

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:23:29

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

№ п/п	Введение	Стр.
1	Лабораторная работа № 1. Пуск в ход трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым/фазным ротором и отображение режимных параметров на компьютере	
2	Лабораторная работа № 2. Снятие и определение характеристик холостого хода $I_0=f(U)$, $P_0=f(U)$ и $\cos\phi_0=f(U)$ трехфазного АД с короткозамкнутым ротором. Снятие и определение характеристик короткого замыкания $I_K=f(U)$, $P_K=f(U)$, $Z_K=f(U)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	
3	Лабораторная работа № 3. Определение механической характеристики $n=f(M)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором. Определение рабочих характеристик $I=f(P_2)$, $P_1=f(P_2)$, $s=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$, $\cos\phi=f(P_2)$ $M=f(P_2)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором	
4	Лабораторная работа № 4. Снятие характеристики холостого хода $E_o = f(I_b)$ трехфазного синхронного генератора. Снятие характеристики короткого замыкания $I_{1к} = f(I_b)$ трехфазного синхронного генератора .	
5	Лабораторная работа № 5. Снятие внешней $U = f(I_1)$, регулировочной $I_b = f(I_1)$ и нагрузочной характеристик трехфазного синхронного генератора в автономном режиме	
6	Лабораторная работа №6. Подключение к сети трехфазного синхронного генератора методом точной синхронизации	
7	Лабораторная работа №7. Снятие угловых характеристик $P = f(\theta)$, $Q = f(\theta)$, $U = f(\theta)$ трехфазного синхронного генератора	
8	Лабораторная работа №8. Регистрация и отображения на компьютере тока трехфазного короткого замыкания синхронного генератора.	
9	Лабораторная работа №9. Пуск в ход трехфазного синхронного двигателя с регистрацией и отображением режимных параметров на компьютере. Снятие угловых характеристик $P=f(\delta)$, $Q=f(\delta)$, $U=f(\delta)$ синхронного двигателя. Снятие U–образной характеристики $I=f(I_f)$ трехфазного синхронного двигателя	

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с конструкцией электрических машин, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электрических машин, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях.

В предлагаемом методическом указании описано девять лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

Лабораторная работа №1

Тема: Пуск в ход трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым/фазным ротором и отображение режимных параметров на компьютере

Цель работы: изучить режимы пуска в ход АД

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоритическая часть:

Как известно из Г – образной схемы замещения асинхронного двигателя (АД), начальный ток статора двигателя при пуске ($S=1$).

$$I_{1n} \cong \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}},$$

а ток ротора при $S \neq 1$

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + c_1 \frac{r_2'}{S}\right)^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}}$$

При работе АД $S \ll 1$ и $\frac{r_2'}{S}$ получается значительно больше, чем при $S=1$, поэтому по мере разгона АД ток ротора будет уменьшаться, а наибольший ток получается в начале пуска при $S=1$. Большая величина пускового тока ротора, а следовательно и тока статора, $I_{1п} = (4...7) I_{1ном}$, может приводить к просадке напряжения сети, а это может приводить к «опрокидыванию» (остановке) других двигателей работающих в этой сети, т.к.

$$M_{эм} = U_1^2.$$

Поэтому пусковые токи мощных АД необходимо ограничивать, чтобы не было значительной просадки напряжения. Это можно сделать путем снижения подводимого к АД напряжения U_1 , но при этом будет снижаться вращающий момент двигателя и он может не запускаться при наличии нагрузки на валу.

У АД с контактными кольцами на время пуска можно вводить добавочные сопротивления в фазы ротора и ограничивать начальный пусковой ток. По мере разгона ротора добавочные сопротивления должны выводиться.

