя в положение «Фазорегулятор» (ФР). Статорная обмотка электродвигателя служит первичной обмоткой и с помощью пере-

ключателя «S» соединяется по схеме «звезда». Обмотки ротора также соединены «звездой». Первичная и вторичная обмотки фазорегулятора имеют только магнитную связь. Вольтметр PV4 показывает выходное напряжение фазорегулятора. Опорным напряжением для фазометра PS является напряжение сети. Сопротивление RS служит нагрузкой для токовой цепи прибора PS.

Выключателем SA подаётся питающее напряжение на первичную обмотку фазорегулятора. Выходное напряжение фазорегулятора измеряется вольтметром PV4. Фазометр PS измеряет угол сдвига фазы выходного напряжения фазорегулятора относительно одноимённой фазы входного напряжения.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Исследование индукционного регулятора

4.1.1. Перевести ручку переключателя S из нейтрального положения «0» в положение «Индукционный регулятор».

4.1.2. Выключателем SA подать на схему питающее напряжение.

4.1.3. Ручкой поворотного механизма изменять угол поворота ротора в пределах $-180^\circ \leq \alpha_{\text{рот}} \leq +180^\circ$ по верхней шкале указателя поворота.

4.1.4. Через каждые 30° снять показания вольтметра PV3 (выходное напряжение U_2). Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

$\alpha_{\text{рот}}$	U_2	U_3
	В	В
-180°		
-150°		
-120°		
-90°		
-60°		
-30°		
0		
$+30^\circ$		
$+60^\circ$		
$+90^\circ$		
$+120^\circ$		
$+150^\circ$		
$+180^\circ$		

4.2. Исследование фазорегулятора

4.2.1. Перевести ручку переключателя S из нейтрального положения «0» в положение «Фазорегулятор».

4.2.2. Выключателем SA подать на схему питающее напряжение.

4.2.3. Ручкой поворотного механизма измеряем угол поворота ротора от нулевой отметки по нижней шкале указателя поворота. По прибору PS наблюдать изменения угла сдвига фазы. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	$\cos\varphi$	$\alpha_{\text{рот}}$

4.2.4. Сделать выводы.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

5.1. По данным таблицы построить график зависимости выходного напряжения U_2 от угла поворота ротора $\alpha_{\text{рот}}$, $U_2 = f(\alpha_{\text{рот}})$ при $U_1 = 120$ В; $2p = 6$, а так же векторную диаграмму индукционного регулятора.

5.2. При исследовании фазорегулятора убедиться в том, что при взаимном сдвиге осей статора и фазного ротора асинхронной машины происходит сдвиг фазы ЭДС вторичной (роторной) обмотки фазорегулятора. При совпадении осей, ЭДС обеих обмоток совпадают по фазе, что регистрирует прибор PS. При повороте ротора в ту или иную сторону, прибор показывает угол сдвига фазы выходного напряжения фазорегулятора. При этом вольтметр PV4 показывает, что действующее значение выходного напряжения при любом угле сдвига фаз остаётся неизменным.

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

6.1. Схемы включения асинхронной машины в режиме индукционного регулятора и фазорегулятора.

6.2. Таблица с данными опытов.

6.3. График и векторные диаграммы поясняющие работу регуляторов.

7. ВОПРОСЫ

7.1. Пояснить принцип действия трехфазного индукционного регулятора.

7.2. Назначение сдвоенного трехфазного индукционного регулятора.

7.3. Пояснить принцип действия фазорегулятора.

7.4. Изобразить векторную диаграмму индукционного регулятора.

7.5. Изобразить векторную диаграмму сдвоенного индукционного регулятора.

Лабораторная работа № 10: ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАТОРА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться на разобранном образце, по учебнику и конспекту лекций с конструкцией асинхронной машины.

1.2. Получить практические навыки перевода асинхронной машины из двигательного режима в генераторный режим работы параллельно с сетью.

1.3. На основе экспериментальных данных рассчитать и построить механическую характеристику асинхронной машины, работающей в режиме двигателя и в генераторном режиме параллельно с сетью.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Для определения механической мощности P_2 и потерь в асинхронной машине $\Delta P_{т.ам.}$ и нагрузочной машине постоянного тока $\Delta P_{т.мпт.}$ использовать их упрощенные энергетические диаграммы.

2.2. Поскольку номинальная мощность исследуемого асинхронной машины M и нагрузочной машины постоянного тока G примерно равны, считать равными и потери в них $\Delta P_{т.ам.} = \Delta P_{т.мпт.}$.

