

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Лабораторный практикум
для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение»

Минск
БНТУ
2011

УДК 621.313(076.5)(075.8)

ББК 31.261я7

Э 45

Составители:

А.А. Гончар, М.М. Олешкевич, Ю.В. Макоско

Рецензенты:

Румянцев В.Ю., Булат В.А.

Э 45 Электрические машины: лабораторный практикум для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» / сост.: А.А. Гончар, М.М. Олешкевич, Ю.В. Макоско. – Минск: БНТУ, 2011. – 38 с.

В практикуме приведено содержание и схемы выполнения лабораторных работ по разделам «Силовые трансформаторы», «Машины переменного и постоянного тока» с использованием универсального лабораторного стенда НТЦ-23, а также даны методические указания по выполнению этих работ, приведены контрольные вопросы, задачи и требования к содержанию отчетов.

СОДЕРЖАНИЕ

Правила техники безопасности и работы в лаборатории электрических машин.....	4
Испытательный стенд	4
<i>Лабораторная работа № 1. Опытное определение групп соединения трехфазного двухобмоточного трансформатора</i>	<i>7</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором</i>	<i>11</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Исследование трехфазного синхронного генератора.....</i>	<i>19</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Исследование двигателя постоянного тока параллельного и независимого возбуждения.....</i>	<i>30</i>
Литература	37

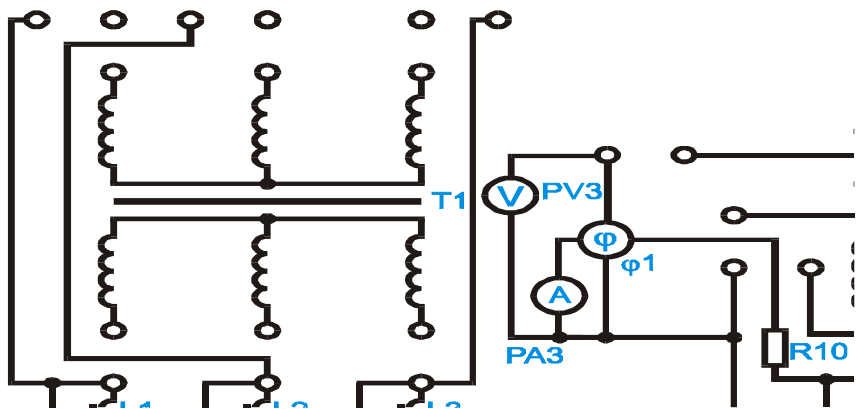
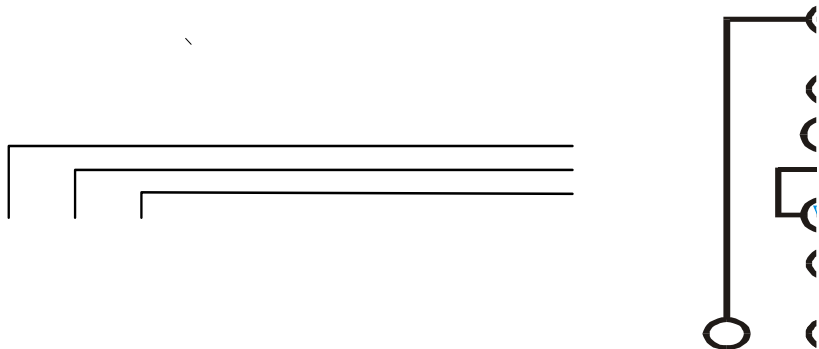
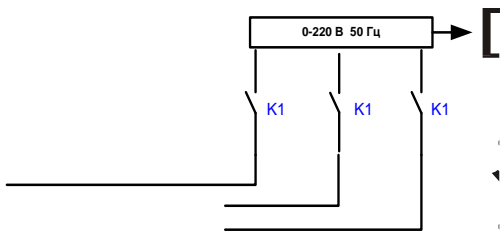
Правила техники безопасности и работы в лаборатории электрических машин

1. Работа в лаборатории разрешается только после инструктажа по технике безопасности.
2. При работе необходимо быть предельно внимательным и осторожным, чтобы избежать соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, нельзя проникать за ограждения.
3. Включать установку можно только после получения разрешения преподавателя.
4. Изменения в схеме производить только при обесточенной установке.
5. При выполнении задания нельзя заниматься посторонними делами, ходить без дела по лаборатории.
6. При перерывах необходимо обесточивать установку.
7. Запрещается выполнение работы при отсутствии преподавателя или лаборанта, а также одному студенту.
8. При неисправности или несчастном случае немедленно отключить установку и известить преподавателя.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Назначение

Лабораторный стенд НТЦ-23 (см. рисунок) предназначен для использования в качестве учебного оборудования в высших специальных учебных заведениях при проведении лабораторно-практических занятий по курсам «Электрические машины и трансформаторы». Стенд предназначен для эксплуатации в закрытых отапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от +10 до +35 °С, относительной влажности воздуха 80 % при температуре 25 °С.



Лицевая панель испытательного стенда

Технические характеристики

Электропитание стенда осуществляется от трехфазной сети переменного тока 380/220 В, $50\pm 0,5$ Гц.

Потребляемая мощность не более 2 кВт. Режим работы – продолжительностью 8 часов.

Меры безопасности

1. При эксплуатации изделия необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

2. Изделие эксплуатировать в помещении без повышенной опасности по степени поражения электрическим током.

3. Включение питания изделия и выполнение работ производить только после разрешения преподавателя.

4. Сборку электрических схем для проведения лабораторной работы, техническое обслуживание производить при отключенном питании стенда.

5. Корпус стенда должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не более 4 Ом.

Лабораторная работа №1
**ОПЫТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУПП СОЕДИНЕНИЯ
ТРЕХФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО
ТРАНСФОРМАТОРА**

Цель работы

1. Изучить различные группы соединений фазных обмоток трехфазных трансформаторов.
2. Экспериментально подтвердить теоретические сведения о группах соединения трансформаторов и приобрести практические навыки по опытному определению групп соединения трехфазных трансформаторов.

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Экспериментально проверить 0, 5, 6 и 11 группы соединения трехфазного трансформатора.
2. По экспериментальным данным построить топографические диаграммы линейных напряжений для четырех основных групп соединения трехфазного трансформатора.
3. Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Анализ результатов лабораторной работы

При анализе результатов лабораторной работы необходимо иметь в виду следующее.