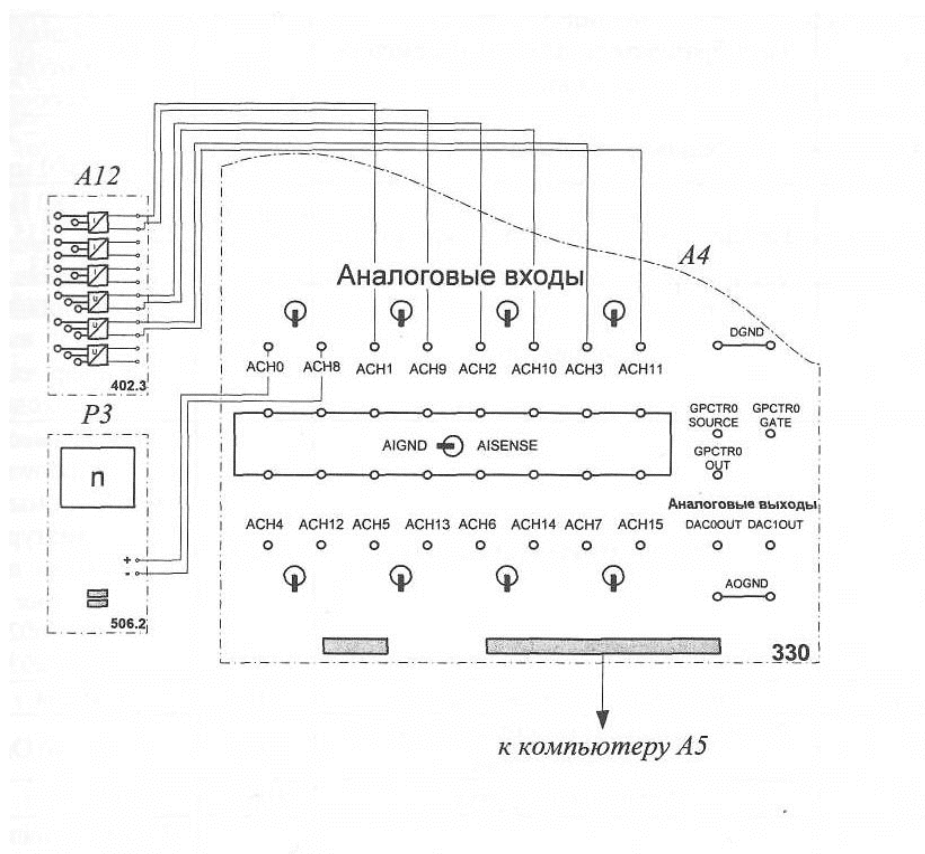


Рис. 1.3 Электрическая схема соединений (продолжение)

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	-0...250 В / 3 А (якорь) / - 200 В / 1 А (возбуждение)
G4	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В/0,25
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / ~230 В / 1500 мин ⁻¹

A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	3×80 В·А; 230 В/242,235, 230, 226, 220,133,127 В
A4	Коннектор	330	8 аналог, диф. входов; 2 аналог. выходов; 8
A5	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows 9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информа-
A6,A8	Трёхполюсный выключатель	301.1	~400 В /10 А
A9	Реостат для цепи ротора машины пе-	307.1	3 х 0 ...40 Ом /1 А
A10	Активная нагрузка	306.1	220 В/3×0...50 Вт;
A12	Блок датчиков тока и напряжения	402.3	3 датчика напряжения ±100; 1000В/±5 В; 3 датчика тока
A14	Линейный реактор	314.2	3×0,3 Гн / 0,5 А
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000... 0... 2000 мин ⁻¹

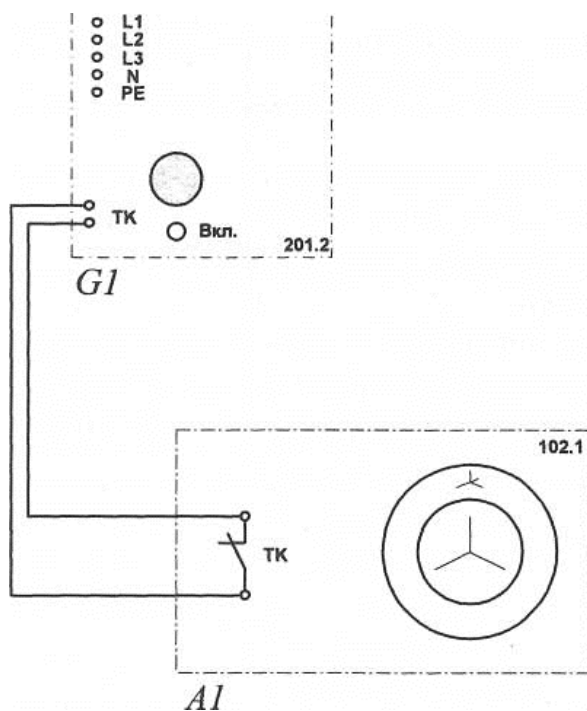


Рис. 1.4 Электрическая схема соединений тепловой защиты
машины переменного тока

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ
приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Машина переменного тока	02.1	100Вт/230В~/ 1500мин ⁻¹
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В~/ 16 А

Описание электрических схем соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания G2 двигателя постоянного тока используется для питания нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока G4, работающей в режиме генератора с независимым возбуждением и выступающей в качестве нагрузочной машины.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Испытуемый асинхронный двигатель M1 получает питание через выключатель A6 и трехфазную трансформаторную группу A2 от трехфазного источника G1.

Выключатель A8 служит для закорачивания реактора A14 при реакторном пуске двигателя M1 с короткозамкнутым ротором либо - реостата A9 при двухступенчатом пуске двигателя M1 с фазным ротором.