2.3. Момент на общем валу двигателя и генератора определять из условия $M_{мпт.} = M_{ам.} = P_2/\omega$;

2.4. Критическое скольжение $S_{кр.}$ и критический момент $M_{кр.}$ для расчета механических характеристик определить используя упрощенную формулу Клосса и по две пары значений $(M_{ам1}; S_1)$ и $(M_{ам2}; S_2)$ полученных экспериментально для генераторного и двигательного режимов АМ.

2.5. Для расчета механических характеристик в генераторном и двигательном режимах работы АМ воспользоваться упрощенным уравнением Клосса: $M = 2M_{кр.}/(S_{кр.}/S + S/S_{кр.})$, и зависимостью скорости вращения ротора от скольжения $n = n_c (1 - S)$, где $n_c = 1500$ об/мин – частота вращения поля статора.

2.6. При снятии опытных данных необходимо провести опыт, при котором мощность асинхронной машины равна нулю, а скорость ротора $n = 1500$ об/мин (точка холостого хода).

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

На рис. 1 приведена принципиальная схема лабораторного стенда для испытания асинхронной машины в режиме генератора.

С помощью автоматического выключателя QF1 трехфазное напряжение подаётся на схему управления пуском исследуемой машины М. В цепи фазы статора включены измерительные приборы PA1, PV1, PW с ценой деления: PA1 – 0,02 А; PV1 – 2 В; PW – 3 Вт.

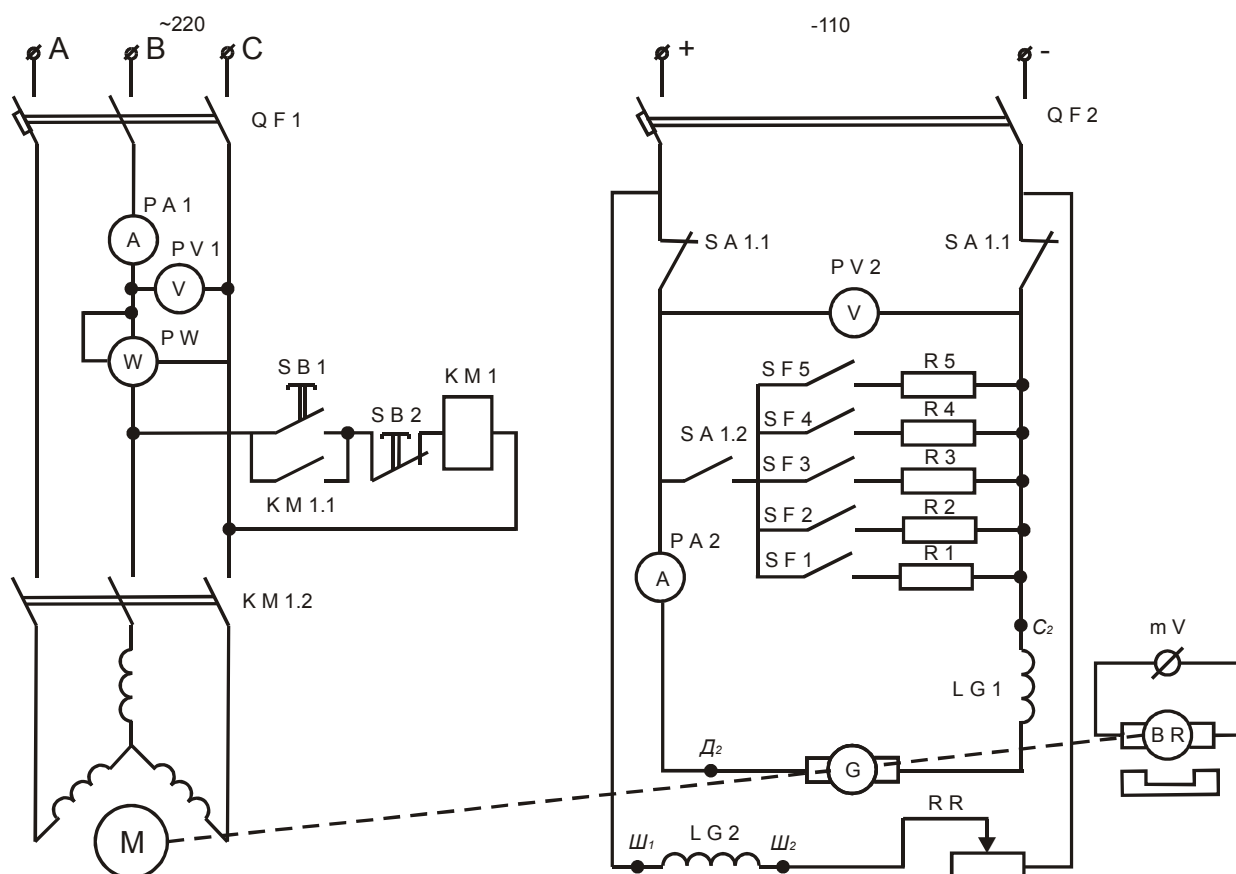


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторного стенда по испытанию асинхронной машины в режиме генератора

Постоянное напряжение – 110 В с помощью автоматического выключателя QF2 подаётся в якорную цепь машины постоянного тока со смешанным возбуждением. В цепь параллельной обмотки возбуждения LG2 машины постоянного тока включён регулируемый реостат (RR) для регулирования тока возбуждения. Тумблер SA предназначен для отключения цепи якоря от питающей сети

и одновременного включения в цепь якоря машины постоянного тока, нагрузочного реостата (ступенчатого сопротивления RR).