1. Группы соединения трансформаторов определяются не только схемой соединения обмоток ВН и НН, но и маркировкой их выводов (направлением намотки).
2. Исследованные в лабораторной работе четыре группы соединений являются основными, и каждая из них может быть преобразована в две производные группы соединения путем круговой перемаркировки выводов обмотки либо на стороне ВН, либо на стороне НН; следует указать, какие производные группы соединения могут быть получены из каждой основной.
3. Необходимо отметить, какие из групп соединения, рассмотренных в данной работе, предусмотрены ГОСТ.

Порядок работы с лабораторной установкой

Соединение вторичной обмотки в схему прямая звезда. Метод вольтметра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Вольтметр $pV2$ подсоединить к выводам трансформатора bB . Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой $SB3$ подать питание на катушку пускателя $K2$, контакты которой подключают испытуемый трансформатор к сети $-3, 380B, 50Гц$. Записать показания приборов $pV3 (U_{ab})$ и $pV2 (U_{bB})$. Кнопкой $SB4$ отключить пускатель $K2$. Вольтметр $pV2$ подсоединить к выводам cC . Кнопкой $SB3$ включить $K2$. Записать показание $pV2 (U_{cC})$. Кнопкой $SB4$ отключить пускатель $K2$. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Соединение вторичной обмотки в схему прямая звезда. Метод фазометра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой $SB3$ подать питание на катушку пускателя $K2$. Записать показания фазометра. Кнопкой $SB4$ отключить пускатель $K2$. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Соединение вторичной обмотки в схему обратная звезда. Метод вольтметра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Вольтметр $pV2$ подсоединить к выводам трансформатора yB . Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой $SB3$ подать питание на катушку пускателя $K2$, контакты которой подключают испытуемый трансформатор к сети $-3, 380B, 50Гц$. Записать показания приборов $pV3 (U_{xy})$ и $pV2 (U_{yB})$. Кнопкой $SB4$ отключить пускатель $K2$. Вольтметр $pV2$ подсоединить к выводам zC . Кнопкой $SB3$ включить $K2$. Записать показание $pV2 (U_{zC})$. Кнопкой $SB4$ отключить пускатель $K2$. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Соединение вторичной обмотки в схему обратная звезда. Метод фазометра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой $SB3$ подать питание на катушку пускателя $K2$. Записать показания фазометра. Кнопкой $SB4$ отключить пускатель $K2$. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Соединение вторичной обмотки в схему прямой треугольник. Метод вольтметра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Вольтметр $pV2$ подсоединить к выводам трансформатора bB . Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой $SB3$

подать питание на катушку пускателя K2, контакты которой подключат испытуемый трансформатор к сети -3, 380В, 50Гц. Записать показания приборов pV3 (Uab) и pV2 (UbB). Кнопкой SB4 отключить пускатель K2. Вольтметр pV2 подсоединить к выводам сС. Кнопкой SB3 включить K2. Записать показание pV2 (UcC). Кнопкой SB4 отключить пускатель K2. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Соединение вторичной обмотки в схему прямой треугольник. Метод фазометра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой SB1 подать питание на катушку пускателя K2. Записать показания фазометра. Кнопкой SB2 отключить пускатель K2. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Соединение вторичной обмотки в схему обратный треугольник. Метод вольтметра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Вольтметр pV2 подсоединить к выводам трансформатора uВ. Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой SB3 подать питание на катушку пускателя K2, контакты которой подключат испытуемый трансформатор к сети -3, 380В, 50Гц. Записать показания приборов pV3 (Uxy) и pV2 (UyB). Кнопкой SB4 отключить пускатель K2. Вольтметр pV2 подсоединить к выводам zC. Кнопкой SB3 включить K2. Записать показание pV2 (UzC). Кнопкой SB4 отключить пускатель K2. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Соединение вторичной обмотки в схему обратный треугольник. Метод фазометра. Все тумблеры на лицевой панели в нижнем положении. Включить автоматический выключатель «Сеть». Кнопкой SB3 подать питание на катушку пускателя K2. Записать показания фазометра. Кнопкой SB4 отключить пускатель K2. Выключить автоматический выключатель «Сеть».

Контрольные вопросы

1. Какие могут быть типы и группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов?
2. Как определяют с помощью вольтметра группу соединения обмоток трехфазного трансформатора?
3. Чем определяется группа соединения трансформатора?

4. Какие группы соединения могут быть получены при одинаковой схеме соединения обмоток ВН и НН?

5. Какие группы соединения называют основными, а какие – производными?

6. Каким образом из основных групп соединения можно получить производные?

7. Перечислите группы соединения, предусмотренные ГОСТ, нарисуйте соответствующие им схемы соединения обмоток и топографические диаграммы.

8. В чем состоит метод фазометра при определении группы соединения трансформатора?

Лабораторная работа № 2
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Цель работы: изучить конструкцию трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и освоить приемы снятия его характеристик.

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Записать паспортные данные электрических машин и измерительных приборов.
2. Ознакомиться со схемой и порядком включения стенда.
3. Снять характеристики холостого хода. Определить потери холостого хода.
4. Снять характеристики короткого замыкания при заторможенном роторе. Определить потери короткого замыкания. Определить кратность пускового тока и пускового момента асинхронного двигателя.
5. Снять и построить рабочие характеристики асинхронного двигателя при номинальном напряжении и частоте сети.
6. Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.
7. Анализируя рабочие характеристики, нужно объяснить вид полученных графиков. Например, график тока не выходит из начала координат, так как в режиме холостого хода двигатель потребляет из сети ток холостого хода, обусловленный потерями холостого хода.

Порядок работы с лабораторной установкой

Опыт холостого хода

Изучить принципиальную схему стенда.

Собрать схему для исследования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (машина М2).

Опыт проводить в следующей последовательности:

- 1) включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;

2) включить выключатель SA1;

3) для включения обмотки статора по схеме «треугольник» установить переключатель SA3 в положение «Включено».

Установить режим работы Инвертора:

1) независимое управление – положение «Включено»;

2) $U/f = \text{const}$ – положение «Выключено»;

3) установить выключатель PV1/PW1 в положение «PV1»;

4) установить выключатель PV2/PW2 в положение «PW2»;

5) установить выключатель PV3/ PW3 в положение «PV3»;

б) с помощью регулятора «Задание частоты» установить значение частоты $f=50\text{Гц}$ (контролировать по прибору HZ1);

7) с помощью регулятора «Задание напряжения» инвертора установить значение напряжения $U1 = 0 \text{ В}$ (контролировать по вольтметру PV4).