Реостат А9 служит для вывода энергии скольжения при испытании двигателя М1 с фазным ротором.

Датчики тока и напряжения в блоке А12 обеспечивают гальваническую развязку силовой и измерительной цепей и преобразуют ток и напряжение статорной обмотки испытуемого двигателя М1 в пропорциональные им нормированные напряжения.

Через аналоговые входы АСН0-АСН8, АСН1-АСН9, АСН2-АСН10, АСН3-АСН11 коннектора А4 напряжения, пропорциональные току и напряжениям статорной обмотки, а также частоте вращения испытуемого двигателя М1, вводятся в компьютер А5.

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (Приложение Б) 
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений **(вариант 1 для пуска двигателя с короткозамкнутым ротором) / (вариант 2 для пуска двигателя с фазным ротором)**.
- Переключатели режима работы источника G2 и выключателей А6, А8 установите в положение «РУЧН.».
- Установите в каждой фазе активной нагрузки А10 ее суммарную величину равную, например, 100%.
- Установите в каждой фазе реостата А9 сопротивление, например, 18 Ом (при пуске двигателя с фазным ротором).
- В трехфазной трансформаторной группе А2 переключателем

установите желаемое номинальное вторичное напряжение трансформатора, например, 133 В.

- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А5 и запустите прикладную программу «Регистратор режимных параметров машины переменного тока».

- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

- Вращением рукоятки на передней панели источника G2 установите напряжение, например, 100 В на его регулируемом выходе «ЯКОРЬ».

- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» на экране компьютера.

- Нажмите последовательно кнопки «ВКЛ.» источника G2, выключателя А6 и спустя, например, 2 с выключателя А8 и затем не позднее, чем через 10 с, остановите сканирование данных регистратором нажатием на виртуальную кнопку «Остановить». В результате должен осуществиться двухступенчатый пуск нагруженного асинхронного двигателя М1 и должны записаться в компьютер данные о режимных параметрах на интервале пуска.

- Остановите запись процессов, нажав на виртуальную кнопку «Остановить».

- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.

- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

- Используя возможности программы «Регистратор режимных параметров машины переменного тока», проанализируйте отображенные на мониторе компьютера механическую характеристику и временные зависимости тока статорной обмотки, электромагнитного момента,

частоты вращения асинхронного двигателя при пуске его в ход.

Контрольные вопросы

1. Поясните устройство АД.
2. Поясните принцип действия АД.
3. Почему двигатель называется асинхронным?

Лабораторная работа №2

Тема: Снятие и определение характеристик холостого хода $I_0=f(U)$, $P_0=f(U)$ и $\cos\varphi_0=f(U)$ трехфазного АД с короткозамкнутым ротором. Снятие и определение характеристик короткого замыкания $I_K=f(U)$, $P_K=f(U)$, $Z_K=f(U)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: Снять и определить характеристики холостого хода

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоритическая часть:

При работе в режиме холостого хода, когда нагрузка на валу отсутствует, АД потребляет из сети ток I_0 , который в 2...5 раз меньше номинального тока в режиме нагрузки. Этот ток затрачивается на создание вращающегося магнитного поля АД (большая часть I_{0m}) и он по характеру является реактивным и отстает от U_1 почти на 90° .

Меньшая часть тока I_{0a} затрачивается на покрытие потерь холостого хода (магнитные и механические потери). Поэтому коэффициент мощности АД на холостом ходе достаточно низкий ($\approx 0,1 \dots 0,3$), поэтому длительная работа АД в режиме x_1x не целесообразна.