Сопротивление в цепи якоря изменяется ступенчато с помощью автоматических выключателей SF1-SF5 (тип АЕ1031). В цепь якоря включена последовательная обмотка возбуждения LG1. Электрические параметры цепи якоря регистрируются приборами: амперметром (РА2) и вольтметром (PV2). Частота вращения пары «АМ-МПТ» измеряется тахогенератором BR.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

4.1. Автоматическим выключателем QF2 и SA1 включить машину постоянного тока G в режиме двигателя, подав напряжение 110 В на обмотку возбуждения LG2 и через замкнутые контакты SA1.1 в цепь якоря. Определить по прибору mV направление и скорость её вращения.

4.2. Отключить машину постоянного тока G с помощью QF2. Автоматическим выключателем QF1 и кнопкой «Пуск» SB1 магнитного пускателя включить машину переменного тока M, также определив направление и скорость её вращения по прибору mV.

Если асинхронная машина вращается в направлении противоположном вращению машины постоянного тока, необходимо изменить направление вращения асинхронной машины.

Если направление вращения асинхронной машины M совпадает с направлением вращения машины постоянного тока G, переключателем режима работы SA разрывают цепь питания якоря от сети 110 В (контакты SA1.1) и замыкают цепь якоря через контакт SA1.2 на нагрузочный реостат R1-R5. Регулирующим реостатом RR увеличивают ток в параллельной обмотке возбуждения LG2 машины постоянного тока, работающей в режиме генератора, доводя его напряжение до номинального.

4.3. С помощью автоматических выключателей SF1-SF5 увеличить нагрузку генератора G до номинальной.

4.4. Постепенно уменьшая ток нагрузки генератора до нуля, снять 3-5 показания приборов для машин постоянного и переменного тока, занести их в таблицу.

Измеряемые параметры			1	2	3	4	5	6
Постоянный ток	Ток якоря МПТ, А	I_a						
	Напряжение МПТ, В	U_a						
	Эл. мощность МПТ, Вт	$P_{МПТ}$						
	Потери в МПТ, Вт	$\Delta P_{Т.МПТ}$						
Переменный ток	Линейное напряжение АМ, В	U_L						
	Ток АМ, А	I_L						
	Мощность АМ, Вт	P_1						
	Число оборотов АМ, об/мин	n						
	Скольжение АМ,	s						
	Кэф. мощности АМ,	$\cos\varphi$						
	Потери в АМ, Вт	$\Delta P_{Т.ам}$						
	Мех. мощность АМ, Вт	P_2						
	КПД АМ, %	η						
	Момент АМ, Н•м	$M_{ам}$						
	Скорость ротора, рад/с	ω						

4.5. Автоматическим выключателем SA отключить нагрузку генератора G и подключить к его якорной цепи сеть постоянного тока 110 В. Постепенно увеличить сопротивление в цепи параллельной обмотки возбуждения LG2 машины постоянного тока G, пока машина из режима генератора не перейдет в режим двигателя – ток якоря изменит направление, а скорость вращения якоря двигателя постоянного тока и ротора асинхронной машины станут больше скорости вращения магнитного поля статора асинхронной машины ($n > 1500$ об/мин.). Произвести 4-6 замеров показаний приборов, пока ток якоря не станет равным 3–4 А. Все данные занести в таблицу.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. По данным таблицы построить рабочие характеристики асинхронного двигателя ($n, I_1, s, \cos\varphi, \eta$) = $f(P_2)$, в относительных единицах.

5.2. Используя расчетные данные двигателя и уравнение механической характеристики Клосса, построить естественные стати-

ческие механические характеристики $n = f(M)$ асинхронной машины для двигательного и генераторного режимов работы.

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

6.1. Чертеж (схематично) поперечного разреза асинхронной машины с указанием ее основных частей.

6.2. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

6.3. Таблицу с данными опытов.

6.4. Графики характеристик.

6.5. Формулы и зависимости, необходимые для пояснения работы генератора в различных режимах.

7. ВОПРОСЫ

7.1. Пояснить конструкцию асинхронной машины и назначение её основных элементов.