Подключить исследуемый двигатель к выходу инвертора, нажав кнопку SB1.

При помощи регулятора «Задание напряжения» инвертора плавно увеличить напряжение на статоре асинхронного двигателя до номинального значения $U1 = 220 \text{ В}$ (контролировать по вольтметру PV4).

Прогреть асинхронный двигатель в течение 5 минут.

При помощи регулятора «Задание напряжения» инвертора плавно установить напряжение $U1 = 100 \text{ В}$ (контролировать по вольтметру PV4). Ротор двигателя в этом случае вращается с частотой, весьма близкой к синхронной. Чтобы достичь синхронной частоты вращения по и компенсировать механические потери $R_{\text{мех}}$, нужно подключить к сети вспомогательную машину М3, которая работает в двигательном режиме.

Для этого необходимо:

1) установить выключатель ШИП2 в положение «Включено»;

2) с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить номинальное значение тока возбуждения вспомогательной машины М3 (контролировать по амперметру РА6).

Установить режим работы ШИП1: «Отключить замкнутую СУ», «Задание скорости», «Двигательный режим».

Включить ШИП1 – тумблер в положение «Вкл»;

– с помощью регулятора «Задание» ШИП1, плавно увеличивая напряжение на выходе, разогнать исследуемый двигатель до синхронной частоты вращения. Для более точного определения син-

хронной частоты вращения можно воспользоваться ваттметром PW2. При приближении к синхронной частоты вращения активная мощность уменьшается до нуля. При $n = n_0$ снять показания приборов. Увеличивая напряжение на исследуемом двигателе М2 от 130 В до 250 В снять 5 точек. Синхронную частоту вращения поддерживать постоянной (контролировать по прибору BR1), изменяя напряжение на вспомогательном двигателе М3. Данные занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Данные опыта холостого хода

№	Измерено			Вычислено						
	$U_0,$ В	$I_0,$ А	$P_0,$ Вт	$U_{\phi 0},$ В	$I_{\phi 0},$ А	$\cos\phi_0$	$\phi_0,$ град	$P_{Эл1},$ Вт	$P_{мех},$ Вт	$P_м,$ Вт
1										
...										
5										

Завершив эксперимент, необходимо:

- с помощью регулятора «Задание» ШИП1 уменьшить напряжение до нуля (контролировать по прибору PV3);
- выключить ШИП1 – тумблер в положение «Выкл»;
- уменьшить напряжение на выходе Инвертора до нуля (контролировать по прибору PV4);
- отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить значение тока возбуждения вспомогательной машины М3 равное нулю (контролировать по амперметру РА6).
- установить выключатель ШИП2 в положение «Выключено»;
- Выключить выключатель SA1.
- Выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений и вычислений построить характеристики холостого хода $I_0, P_0, \cos\phi_0 = f(U_1)$, на которых необходимо отметить значения величин $I_{0ном}, P_{0ном}, (P_м + P_{мех})_{ном}$ и $\cos\phi_{ном}$, соответствующих номинальному напряжению $U_{1ном}$.

Опыт короткого замыкания

Опыт проводить в следующей последовательности.

1. Включить автоматический выключатель «СЕТЬ».
2. Включить выключатель SA1.
3. Для включения обмотки статора по схеме «звезда», установить переключатель SA3 в положение «Выключено».
4. Установить режим работы Инвертора:
 - независимое управление – положение «Включено»;
 - $U/f = \text{const}$ – положение «Выключено»;
 - установить выключатель PV1/PW1 в положение «PV1»;
 - установить выключатель PV2/PW2 в положение «PW2»;
 - установить выключатель PV3/φ в положение «PV3»;
 - с помощью регулятора «Задание частоты» установить значение частоты $f = 50$ Гц (контролировать по прибору HZ1);
 - с помощью регулятора «Задание напряжения» инвертора установить значение напряжения $U_1 = 0$ В (контролировать по вольтметру PV4).
5. Подключить исследуемый двигатель к выходу Инвертора, нажав кнопку SB1.
6. При помощи регулятора «Задание напряжения» плавно увеличить напряжение на статоре асинхронного двигателя до номинального значения $U_1 = 220$ В (контролировать по вольтметру PV4).
7. Прогреть асинхронный двигатель в течение 5 минут.
8. При помощи регулятора «Задание напряжения» плавно установить напряжение $U_1 = 0$ В (контролировать по вольтметру PV4). Чтобы ротор двигателя M2 не вращался, нужно подключить к сети вспомогательную машину M3, которая работает в генераторном режиме.
9. Для этого необходимо:
 - установить выключатель ШИП2 в положение «Включено»;
 - с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить номинальное значение тока возбуждения вспомогательной машины M3 (контролировать по амперметру PA6).
10. Установить режим работы ШИП1 «Включить замкнутую СУ», «Задание скорости», «Генераторный режим».
11. Включить ШИП1 – тумблер в положение «Вкл»;

– с помощью регулятора «Задание», ШИП1, установить значение частоты вращения ротора равное нулю (контролировать по прибору BR1).

13. С помощью регулятора «Задание напряжения» инвертора увеличивать напряжение на исследуемом двигателе М2 от **50 В** до **90 В** (контролировать по вольтметру PV4).

Чтобы ротор двигателя М2 не вращался (контролировать по прибору BR1), увеличивать напряжение на вспомогательной машине М3. Измеренные и вычисленные величины занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Данные опыта короткого замыкания

№	Измерено			Вычислено						
	U _к , В	I _к , А	P _к , Вт	U _{Фк} , В	I _{Фк} , А	cosφ _к	φ _к , град	Z _к , Ом	X _к , Ом	r _к , Ом
1										
...										
5										

14. Завершив эксперимент, необходимо:

– с помощью регулятора «Задание» ШИП1 уменьшить напряжение до нуля (контролировать по прибору PV3);

– выключить ШИП1 – тумблер в положение «Выкл»;

– уменьшить напряжение на выходе Инвертора до нуля (контролировать по прибору PV4);

– отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;

– с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить значение тока возбуждения вспомогательной машины М3 равное нулю (контролировать по амперметру PA6).

– установить выключатель ШИП2 в положение «Выключено»;

– выключить выключатель SA1;

– выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений и вычислений построить характеристики короткого замыкания: I_к; P_к и cosφ_к=f(U_к).

ВНИМАНИЕ!