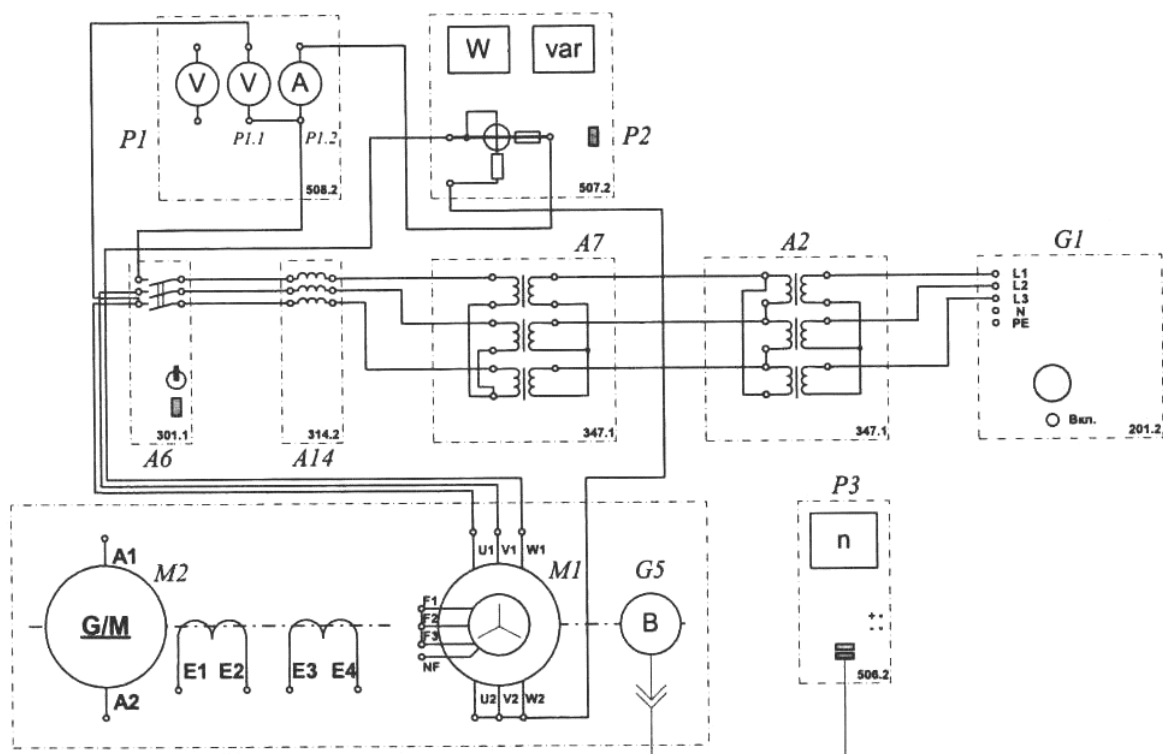


Рис.2.1 Электрическая схема соединений

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование		Параметры
G1	Трехфазный источник питания		~ 400 В/16 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	04	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	02.1	100В _Т /~230В/1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	01.2	90В _Т /220В/0,56 А (якорь)/2×110 В/0,25 А (возбуждение)
A2,A7	Трёхфазная трансформаторная группа	47.1	3×80 В·А;230 В/242,235, 230, 226, 220,133,127 В
A6	Трёхполюсный выключатель		~400 В/10 А

A14	Линейный реактор	14.2	3×0,3 Гн / 0,5 А
P1	Блок мультиметров	08.2	3 мультиметра ~0...1000В/ ~0...10А /0...20МОм
P2	Измеритель мощностей	07.2	15; 60; 150; 300; 600 В/ 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	06.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты».

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы» поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Испытуемый асинхронный двигатель M1 получает питание через выключатель A6 и трехфазные трансформаторные группы A2,A7 от трехфазного источника питания G1.

Линейный реактор A14 служит для дополнительного понижения напряжения, подводимого к испытуемому двигателю M1.

С помощью мультиметров блока P1 контролируются ток статорной обмотки и линейное напряжение испытуемого двигателя M1.

С помощью измерителя P2 контролируются активная и реактивная мощности, потребляемые одной фазой испытуемого двигателя M1.

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.(приложение Б)

- Соедините гнезда защитного «⊕» заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режима работы выключателей А6 и А8 установите в положение **"РУЧН."**.
- В трехфазных трансформаторных группах А2 и А7 установите номинальные вторичные напряжения трансформаторов 127 В и 127 В.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
- Активизируйте мультиметры блока **Р1**, задействованные в эксперименте.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Пустите двигатель М1 нажатием кнопки «ВКЛ.» выключателя А6.
- Меняя положение регулировочных рукояток трехфазных трансформаторных групп А2 и А7, варьируйте подводимое к двигателю М1 линейное напряжение U в диапазоне 100...250В и заносите показания вольтметра Р1.1 (напряжение U), амперметра Р1.2 (фазный ток I_0 двигателя М1), а также ваттметра и варметра измерителя Р2 (активная P_{01} и реактивная Q_{01} мощности, потребляемые одной фазой двигателя М1) в таблицу 10.1

- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

- В трехфазных трансформаторных группах А2 и А7 установите номинальные вторичные напряжения трансформаторов 127 В и 127 В.

- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

- Активизируйте мультиметры блока **P1**, задействованные в эксперименте.

- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

- Пустите двигатель М1 нажатием кнопки «ВКЛ.» выключателя А6.