7.2. Пояснить условия перехода асинхронной машины в генераторный режим работы.

7.3. Где на круговой диаграмме находится область работы АМ в генераторном режиме?

7.4. Постройте векторную диаграмму асинхронного генератора.

7.5. Сравните по векторной диаграмме составляющие тока статора асинхронной машины в двигательном и генераторном режимах.

7.6. Пояснить условия самовозбуждения асинхронного генератора работающего на автономную сеть.

Лабораторная работа № 11: ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия и режимами работы однофазных асинхронных двигателей.

1.2. Приобрести практические навыки в определении параметров и исследовании режимов работы электрических машин.

1.3. Оценить влияние несимметрии магнитного поля в воздушном зазоре на характеристики АД.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Для анализа несимметричных режимов работы многофазных электрических машин используется метод симметричных составляющих, предложенный в 1918г С. Фортесью. Метод основан на принципе наложения (принципе суперпозиции), который справедлив только для линейных систем. Поэтому при использовании метода принимается допущение, что сталь магнитопроводов машины в несимметричном режиме работы не насыщена.

2.2. Для расчета текущего значения механического момента на валу исследуемого двигателя использовать совмещённые энергетические диаграммы однофазного асинхронного двигателя и нагрузочного генератора. При этом считать, что суммарные потери в машинах в каждый момент времени равны между собой.

2.3. Для определения механической мощности P_2 и потерь в асинхронной машине $\Delta P_{\text{там}}$ и нагрузочной машине постоянного тока $\Delta P_{\text{т.мпт}}$ использовать их упрощённые энергетические диаграммы.

2.4. Поскольку номинальная мощность исследуемого асинхронной машины M и нагрузочной машины постоянного тока G примерно равны, считать равными и тепловые потери в них $\Delta P_{\text{там}} = \Delta P_{\text{т.мпт}}$.

2.5. Момент на общем валу двигателя и генератора определять из условия $M_{\text{мпт}} = M_{\text{ам}} = P_2/\omega$;

2.6. Критическое скольжение $S_{\text{кр}}$ и критический момент $M_{\text{кр}}$ для расчета механических характеристик определить используя упрощённую формулу Клосса и по две пары значений $(M_{\text{ам1}}; S_1)$ и

($M_{ам2}$; S_2) полученных экспериментально для генераторного и двигательного режимов АМ.

2.7. Для расчета механических характеристик в генераторном и двигательном режимах работы АМ воспользоваться упрощенным уравнением Клосса: $M = 2M_{кр}/(S_{кр}/S + S/S_{кр})$, и зависимостью скорости вращения ротора от скольжения $n = n_c (1 - S)$, где $n_c = 1500$ об/мин – частота вращения поля статора.

2.8. Исследуемый двигатель АВЕ-072-4; номинальные данные $P_2=270$ Вт; $U_H=220$ В; $n_H=1370$ об/мин; $\cos\varphi=0,95$; $\eta=0,63$; $I_H=2,0$ А. Нагрузочный генератор: ПЛ 072; $P_H= 250$ Вт; $U_H=220$ В; $I_H= 2$ А. Нагрузочный реостат РПМ-1 1 А; 200 Ом.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

На рис. 1 представлена принципиальная электрическая схема лабораторной установки.