1. Ток статора не должен превысить $1,5 \cdot I_n$ исследуемого двигателя.
2. Ротор исследуемого двигателя не вращается.
3. Продолжительность каждого отсчета не должна превышать **10 с**.
4. Опыт требует хорошей организации и слаженной работы бригады студентов. На каждого наблюдателя возлагается наблюдение за одним – двумя приборами в момент отсчета (времени включения).

Исследование рабочих характеристик

Опыт проводить в следующей последовательности.

1. Включить автоматический выключатель «СЕТЬ».
2. Включить выключатель SA1.
3. Для включения обмотки статора по схеме «треугольник», установить переключатель SA3 в положение «Включено».
4. Установить режим работы Инвертора:
 - независимое управление – положение «Включено»;
 - установить выключатель SA в положение «PV3»;
 - установить выключатель PV1/PW1 в положение «PV1»;
 - установить выключатель PV2/PW2 в положение «PW2»;
 - установить выключатель PV3/ PW3 в положение «PV3»;
 - с помощью регулятора «Задание частоты» установить значение частоты $f=50\text{Гц}$ (контролировать по прибору HZ1);
 - с помощью регулятора «Задание напряжения» инвертора установить значение напряжения $U_1 = 0 \text{ В}$ (контролировать по вольтметру PV4).
5. Подключить исследуемый двигатель к выходу Инвертора, нажав кнопку SB1.
6. При помощи регулятора «Задание напряжения» плавно увеличить напряжение на статоре асинхронного двигателя до номинального значения $U_1 = 220 \text{ В}$ (контролировать по вольтметру PV4).
7. Прогреть асинхронный двигатель в течение **5 минут**.
8. Чтобы создать механическую нагрузку на валу исследуемого двигателя, нужно подключить к сети вспомогательную машину МЗ, которая работает в генераторном режиме. Для этого необходимо:
 - установить выключатель ШИП2 в положение «Включено»;

– с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить номинальное значение тока возбуждения вспомогательной машины МЗ (контролировать по амперметру РА6).

9. Установить режим работы ШИП1: «Отключить замкнутую СУ», «Задание тока», «Генераторный режим».

10. При помощи регулятора «Задание напряжения» плавно увеличить напряжение на статоре асинхронного двигателя до номинального значения $U_1 = 220 \text{ В}$ и поддерживать его **постоянным** в течение всего опыта (контролировать по вольтметру PV4).

11. Включить ШИП1 – тумблер в положение «Вкл».

12. Увеличивая ток в цепи якоря вспомогательной машины МЗ с помощью регулятора «Задание» ШИП1, снять показания приборов в 5 точках и занести их в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Рабочие характеристики

№	Измерено					Вычислено									
	$I_{дпт},$ А	$I_1,$ А	$U_1,$ В	$P_1,$ Вт	$\omega,$ рад/с	$n,$ об/мин	$I_{1\phi},$ А	$U_{1\phi},$ В	s	$\cos\phi$	$M_{эм},$ Н·м	$\Delta M,$ Н·м	$M_2,$ Н·м	$P_2,$ Вт	η
1															
...															
5															

Завершив эксперимент, необходимо:

1) с помощью регулятора «Задание» ШИП1 уменьшить напряжение до нуля (контролировать по прибору PV3);

2) выключить ШИП1 – тумблер в положение «Выкл»;

3) уменьшить напряжение на выходе инвертора до нуля (контролировать по прибору PV4);

4) отключить исследуемый двигатель, нажав кнопку SB2;

5) с помощью регулятора «Задание тока» ШИП2 установить значение тока возбуждения вспомогательной машины МЗ равное нулю (контролировать по амперметру РА6).

6) установить выключатель ШИП2 в положение «Выключено»;

7) выключить выключатель SA1;

8) выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

По опытным данным построить в одной системе координат рабочие характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: $I_1, P_1, n, s, \cos\phi, M, \eta=f(P_2)$.

Контрольные вопросы

1. Устройство трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
2. Принцип действия асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
3. Что такое скольжение и каким оно обычно бывает у асинхронного двигателя общего применения?
4. С какой целью у асинхронного двигателя обычно делают шесть выводов обмотки статора?
5. Как определить начало и конец обмотки статора?
6. Что такое реверс и как его осуществить в трехфазном асинхронном двигателе?
7. Какие характеристики асинхронного двигателя называются рабочими?
8. Почему относительная величина тока холостого хода у асинхронного двигателя больше, чем у трансформатора такой же мощности?
9. Как изменится электромагнитный момент асинхронного двигателя, если питающее напряжение уменьшить в 3 раза?
10. Что такое перегрузочная способность асинхронного двигателя, и как ее определить по круговой диаграмме?
11. Почему без нагрузки асинхронный двигатель работает с малыми значениями КПД и коэффициента мощности?
12. Какие виды потерь имеют место в асинхронном двигателе?
13. Почему магнитные потери в сердечнике ротора не учитывают?
14. На какие виды потерь влияют величина воздушного зазора и толщина пластин сердечника статора?
15. Почему график $I_1 = f(P_2)$ не выходит из начала координат?
16. При каких условиях высшие гармоники поля создают в асинхронном двигателе двигательный, генераторный и тормозной режимы?
17. Какими причинами вызван «провал» в механической характеристике?
18. При каких условиях может происходить «прилипание» ротора к статору?

Лабораторная работа № 3
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО
СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

Цель работы: изучить устройство синхронного генератора и приобрести практические навыки в сборке схем и снятии характеристик, получить экспериментальное подтверждение его свойств теоретическим сведениям.

Задание на выполнение лабораторной работы

Записать паспортные данные электрических машин и измерительных приборов.

Ознакомиться со схемой и порядком включения стенда.

Снять и построить характеристику холостого хода синхронного генератора. Определить коэффициент насыщения при номинальном значении тока возбуждения.

Снять и построить характеристику короткого замыкания синхронного генератора. По характеристике холостого хода и характеристике короткого замыкания определить опытным путем значение E_0 и рассчитать значение индуктивного сопротивления обмотки статора X . Определить отношение короткого замыкания синхронного генератора $K_{окз}$ при $E_0 = U_{ном}$.

Снять и построить внешние характеристики синхронного генератора. Определить номинальное изменение напряжения синхронного генератора.

Снять и построить регулировочные характеристики синхронного генератора.

Снять и построить нагрузочную характеристику синхронного генератора. Построить реактивный треугольник. Определить индуктивное сопротивление рассеяния $X_{\sigma a}$.