- Меняя положение регулировочных рукояток трехфазных трансформаторных групп А2 и А7, варьируйте подводимое к двигателю М1 линейное напряжение U в диапазоне 100...250В и заносите показания вольтметра Р1.1 (напряжение U), амперметра Р1.2 (фазный ток I_0 двигателя М1), а также ваттметра и варметра измерителя Р2 (активная P_{01} и реактивная Q_{01} мощности, потребляемые одной фазой двигателя М1) в таблицу 10.1

Таблица 1.1

[illegible]

Q01,Вт										
---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

- Отключите источник G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
- Используя данные таблицы 10.1, вычислите соответствующие напряжению U полные активную P_0 и реактивную Q_0 мощности, потребляемые двигателем M1, по формулам:

$$P_0 = 3 \cdot P_{01};$$

$$Q_0 = 3 \cdot Q_{01}$$

и занесите их в таблицу 10.2

Таблица 1.2

U, В											
P₀,Вт											
Q₀,Вт											

- Используя данные таблицы 10.2, вычислите соответствующие напряжению U значения коэффициента мощности по формуле

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}}$$

и занесите полученные результаты в таблицу 9.3

Таблица 1.3

U, В											
cosφ ₀											

- При необходимости большей вариативности значений напряжения U, повторите эксперимент при закороченном линейном реакторе А14.
- Используя данные таблиц 10.2. и 10.3. постройте искомые характеристики холостого хода $I_0=f(U)$, $P_0=f(U)$, $\cos\varphi_0 = f(U)$ трехфазного асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором.

Снятие и определение характеристик короткого замыкания $I_K=f(U)$, $P_K=f(U)$, $Z_K=f(U)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	01.2	~400 В / 16 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	04	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	2.1	100 Вт / ~230 В / 1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	01.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2·110 В / 0,25 А (возбуждение)
A2,A7	Трёхфазная трансформаторная группа	47.1	3×80 В·А; 230 В/242,235,

			230, 226, 220, 133, 127 В
A6	Трехполюсный выключатель	01.1	~400 В / 10 А
P1	Блок мультиметров	08.2	3мультиметра~0...1000В/ ~0...10 А/ 0...20МОм
P2	Измеритель мощностей	07.2	15; 60; 150; 300; 600 В/ 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	06.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Испытуемый асинхронный двигатель M1 получает питание через выключатель A6 и трехфазные трансформаторные группы A2, A7 от трехфазного источника питания G1.

С помощью мультиметров блока P1 контролируются ток и напряжение статорной обмотки испытуемого двигателя M1

С помощью измерителя P2 контролируются активная и реактивная мощности, потребляемые испытуемым двигателем M1.

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Снимите кожух закрывающий муфту, соединяющую вал машины постоянного тока M2 с валом двигателя M1, и закрепите на ней стопорное устройство.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты

машины переменного тока .(Приложение Б)

- Соедините гнезда защитного "⊕"земления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режима работы источника G2 и выключателя А6 установите в положение "РУЧН"
- В трехфазных трансформаторных группах А2 и А7 переключателем установите номинальные вторичные напряжения трансформаторов 242 В.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, находящихся в эксперименте.
- Активизируйте мультиметры блока Р1, находящихся в эксперименте.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Нажатием кнопки «ВКЛ.» выключателя А6 подключите двигатель М1 к электрической сети.
- Быстро (менее чем за 10 с) считайте и занесите в таблицу 2.3.1 показания вольтметра Р1.1 (линейное напряжение Р двигателя М1), амперметра Р1.2 (ток I_k статорной обмотки двигателя М1), а также ваттметра измерителя Р2 (активная P_{01} **МОЩНОСТЬ**) потребляемая одной фазой двигателя М1) и сразу после этого нажатием кнопки «ОТКЛ» выключателя А6 отключите двигатель М1 от электрической сети.
- Повторите необходимое количество раз процедуру подключения двигателя М1 к электрической сети, считывания показаний измерительных приборов и отключения двигателя М1 от электрической сети при различных более низких номинальных вторичных напряжениях трансформаторов групп А2 и А7.

- Используя данные таблиц 11.1 и 11.2 постройте искомые характеристики короткого замыкания $I_K=f(U)$, $P_K=f(U)$, $Z_K=f(U)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Контрольные вопросы

Вопросы и задания

1. Поясните устройство АД.
2. Поясните принцип действия АД.
3. Почему двигатель называется асинхронным?