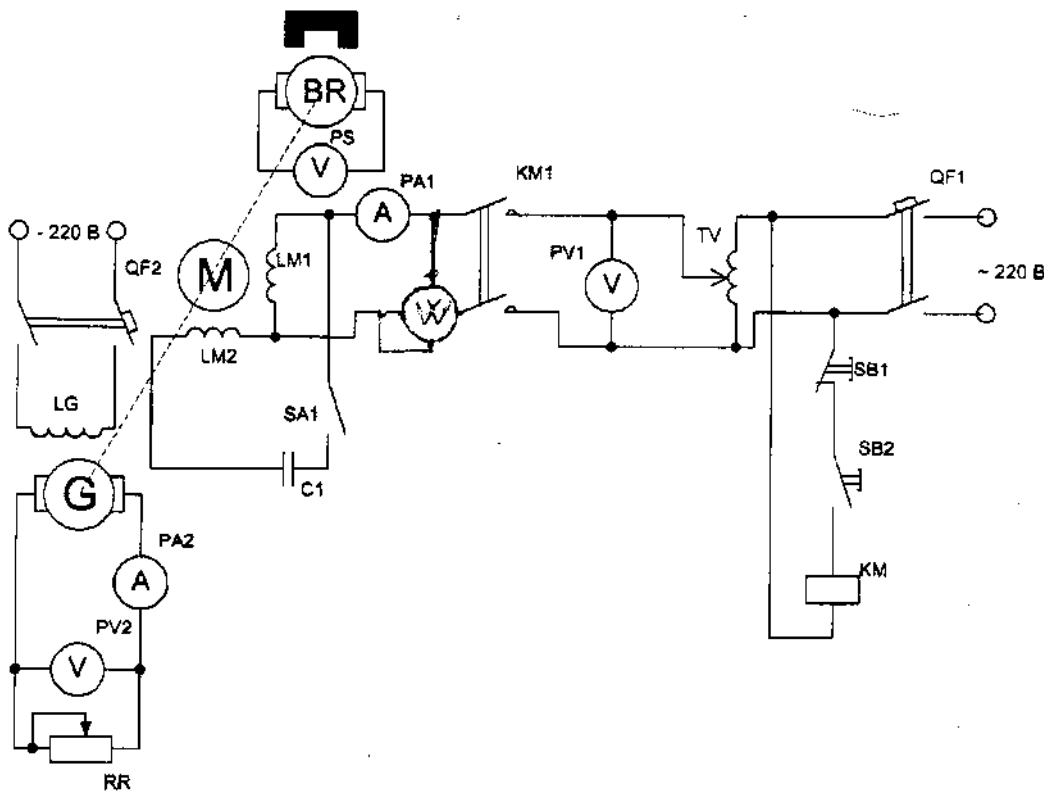


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторного стенда

Схема включает в себя автоматический выключатель QFI , через который осуществляется питание автотрансформатора TV и его защита от токов короткого замыкания, механически соединенные

общим валом исследуемый двигатель M , тахогенератор BR , а так же нагрузочный генератор G , с включенными в цепь якоря измерительными приборами $PA2$, $PV2$ и регулируемым резистором RR . Автоматический выключатель $QF2$ служит для включения питания и защиты от короткого замыкания независимой обмотки возбуждения генератора G . Регулируемое с помощью автотрансформатора TV однофазное напряжение через измерительный комплекс приборов К-505 ($PV1$, $PA1$, W) подается на рабочую $LM1$ и пусковую обмотку $LM2$ исследуемого однофазного асинхронного двигателя M . В цепь пусковой обмотки $LM2$ включен конденсатор $C1$ и ключ $SA1$, позволяющий отключать пусковую обмотку $LM2$ после разгона двигателя M .

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Собрать электрическую схему лабораторного стенда Рис. 1: подключить измерительный комплект К505, включить ключ $SA1$, движок автотрансформатора TV установить в среднее положение и замкнуть автоматические выключатели $QF1$ и $QF2$.

4.2. После проверки схемы преподавателем, нажать кнопку «ПУСК», подав напряжение на измерительный комплект К505 и автотрансформатор, и установить с помощью автотрансформатора TV напряжение $U_1=220В$.

4.3. При включенном ключе $SA1$, изменяя с помощью потенциометра RR нагрузку генератора G сделать 4-5 замеров параметров режима работы однофазного двигателя M . Данные результатов опыта занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	SA1 0/1	U_1 В	I_1 А	P_1 Вт	n об/мин	U_2 В	I_2 А	$P_{2(мех)}$ Вт	КПД %	Cosf	М н/м

4.4. При минимальной нагрузке генератора G отключить ключом $SA1$ пусковую обмотку $LM2$. Изменяя с помощью потенциометра RR нагрузку генератора G сделать 4-5 замеров параметров режима работы однофазного двигателя M при пульсирующем магнитном поле. Данные результатов опыта занести в таблицу.

4.5. Установить с помощью автотрансформатора напряжение $U_1=200$ В и повторить опыты по пп. 4.3–4.4. Данные результатов опыта занести в таблицу 1.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. Используя опытные данные рассчитать механическую мощность и момент на валу исследуемого двигателя P_2 и M , а также КПД, $\cos\varphi$.

5.2. Построить в одной системе координат механические характеристики АД при $U_1=220$ В с эллиптическим и пульсирующим магнитным полем (т.е. с включенным и разомкнутым ключом $SA1$).

5.3. Построить в одной системе координат механические характеристики АД при $U_1=220$ В и при 200в с эллиптическим магнитным полем.

5.4. Построить в одной системе координат рабочие характеристики АД при $U_1=220$ В с эллиптическим и пульсирующим магнитным полем (т.е. с включенным и разомкнутым ключом $SA1$).

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

6.1. Чертеж (схематично) поперечного разреза однофазного асинхронного двигателя с указанием основных элементов конструкции.

6.2. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

6.3. Таблицы с данными опытов.

6.4. Графики характеристик.

6.5. Формулы и зависимости, поясняющие работу АД в различных режимах и методику расчета данных для построения характеристик и диаграмм.

7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

7.1. С какой целью в цепь пусковой обмотки включают фазосдвигающий элемент?

7.2. Как можно повысить пусковой момент конденсаторного

двигателя?