Рассчитать потери синхронного генератора при различных значениях тока нагрузки и построить график зависимости КПД от тока нагрузки. Определить потери и КПД синхронного генератора при номинальной нагрузке.

Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

При анализе результатов лабораторной работы следует сравнить полученную в лабораторной работе величину КПД синхронного генератора при номинальной нагрузке со значением КПД, указанным в паспорте машины.

Порядок работы с лабораторной установкой

Опыт холостого хода синхронного генератора

Изучить принципиальную схему стенда.

Собрать схему для исследования синхронного генератора (машина М1).

Опыт проводить в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;
- включить выключатель SA1;
- установить переключатель SA4 в положение «Включено», подключив обмотку возбуждения машины М1 к источнику постоянного тока (ШИП3).

- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 установить значение равное нулю (контролировать по прибору РА7);

- включить ШИП2 и установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный 0,4А (контролировать по прибору РА6);

- включить режим работы ШИП1 «задание скорости» и «включить замкнутую СУ»;

- включить ШИП1;
- с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить синхронную скорость вращения ротора машины М1 равную 104 рад/с (контролировать по прибору BR1);

- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 увеличивать значение тока возбуждения машины М1 до значения, при котором ЭДС холостого хода $E_0 = 1,3 \cdot U_n$ (контролировать по прибору PV1), а затем постепенно уменьшать ток возбуждения машины М1 до нуля (контролировать по прибору РА7);

- измерить ЭДС синхронного генератора (машины М1) при разных зачетениях тока возбуждения машины М1 (при намагничивании и размагничивании);

– данные занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Данные опыта холостого хода

№	Намагничивание				Размагничивание			
	I_B, A	E_o, B	I_B^*	E_o^*	I_B, A	E_o, B	I_B^*	E_o^*
1								
...								
5								

Завершив эксперимент, необходимо:

– с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить скорость вращения ротора машины М1 равную нулю (контролировать по прибору BR1);

– выключить ШИП1;

– установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный нулю (контролировать по прибору РА6);

– выключить ШИП2;

– выключить выключатель SA1;

– выключить выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений и вычислений построить характеристики холостого хода.

Снятые показания приборов при увеличении тока возбуждения (при намагничивании), соответствуют восходящей ветви характеристики холостого хода, а при уменьшении тока возбуждения (при размагничивании) – нисходящей ветви.

Характеристика холостого хода представляет собой зависимость ЭДС генератора в режиме холостого хода E_0 от тока возбуждения I_B при номинальной скорости вращения $n_2 = n_1$.

Характеристику холостого хода принято строить в относительных единицах.

За характеристику холостого хода принимают среднюю линию, проведенную между восходящей и нисходящей ветвями характеристики.

ВНИМАНИЕ!

При снятии данных восходящей ветви характеристики холостого хода необходимо, чтобы изменение тока возбуждения происходило только в направлении нарастания, при снятии данных нисходящей ветви – только в направлении убывания. Для сравнения характеристики холостого хода, полученной опытным путем, с нормальной характеристикой холостого хода синхронной машины следует строить обе характеристики в одних координатных осях.

Опыт короткого замыкания синхронного генератора

Опыт проводить в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;
- включить выключатель SA1;
- установить переключатель SA4 в положение «Включено» и подключить обмотку возбуждения машины M1 к источнику постоянного тока (ШИП3);
 - с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 установить значение равное нулю (контролировать по прибору PA7);
 - включить ШИП2 и установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины M3 равный 0,4А (контролировать по прибору PA6);
 - включить режим работы ШИП1 «задание скорости» и «включить замкнутую СУ»;
 - включить ШИП1;
 - с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить синхронную скорость вращения ротора машины M1 равную 104рад/с (контролировать по прибору BR1);
 - с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 увеличивать значение тока возбуждения машины M1 до значения, при котором ток статора достигнет значения $1,25 \cdot I_{ном}$ (контролировать по прибору PA7);
 - через приблизительно одинаковые интервалы тока возбуждения (контролировать по прибору PA7) измеряют ток статора (контролировать по прибору PA1). При этом одно измерение должно соответствовать току $I_{к} = I_{ном}$;
 - данные занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Данные опыта короткого замыкания

№	$I_{в}, А$	$I_{1к}, А$	$I_{в}^*$	$I_{1к}^*$
1				
...				
5				

Завершив эксперимент, необходимо:

– с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить скорость вращения ротора машины М1 равную нулю (контролировать по прибору BR1);

– выключить ШИП1;

– установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный нулю (контролировать по прибору РА6);

– выключить ШИП2;

– выключить выключатель SA1;

– выключить выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений построить характеристику короткого замыкания.

По характеристике холостого хода и характеристике короткого замыкания определить $K_{окз}$ (отношение короткого замыкания) и значение индуктивного сопротивления обмотки статора X .

ВНИМАНИЕ!

Ток статора не должен превысить $1,5 \cdot I_n$ исследуемого синхронного генератора.

Продолжительность каждого отсчета не должна превышать 10 с.

Опыт требует хорошей организации и слаженной работы бригады студентов. На каждого наблюдателя возлагается наблюдение за одним – двумя приборами в момент отсчета (времени включения).

Исследование внешних характеристик синхронного генератора

Собрать схему для исследования внешних характеристик синхронного генератора (машина М1).

Опыт проводить в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;
 - включить выключатель SA1;
 - установить переключатель SA4 в положение «Включено» и подключить обмотку возбуждения машины M1 к источнику постоянного тока (ШИПЗ);
 - с помощью регулятора «Задание тока» ШИПЗ установить значение равное нулю (контролировать по прибору PA7);
 - включить ШИП2 и установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины M3 равный 0,4А (контролировать по прибору PA6);
 - включить режим работы ШИП1 «задание скорости» и «включить замкнутую СУ»;
 - включить ШИП1;
 - с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить синхронную скорость вращения ротора машины M1 равную 104 рад/с (контролировать по прибору BR1);
 - с помощью регулятора «Задание тока» ШИПЗ увеличить значение тока возбуждения машины M1 до значения, при котором ЭДС холостого хода $E_0 = U_{ном}$ (контролировать по прибору PV1);
 - с помощью переключателя изменять величину активной нагрузки и измерять ток (контролировать по прибору PA1) и напряжение синхронного генератора (машины M1) (контролировать по прибору PV1);
 - с помощью переключателя изменять величину индуктивной нагрузки и измерять ток (контролировать по прибору PA1) и напряжение синхронного генератора (машины M1) (контролировать по прибору PV1);
 - с помощью переключателя изменять величину емкостной нагрузки и измерять ток (контролировать по прибору PA1) и напряжение синхронного генератора (машины M1) (контролировать по прибору PV1);
 - данные занести в табл. 3.3.
- Завершив эксперимент, необходимо:
- с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить скорость вращения ротора машины M1 равную нулю (контролировать по прибору BR1);

- выключить ШИП1;
- установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный нулю (контролировать по прибору РА6);
- выключить ШИП2;
- выключить выключатель SA1;
- выключить выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений построить внешние характеристики синхронного генератора.