Лабораторная работа №3

Тема: Определение механической характеристики $n=f(M)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором. Определение рабочих характеристик $I=f(P_2)$, $P_1=f(P_2)$, $s=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$, $\cos\varphi=f(P_2)$ $M=f(P_2)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором

Цель работы: провести эксперимент и построить механическую характеристику АД

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоритическая часть:

Механическая характеристика АД называется зависимость частоты вращения ротора в зависимости от нагрузки на валу, т.е. $n = f(M)$ при неизменном напряжении сети. Для короткозамкнутого трехфазного АД эта зависимость имеет примерный вид:

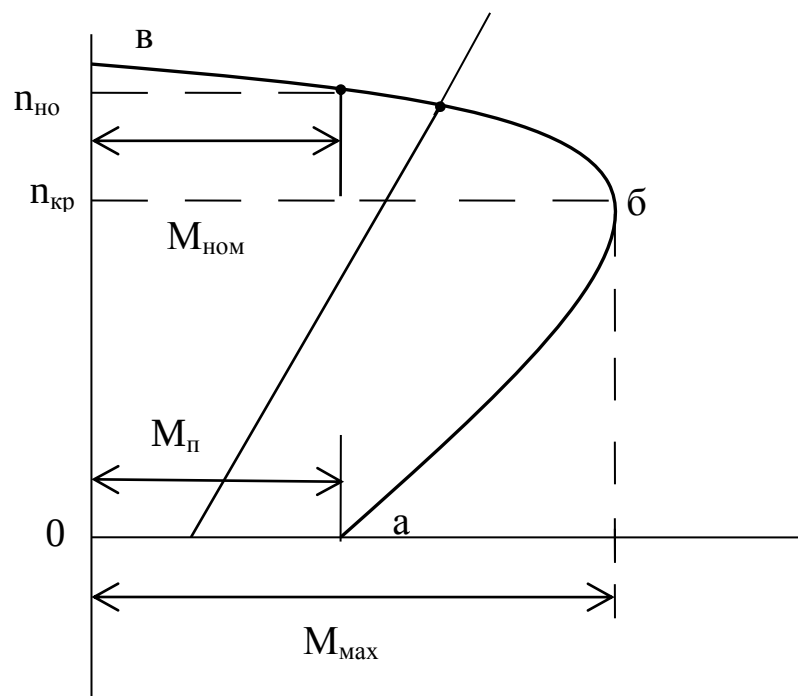


Рис.3.1 Механическая характеристика АД с короткозамкнутым ротором

Характеристика $n = f(M)$ имеет два участка: аб и бв, из которых участок бв является зоной устойчивой работы АД, т.к. здесь $\frac{dn}{dM} < 0$, а область аб является зоной неустойчивой работы ($\frac{dn}{dM} > 0$), т.е. эту зону АД может походить при разгоне или остановке двигателя. При $n = 0$ начало пуска, поэтому момент, развиваемый АД при его включении в сети, когда n еще равно нулю, называется начальным пусковым моментом $M_{\text{п}}$. Обычно $M_{\text{п}} = (1,1 \dots 1,2) M_{\text{ном}}$. Если момент сопротивления нагрузки меньше $M_{\text{п}}$, то двигатель разгоняется, его M растет и при некоторой частоте вращения $n_{\text{кр}}$ достигает максимального значения $M_{\text{мах}}$ и при дальнейшем разгоне M уменьшается до тех пор, пока не станет равным $M_{\text{с}}$ – моменту сопротивления нагрузки.

У АД с контактными кольцами механическая характеристика зависит от величины добавочного сопротивления ротора $R_{\text{д}}$.

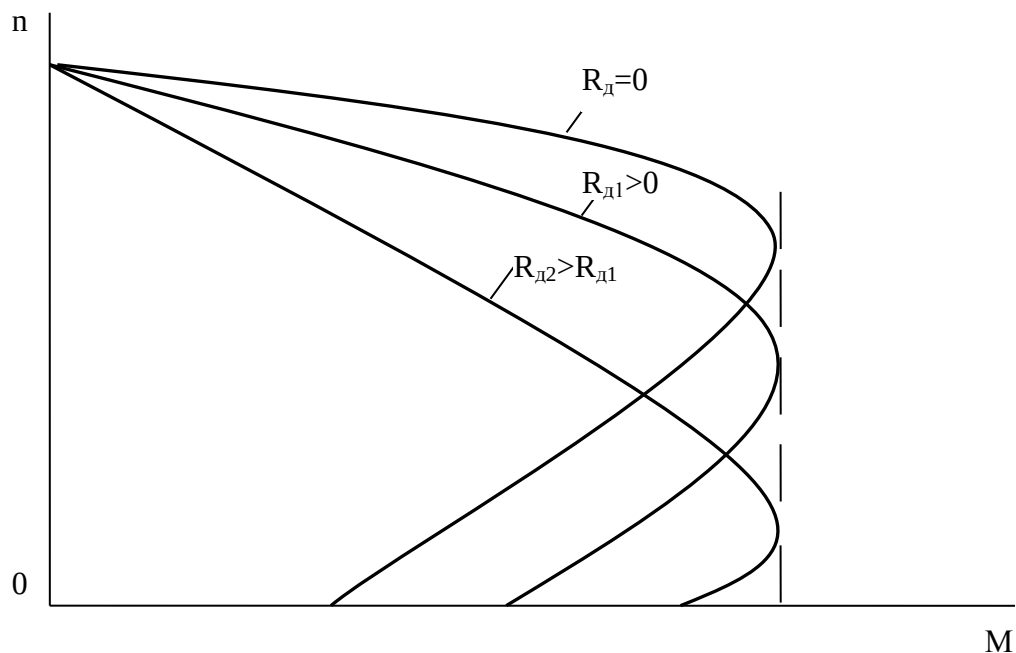


Рис. 3.2 Механические характеристики АД с фазным ротором с различными добавочными сопротивлениями в цепи ротора R_d