7.3. Поясните принцип работы однофазного асинхронного двигателя?

7.4. Изобразите механическую характеристику однофазного асинхронного двигателя.

Лабораторная работа № 12: РАБОТА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ИНДИВИДУАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться по учебнику и конспекту лекций с конструкцией основных видов синхронных машин.

1.2. Приобрести практические навыки в исследовании синхронных машин.

1.3. Получить экспериментальные данные и построить характеристики холостого хода, короткого замыкания, внешнюю и регулировочную характеристики синхронного генератора.

1.4. Построить треугольник короткого замыкания и определить ОКЗ (отношение короткого замыкания) исследуемого синхронного генератора.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Система относительных единиц. Для сравнения синхронных машин разного конструктивного исполнения, напряжения и мощности удобно выражать их основные параметры не в физических единицах, а в относительных величинах.

В системе относительных величин за единицу принимают следующие величины:

- номинальная полная мощность машины $P_n = mU_n I_{ан}$;
- номинальное фазное напряжение якоря при ХХ $U_n = E_0 = (E_f)$;
- номинальный фазный ток якоря $I_{ан}$;
- номинальное фазное сопротивление $Z_n = U_n / I_{ан} = E_f / I_{ан}$;
- ток возбуждения, соответствующий номинальному напряжению при холостом ходе.

Все графические построения выполняются в относительных единицах в масштабе 1 о.е. – 100 мм для напряжения и 1 о.е. – 50 мм для токов возбуждения и КЗ.

2.2. Характеристика холостого хода (зависимость $E_f = F(I_B)$) имеет восходящую и нисходящую ветви. Для построения диаграмм и других характеристик рекомендуется брать нисходящую ветвь с нулем, помещенным в точке пересечения кривой с осью абсцисс.

2.3. В опыте короткого замыкания ток якоря не должен превышать своего номинального значения $I_{ан}$. В этом случае магнитная система машины не насыщена и зависимость $I_k = F(I_b)$ имеет прямолинейный характер.

2.4. Отношение короткого замыкания (ОКЗ) определяют как отношение ток возбуждения, соответствующего номинальному напряжению при холостом ходе, к току возбуждения, соответствующему номинальному току статора при опыте короткого замыкания. При ненасыщенной машине ОКЗ равно обратной величине относительного значения синхронного сопротивления по продольной оси.

$$\text{ОКЗ} = 1 / X_d^*; \quad X_d^* = X_d / Z_H; \quad X_d = X_{ад} + X_{са},$$

где $X_{ад}$ – индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной оси d; $X_{са}$ – индуктивное сопротивление рассеяния по продольной якоря оси.

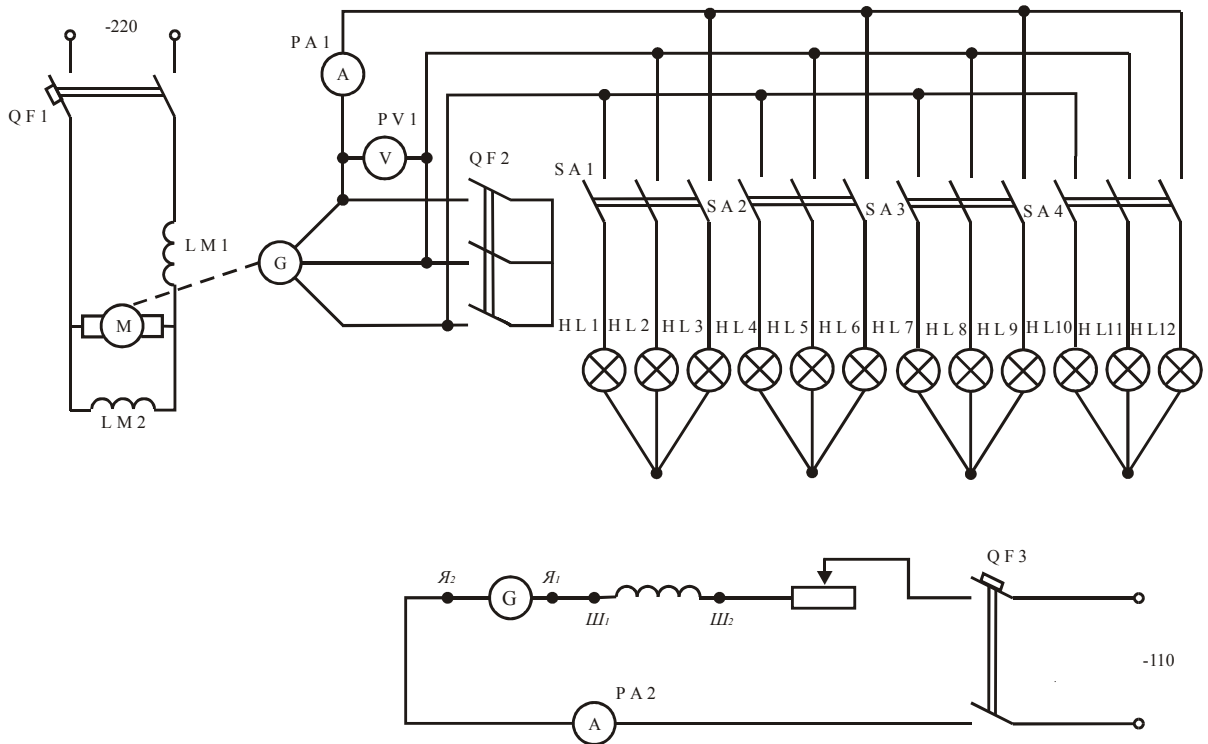
3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1 Описание работы стенда. Схема для исследования синхронного генератора, работающего на индивидуальную нагрузку (рисунок). С помощью автоматического выключателя QF1 постоянное напряжение 220 В подается на приводной на двигатель постоянного тока М, а через выключатель QF3 постоянным напряжением 110 В подается на обмотку возбуждения LG генератора G. С помощью регулировочного реостата RR1 регулируют ток в обмотке возбуждения генератора LG. Величина тока возбуждения измеряется амперметром PA2. Автоматический выключатель QF2 предназначен для создания трехфазного короткого замыкания в якорной цепи исследуемого синхронного генератора G.