По внешним характеристикам определить номинальное изменение напряжения синхронного генератора в процентах.

Таблица 3.3

Данные опыта внешних характеристик

№	Активная			Индуктивная			Емкостная		
	I_1, A	U, B	$P_2, Bт$	I_1, A	U, B	$P_2, Bт$	I_1, A	U, B	$P_2, Bт$
1									
...									
5									

Исследование регулировочных характеристик синхронного генератора

Собрать схему для исследования регулировочных характеристик синхронного генератора.

Опыт проводить в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;
- включить выключатель SA1;
- установить переключатель SA4 в положение «Включено» и подключить обмотку возбуждения машины М1 к источнику постоянного тока (ШИП3);
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 установить значение равное нулю (контролировать по прибору РА7);
- включить ШИП2 и установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный 0,4А (контролировать по прибору РА6);

- включить режим работы ШИП1 «задание скорости» и «включить замкнутую СУ»;
- включить ШИП1
- с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить синхронную скорость вращения ротора машины М1 равную 104рад/с (контролировать по прибору BR1);
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 увеличить значение тока возбуждения машины М1 до значения, при котором ЭДС холостого хода $E_0 = U_{ном}$ (контролировать по прибору PV1);
- с помощью переключателя изменять величину активной нагрузки синхронного генератора (машины М1);
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 изменять значение тока возбуждения машины М1 так, чтобы напряжение на выходе генератора в течение опыта оставалось неизменным и равным номинальному $U_1 = U_{ном}$ (контролировать по прибору PV1);
- измерить ток нагрузки (контролировать по прибору PA1) и ток возбуждения синхронного генератора (контролировать по прибору PA7);
- с помощью переключателя изменять величину индуктивной нагрузки синхронного генератора (машины М1);
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 изменять значение тока возбуждения машины М1 так, чтобы напряжение на выходе генератора в течение опыта оставалось неизменным и равным номинальному $U_1 = U_{ном}$ (контролировать по прибору PV1);
- измерить ток нагрузки (контролировать по прибору PA1) и ток возбуждения синхронного генератора (контролировать по прибору PA7);
- с помощью переключателя изменять величину емкостной нагрузки синхронного генератора (машины М1);
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 изменять значение тока возбуждения машины М1 так, чтобы напряжение на выходе генератора в течение опыта оставалось неизменным и равным номинальному $U_1 = U_{ном}$ (контролировать по прибору PV1);
- измерить ток нагрузки (контролировать по прибору PA1) и ток возбуждения синхронного генератора (контролировать по прибору PA7);
- данные занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Данные опыта регулировочных характеристик

№	Активная		Индуктивная		Емкостная	
	I_1, A	I_B, A	I_1, A	I_B, A	I_1, A	I_B, A
1						
...						
5						

Завершив эксперимент, необходимо:

– с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить скорость вращения ротора машины М1 равную нулю (контролировать по прибору BR1);

– выключить ШИП1;

– установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный нулю (контролировать по прибору РА6);

– выключить ШИП2;

– выключить выключатель SA1;

– выключить выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений построить регулировочные характеристики.

Исследование индукционной нагрузочной характеристики синхронного генератора

Опыт проводить в следующей последовательности:

– включить автоматический выключатель «СЕТЬ»;

– включить выключатель SA1;

– установить переключатель SA4 в положение «Включено» и подключить обмотку возбуждения машины М1 к источнику постоянного тока (ШИП3).

– с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 установить значение равное нулю (контролировать по прибору РА7);

– включить ШИП2 и установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный 0,4А (контролировать по прибору РА6);

- включить режим работы ШИП1 «задание скорости» и «включить замкнутую СУ»;
- включить ШИП1
- с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить синхронную скорость вращения ротора машины М1 равную 104рад/с (контролировать по прибору BR1);
- с помощью регулятора «Задание тока» ШИП3 увеличить значение тока возбуждения машины М1 до значения, при котором ЭДС холостого хода $U_1 = U_{ном}$ (контролировать по прибору PV1);
- с помощью индуктивной нагрузки нагрузить генератор (машину М1) до значения, при котором ток статора станет равным $I_1 = 0,5 \cdot I_{ном}$ (контролировать по прибору PA1);
- затем постепенно уменьшать ток возбуждения генератора (машины М1) до нуля, поддерживая постоянным с помощью индуктивной нагрузки ток статора равным $I_1 = 0,5 \cdot I_{ном}$ (контролировать по прибору PA1);
- измерить напряжение генератора (машины М1) (контролировать по прибору PV1) при разных значениях тока возбуждения (контролировать по прибору PA7);
- данные занести в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Данные опыта индукционной нагрузочной характеристики

№	1	2	3	4	5
$I_{в}, A$					
U, B					

Завершив эксперимент, необходимо:

- с помощью регулятора «задание скорости» ШИП1 установить скорость вращения ротора машины М1 равную нулю (контролировать по прибору BR1);
- выключить ШИП1;
- установить с помощью регулятора «Задание тока» ток в обмотке возбуждения машины М3 равный нулю (контролировать по прибору PA6);
- выключить ШИП2;
- выключить выключатель SA1;
- выключить выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений построить индукционную нагрузочную характеристику и реактивный треугольник. Определить индуктивное сопротивление рассеяния X_{σ} .