Максимальный момент $M_{\max}$ АД не зависит от величины активного сопротивления цепи ротора:

$$M_{\max} = \pm \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_1 \cdot x_k},$$

где p – число пар полюсов двигателя;

m_1 – число фаз статора, $m_1 = 3$;

$\omega_1 = 2\pi f$ угловая частота вращения поля статора;

$x_k = x_1 + x_2'$ – реактивное сопротивление короткого замыкания АД;

U_1 – напряжение, подводимое к статору.

Таким образом, при введении R_d в цепь ротора АД с контактными кольцами пусковой ток уменьшается, а пусковой момент $M_{\text{п}}$ растет за счет уменьшения угла сдвига между током и напряжением.

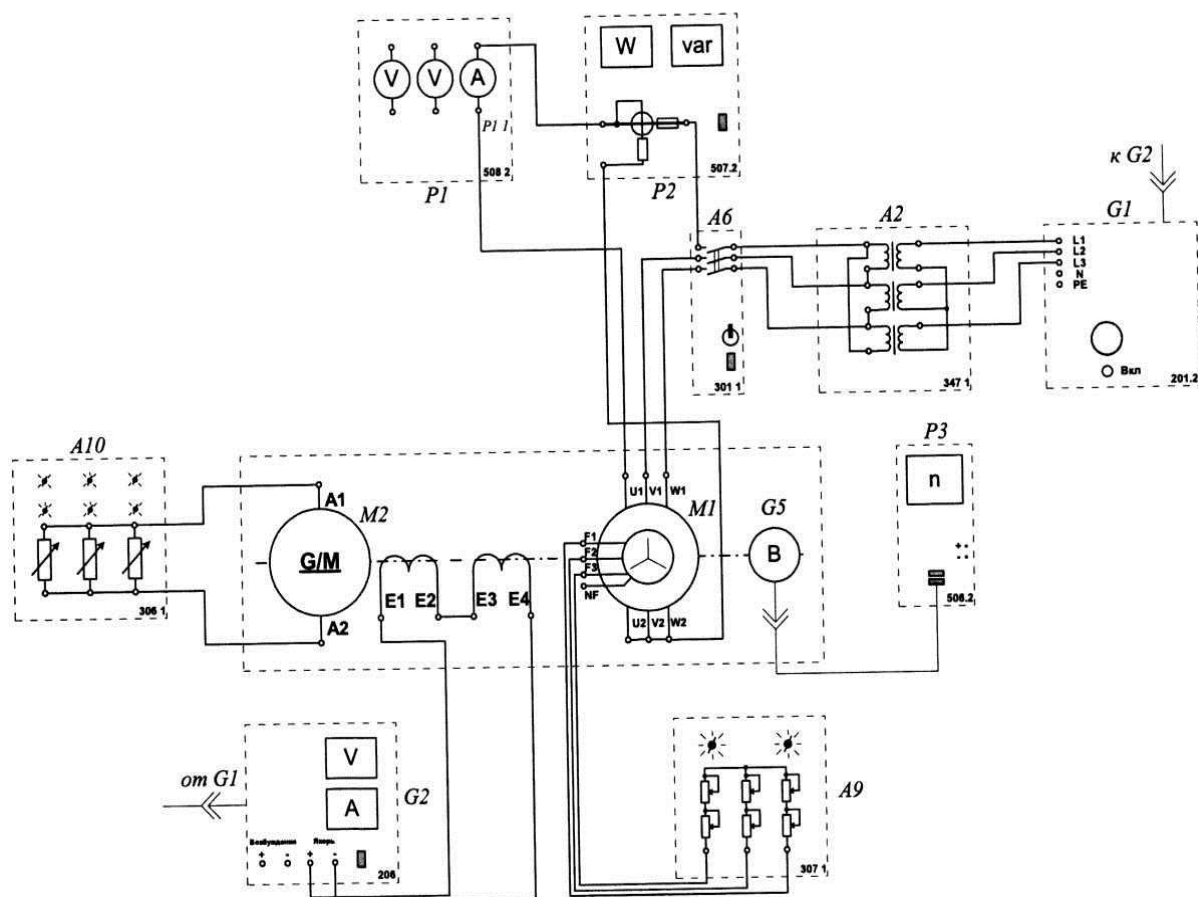


Рис.3.3 Электрическая схема соединений

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обоз	Наименование		Параметры
G1	Трехфазный источник		~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного	06.1	-0...250В/3 А (якорь) / - 200 В / 1 А (возбужде-
G4	Машина постоянного тока	01.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В/0,25 А