С помощью амперметра PA1 измеряют ток в фазе нагрузки, а с помощью вольтметра PV1 линейное напряжение на нагрузке синхронного генератора G.

Выключатели SA1, SA2, SA3, SA4 служат для подключения нагрузки (лампы накаливания HL) к зажимам генератора G, причем:

- SA 1 – включает три лампы по 100 Вт каждая;
- SA2 – включает три лампы по 200 Вт каждая;
- SA3 – включает три лампы по 300 Вт каждая;
- SA4 – включает три лампы по 300 Вт каждая.



Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Получение данных для построения характеристики холостого хода. $U = F(I_B)$ при $I_a = 0$; $n = \text{const}$.

I_B – ток возбуждения генератора;

I_a – ток нагрузки генератора;

n – число оборотов генератора.

4.1.1. Привести схему в исходное состояние: все выключатели QF1, QF2, QF3, SA1-SA4 разомкнуты.

4.1.2. Включить выключатель QF1 и запустить приводной двигатель М. С помощью вольтметра PV1 зафиксировать значение ЭДС генератора G при токе возбуждения равном нулю.

4.1.3. Включить выключатель QF3 и подать постоянное напряжение 110 В на обмотку возбуждения генератора LG. С помощью регулировочного резистора RR1 постепенно увеличивать ток возбуждения до номинального (снять восходящую ветвь характеристики) при этом произвести 5-6 замеров значений напряжений на выходе генератора G и соответствующих им значений тока возбуждения I_B .

Данные занести в таблицу.

4.1.4. Уменьшая реостатом RR1 ток возбуждения в обмотке LG до нуля зафиксировать 5-6 значений напряжения на выходе генератора G (получить нисходящую ветвь характеристики). Данные занести в таблицу.

№ оп.	Характеристика холостого хода				Внешняя характеристика		Регулировочная характеристика			Характеристика короткого замыкания	
	Прямая ветвь		Обратная ветвь		U ₁	I ₁	I _B	I ₁		I _{1кз}	I _B
	U ₁	I _B	U ₁	I _B							
	В	А	В	А	В	А	А	А	А	А	
1											
2											
3											
4											
5											

4.2. Снять внешнюю характеристику генератора $U = f(I_a)$ при $I_B = \text{const}$.

При помощи реостата RR1 установить на выходе генератора номинальное напряжение. При помощи выключателей SA1-SA4 изменить нагрузку от 0 до максимальной. Данные пяти замеров напряжения генератора и тока I_a занести в таблицу.

4.3. Снять регулировочную характеристику генератора $I_B = f(I_a)$, при $U_a = \text{const}$; $n = \text{const}$.

4.3.1. При холостом ходе генератора G с помощью регулировочного реостата RR1 установить номинальное напряжение U_H и соответствующий ему ток возбуждения генератора I_B ;

4.3.2. Постепенно увеличивать нагрузку генератора выключателями SA1-SA4. При этом с помощью регулировочного реостата RR1 так изменять ток в обмотке возбуждения LG, что бы поддер-

живать на зажимах генератора G номинальное напряжение неизменным. Данные пяти замеров занести в таблицу.