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы возбуждения синхронных машин?
2. Объясните назначение тиристорного преобразователя в системе самовозбуждения синхронного генератора.
3. Объясните устройство явнополюсных и неявнополюсных роторов
4. Объясните устройство синхронного генератора.
5. Какие применяются способы крепления полюсов в явнополюсных синхронных машинах?
6. Чем обеспечивается неравномерный воздушный зазор в синхронных машинах?
7. Из каких участков состоит магнитная цепь явнополюсной синхронной машины?
8. В чем состоит явление реакции статора?
9. Каково действие реакции статора синхронного генератора при активной, индуктивной и емкостной нагрузках?
10. Почему характеристика короткого замыкания синхронной машины имеет вид прямой линии?
11. Что такое ОКЗ и как влияет этот параметр на свойства синхронного генератора?
12. Что такое номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки и почему при емкостной нагрузке его величина отрицательна?
13. Какие виды потерь имеют место в синхронной машине?
14. Можно ли регулировать напряжение синхронного генератора изменением скорости вращения ротора?
15. Почему характеристики холостого хода синхронного генератора при намагничивании и размагничивании не совпадают?
16. Почему внешние и регулировочные характеристики синхронного генератора, снятые при разных видах нагрузки, не совпадают?

Лабораторная работа № 4
**ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА
ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

Цель работы

1. Изучить устройство и принцип действия двигателя постоянного тока параллельного и независимого возбуждения.
2. Приобрести практические навыки в сборке схем и снятии характеристик.
3. Приобрести практические навыки по определению КПД двигателя постоянного тока методом холостого хода.
4. Изучить виды потерь в машине постоянного тока и их зависимости от нагрузки машины.
5. Изучить зависимость КПД машины от нагрузки.

Задание на выполнение лабораторной работы

1. Ввиду идентичности характеристик двигателей параллельного и независимого возбуждения исследования проводятся только для случая независимого возбуждения.
Записать паспортные данные электрических машин и измерительных приборов. Ознакомиться с конструкцией двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
2. Ознакомиться со схемой и порядком включения стенда.
3. Снять характеристики холостого хода.
4. Снять характеристики короткого замыкания при заторможенном якоре.
5. Снять данные и построить рабочие характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при номинальном напряжении. Рассчитать потери двигателя постоянного тока независимого возбуждения при различных значениях тока нагрузки и построить график зависимости КПД от тока нагрузки. Определить полезную мощность и полезный момент на валу двигателя. Определить КПД двигателя при номинальной нагрузке. Определить номинальное изменение скорости вращения якоря.

6. Построить скоростную, механическую и моментную характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при номинальном напряжении.

7. Сделать обработку полученных данных. Провести анализ результатов лабораторной работы и составить подробный отчет.

При анализе результатов лабораторной работы следует сравнить полученную в лабораторной работе величину КПД машины при номинальной нагрузке со значением КПД, указанным в паспорте машины. Затем необходимо проанализировать график $\eta = f(P_2)$, сделав заключение о соответствии полученного в работе графика типовому графику, приведенному в учебнике. Определив по графику максимальное значение $\eta_{\text{макс}}$, следует указать, какому значению нагрузки оно соответствует. Для этого значения нагрузки следует рассчитать сумму переменных потерь и сравнить ее с суммой постоянных потерь, определив, при каком соотношении этих потерь КПД машины имеет максимальное значение.

Порядок работы с лабораторной установкой

Опыт короткого замыкания

Опыт проводить в следующей последовательности.

1. Включить автоматический выключатель «СЕТЬ».
2. Включить выключатель SA1.
3. Установить выключатель PV1/PW1 в положение «PV1».
4. Установить выключатель PV2/PW2 в положение «PW2».
5. Установить выключатель PV3/φ в положение «PV3».
6. Для включения обмотки статора двигателя M2 по схеме «треугольник» установить переключатель SA3 в положение «Включено».
7. Установить режим работы Инвертора:
 - независимое управление – положение «Выключено»;
 - $U/f = \text{const}$ – положение «Включено»;
 - с помощью регулятора «Задание напряжения» установить значение 0 Вольт (контролировать по вольтметру PV4).
8. Подключить двигатель M2 к выходу Инвертора, нажав кнопку SB1. Регулятором «задание частоты» разогнать двигатель до номинальной скорости.

9. Установить режим работы ШИП1: положение «Отключить замкнутую СУ», «Задание скорости», «Генераторный режим».

10. Установить регулятор «Задание» в крайнее положение по ходу часовой стрелки, соответствующее полностью открытым ключам IGBT-модуля.

11. Включить ШИП1 – тумблер в положение «Вкл»;

12. Убедиться, что регулятор ШИП2 «Задание тока» находится в положении, соответствующем минимальному току возбуждения (крайнее против часовой стрелки).

13. Включить выключатель ШИП2 в положение «Включено».

14. С помощью регулятора «Задание тока» увеличивать ток возбуждения двигателя М3 (контролировать по прибору РА6) до величины, при которой ток якоря будет не более $1,2 I_n$ (контролировать по прибору РА5), зафиксировать показания в 5 точках.

ВНИМАНИЕ!

1. Ток якоря не должен превысить $1,25 I_n$ исследуемого двигателя.

2. Следует избегать продолжительной работы при токах якоря превышающих I_n , чтобы избежать перегрева двигателя.

3. Плавно увеличивая напряжение на якоре двигателя М3 до значения тока $1,2 I_n$ (контролировать по амперметру РА3) снять 5 значений тока короткого замыкания в цепи якоря двигателя М3.

4. Данные занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Данные опыта короткого замыкания

№	Измерено		Вычислено		
	$U_K, В$	$I_{ак}, А$	$P_{1К}, Вт$	$r'_a, Ом$	$r_a, Ом$
1					
...					
5					

Завершив эксперимент, необходимо:

1) установить регулятор «Задание» в крайнее положение, соответствующее значению скорости равное нулю.

2) выключить ШИП1 – тумблер в положение «Выкл»;

3) выключить ШИП2 – тумблер в положение «Выкл»;

- 4) отключить двигатель М2, нажав кнопку SB2;
- 5) выключить выключатель SA1;
- 6) выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

Опыт холостого хода

Изучить принципиальную схему стенда.

Собрать схему для исследования двигателя постоянного тока независимого возбуждения (машина М3).

Опыт проводить в следующей последовательности:

Включить автоматический выключатель «СЕТЬ».

Включить ШИП2 – тумблер в положение «Вкл».

С помощью регулятора «Задание тока» установить номинальное значение тока возбуждения двигателя М3, измерить напряжение в цепи возбуждения двигателя М3.

Установить режим работы ШИП1: положение «Отключить замкнутую СУ», «Задание скорости», «Двигательный режим».

Установить регулятор «Задание» в крайнее положение, соответствующее значению скорости равно нулю.