4.4. Снять характеристику короткого замыкания генератора: $I_{ак} = f(I_{в})$ при: $U = 0$, $n = \text{const}$, $P_2 = 0$, где $I_{акз}$ – ток якоря при трехфазном коротком замыкании на зажимах генератора. P_2 – полезная мощность генератора.

4.4.1. Отключить выключателем QF1 приводной двигатель M.

4.4.2. Замкнуть накоротко с помощью автоматического выключателя QF2 выводные концы якорной обмотки синхронного генератора G.

4.4.3. Регулировочный реостат цепи возбуждения RR1 полностью ввести (включить максимальное сопротивление – нижнее положение движка реостата).

4.4.4. С помощью автоматического выключателя QF3 отключить цепь возбуждения (110 В) генератора G.

4.4.5. Выключателем QF1 включить приводной двигатель M и произвести первый замер тока якоря.

4.4.6. Выключателем QF3 подать напряжение 110 В в цепь обмотки возбуждения генератора LG. Изменяя ток возбуждения $I_{в}$ с помощью реостата RR1 получить 3–4 значения тока $I_{ак}$ (максимальное значение тока не более 10 А). Данные замеров занести в таблицу.

4.4.7. Отключить лабораторную установку от сети в следующей последовательности: отключить выключателем QF3 питание 110 В обмотки возбуждения генератора LG, затем автоматом QF1 отключить (220 В) питание приводного двигателя M

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

5.1. На основании полученных данных (таблица) построить характеристики синхронного генератора:

- характеристику холостого хода (восходящую и нисходящую ветви) $U = F(I_{в})$;
- внешнюю характеристику генератора $U = F(I_{а})$;
- регулировочную характеристику генератора $I_{в} = F(I_{а})$;
- характеристику короткого замыкания $I_{к} = F(I_{в})$.

5.2. Построить в общей системе координат в относительных единицах (согласно рекомендациям п. 2.1) нисходящую ветвь ха-

рактеристики холостого хода и характеристику короткого замыкания генератора.

5.3. Вычислить ОКЗ генератора и значение его синхронного сопротивления по продольной оси X_d . Построить треугольник короткого замыкания.

6. ОТЧЕТ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

6.1. Чертеж (схематично) поперечного разреза синхронной машины с указанием ее основных частей.

6.2. Принципиальную электрическую схему лабораторной установки.

6.3. Таблицу с данными опытов.

6.4. Графики характеристик.

6.5. Формулы и зависимости, поясняющие работу генератора в различных режимах.

7. ВОПРОСЫ

7.1. Опишите основные виды конструкционного исполнения синхронных машин и поясните назначение ее элементов.

7.2. Приведите характеристики синхронного генератора, работающего на автономную нагрузку.

7.3. Поясните действие реакции якоря синхронного генератора.

7.4. Как включить синхронный генератор на параллельную работу с сетью?

7.5. Угловые характеристики синхронной машины.

7.6. Поясните механическую характеристику синхронной машины.

7.7. Пояснить U-образную характеристику синхронной машины.

7.8. Поясните принцип работы реактивного синхронного двигателя.

7.9. Назовите способы пуска синхронного двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольдек, А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока. Трансформаторы: учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб.: Питер, 2010. – 320 с.
2. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб.: Питер, 2010. – 350 с.
3. Филимонов, С. Г. Электромеханика [Электронный ресурс] Ч. 1 : учеб. пособие / ГОУ ВПО "Кузбас. гос. техн. ун-т". – Кемерово, 2009. – 323 с.
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90395&type=utchposob:common>
4. Филимонов, С. Г. Электрические машины переменного тока [Электронный ресурс] : учеб. пособие / ГОУ ВПО "Кузбас. гос. техн. ун-т". – Кемерово, 2010. – 193 с.
<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90476&type=utchposob:common>
5. Проектирование электрических машин: учебник для электромеханических и электроэнергетических специальностей вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев; под ред. И. П. Копылова. – М.: Высш. шк., 2002. – 757 с.
6. Сергеев, П. С. Проектирование электрических машин: учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / П. С. Сергеев, Н. В. Виноградов, Ф. А. Горяинов; под общ. ред. П. С. Сергеева. – М.: Энергия, 1969. – 632 с.
7. Поволоцкий, М. Е. Проектирование асинхронных электродвигателей. – Куйбышев: Куйбышевский политехнический институт им. В. В. Куйбышева, 1970. – 376 с.
8. Морозов, А. Г. Расчет электрических машин постоянного тока: учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 1977. – 264 с.
9. Проектирование электрических машин: учеб. пособие для вузов / И. П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б. К. Клоков [и др.]; под ред. И. П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
10. Епифанов, А. П. Электрические машины: учебник для студентов вузов. – СПб.: Лань, 2006. – 272 с.
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=591