Включить ШИП1 – тумблер в положение «Вкл».

При помощи регулятора «Задание» плавно увеличить напряжение на якоре двигателя М3 до номинального значения $U = 220 \text{ В}$ (контролировать по вольтметру PV3).

Прогреть двигатель М3 в течение 15 минут.

Установить регулятор «Задание» в крайнее положение, соответствующее значению скорости равно нулю.

Плавное увеличение напряжения на якоре двигателя М3 до значения $U = 250 \text{ В}$ снять 5 значений тока в цепи якоря двигателя М3.

Данные занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Данные опыта холостого хода

№	Измерено			Вычислено					
	$U_0,$ В	$I_{a0},$ А	$\omega,$ рад/с	$n,$ об./мин	$P_{10},$ Вт	$P_{\Sigma 0},$ Вт	$P_{\text{ш0}},$ Вт	$P_0,$ Вт	$P_B,$ Вт
1									
...									
5									

Завершив эксперимент, необходимо:

- 1) установить регулятор «Задание» в крайнее положение, соответствующее значению скорости равное нулю;
- 2) выключить ШИП1 – тумблер в положение «Выкл»;
- 3) выключить ШИП2 – тумблер в положение в положение «Выкл»;
- 4) выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

По результатам измерений и вычислений построить характеристики холостого хода: I_0 , P_{10} , $P_0 = f(U_0)$, на которых необходимо отметить значения величин $I_{0ном}$, $P_{10ном}$, $(P_{CT} + P_{мх})_{ном}$, соответствующих номинальному напряжению $U_{ном}$.

Исследование рабочих характеристик

1. Опыт проводить по схеме опыта КЗ в следующей последовательности:

2. Включить автоматический выключатель «СЕТЬ».
3. Включить выключатель SA1.
4. Для включения обмотки статора двигателя М2 по схеме «треугольник» установить переключатель SA3 в положение «Включено».
5. Установить режим работы Инвертора:
 - независимое управление – положение «Включено»;
 - $U/f = const$ – положение «Выключено»;
 - с помощью регулятора «Задание напряжения» установить значение 0 Вольт (контролировать по вольтметру PV4).
6. Включить выключатель ШИП2 в положение «Включено».
7. С помощью регулятора «Задание тока» установить номинальное значение тока возбуждения двигателя М3.
8. Установить режим работы ШИП1: положение «Отключить замкнутую СУ», «Задание скорости», «Двигательный режим».
9. Установить регулятор «Задание» в крайнее положение, соответствующее значению скорости равное нулю.
10. Включить ШИП1 – тумблер в положение «Вкл»;
11. Плавно увеличить напряжение на якоре двигателя М3 до номинального значения $U = 220$ В и поддерживать его постоянным в течение всего опыта (контролировать по вольтметру PV4).

12. Чтобы создать механическую нагрузку на валу исследуемого двигателя М3, нужно подключить двигатель М2 к выходу Инвертора, который работает в генераторном режиме, нажав кнопку SB1.

13. При помощи регулятора «Задание напряжения» плавно увеличивая напряжение на статоре АД увеличить механическую нагрузку на валу исследуемого двигателя М3 до значения тока $I_a = 1,2I_{ном}$. Затем плавно разгружают двигатель до значения тока $I_a = 0$, уменьшая напряжение на статоре АД, снять 5 значений тока и напряжения в цепи якоря двигателя М3. Данные опыта занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Рабочие характеристики

№	Измерено			Вычислено										
	I_a , А	U, В	ω , рад/с	n, об./мин	$\Delta p_{ном}$, %	P_1 , Вт	$P_{эа}$, Вт	$P_{эш}$, Вт	$P_{эм}$, Вт	P_d , Вт	P_2 , Вт	η	$M_{эм}$, Н·м	M_2 , Н·м
1														
...														
5														

14. Завершив эксперимент, необходимо:

- уменьшить напряжение на выходе Инвертора до нуля (контролировать по прибору PV4);
- отключить двигатель М2, нажав кнопку SB2.
- установить регулятор «Задание» в крайнее положение, соответствующее значению скорости равное нулю.
- выключить ШИП1 – тумблер в положение «Выкл»;
- выключить ШИП2 – тумблер в положение «Выкл»;
- выключить выключатель SA1.

15. Выключить автоматический выключатель «СЕТЬ».

16. По опытным данным построить в одной системе координат рабочие характеристики: I_a , P_1 , n , M , $\eta = f(P_2)$.

17. По расчетным данным построить следующие характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения:

- 1) скоростную характеристику (электромеханическую) $n = f(I_a)$;
- 2) моментную характеристику $M_{эм} = f(I_a)$;
- 3) механическую характеристику $n = f(M_{эм})$;
- 4) рабочие характеристики M , P_1 , I_a , n , $\eta = f(P_2)$.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
2. Способы пуска двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Какой способ пуска применяли в лабораторной работе?
3. Напишите уравнение напряжения на якоре двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
4. Из уравнения напряжения выведите уравнения тока якоря и скорости вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
5. Почему пусковой ток значительно превышает номинальный ток якоря двигателя постоянного тока независимого возбуждения?
6. Почему с увеличением нагрузки частота вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения уменьшается?
7. Напишите формулу электромагнитного момента двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Объясните величины, определяющие электромагнитный момент.
8. Напишите зависимость электромагнитного момента двигателя постоянного тока независимого возбуждения от его мощности и угловой скорости вращения якоря.
9. Перечислите потери мощности в двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Какие из них относятся к постоянным, а какие - к переменным и почему?
10. Напишите уравнение КПД двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Нарисуйте график зависимости КПД от величины нагрузки.
11. При каком условии КПД двигателя постоянного тока независимого возбуждения достигает максимума?
12. Как изменить направление вращения якоря двигателя постоянного тока независимого возбуждения?

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1970.
2. Костенко, М.П. Электрические машины: в 2 ч. / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – 1972. – Ч. 1–2.
3. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин / И.П. Копылов. – М.: Энергия, 2000.

Учебное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Лабораторный практикум
для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение»

С о с т а в и т е л и :
ГОНЧАР Анатолий Андреевич
ОЛЕШКЕВИЧ Марк Михайлович
МАКОСКО Юрий Валерьевич

Компьютерная верстка Д.А. Исаева

Подписано в печать 29.09.2011.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,21. Уч.-изд. л. 1,73. Тираж 100. Заказ 1177.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.