G5	Преобразователь угловых перемещений	04	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	00.1	100 Вт/~230 В/1500 мин ⁻¹
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	47.1	3×80 В·А; 230 В/242,235, 230, 226, 220,133,127 В
A6	Трёхполюсный выключатель		~400 В / 10 А
A9	Реостат для цепи ротора		3 × 0 ... 40 Ом / 1 А
A10	Активная нагрузка		220 В / 3×0...50 Вт;
P1	Блок мультиметров	08.2	3×мультиметра ~0...1000 В/ ~0...10 А / 0...20 МОм
P2	Измеритель мощностей	00.0	15; 60; 150; 300; 600 В/
P3	Указатель частоты вращения		-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания G2 двигателя постоянного тока используется для питания нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока G4, работающей в режиме генератора с независимым возбуждением и выступающей в качестве нагрузочной машины.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Испытуемый асинхронный двигатель M1 получает питание через выключатель A6 и трехфазную трансформаторную группу A2 от трехфазного источника питания G1.

Реостат A9 служит для вывода энергии скольжения при испытании двигателя M1 с фазным ротором.

Активная нагрузка A10 используется для нагружения генератора G4.

С помощью мультиметра блока Р1 контролируется ток статорной обмотки испытуемого двигателя М1.

С помощью измерителя Р2 контролируется активная мощность, потребляемая испытуемым двигателем М1.

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока. (Приложение Б)
- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режима работы источника G2 и выключателя А6 установите в положение "РУЧН".
- Регулировочные рукоятки реостата А9 поверните против часовой стрелки до упора (*при снятии механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором*).
- Установите суммарное сопротивление каждой фазы реостата А9, например, 20 Ом (*при снятии механической характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором*).
- Регулировочную рукоятку источника G2 поверните до упора против часовой стрелки, а регулировочные рукоятки активной нагрузки А10 - по часовой стрелке.
- Установите переключателем в трехфазной трансформаторной группе А2 номинальные напряжения вторичных обмоток трансформаторов, например, 127В.

- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
- Активизируйте мультиметры блока **P1**, задействованные в эксперименте.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Пустите двигатель M1 нажатием кнопки «ВКЛ.» выключателя A6.
- Нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, изменяйте ток **I** статорной обмотки двигателя M1 и заносите показания амперметра P1.1 (ток **I**), ваттметра измерителя мощностей P2 (активная мощность **P** фазы двигателя M1) и указателя P3 (частота вращения **n** двигателя M1) в таблицу 11.1.

Таблица 1.1.

I, А											
P, Вт											
n, мин⁻¹											

- По завершении эксперимента отключите выключатель A6 и источник G1.
- Выключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
- Вычислите электромагнитный момент **M** двигателя M1 для каждого значения тока **I** из табл. 11.1. по формуле:

$$M = \frac{3}{50\pi} (P - 21 \cdot I^2), \text{ Н} \cdot \text{м}$$

и занесите его в таблицу 12.2.

Таблица 1.2.

М, Нм											
п, мин ⁻¹											

• Используя данные таблицы 12.2. постройте искомую механическую характеристику $n=f(M)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором.

Определение рабочих характеристик $I=f(P_2)$, $P_1=f(P_2)$, $s=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$, $\cos\varphi=f(P_2)$ $M=f(P_2)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование		Параметры
G1	Трёхфазный источник		~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	06.1	-0...250 В/ 3 А(якорь)/
G4	Машина постоянного тока	01.2	90 Вт/ 220 В/ 0,56 А (якорь)/ 2×110 В/0,25 А (возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	04	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	02.1	100Вт/~230В/ 1500мин ⁻¹
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	47.1	3×80 В·А; 230 В/242,235, 230, 226, 220, 133, 127 В
A6	Трёхполюсный выключатель		~400 В / 10 А
A9	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	07.1	3 × 0...40 Ом / 1 А
A10	Активная нагрузка		220 В/3 × 0...50 Вт;

P1	Блок мультиметров	08.2	3 мультиметра~0...1000В / ~0...10А / 0...20МОМ
P2	Измеритель мощностей	07.2	15; 60; 150; 300; 600 В/ 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	06.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты. Источник питания G2 двигателя постоянного тока используется для питания нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока G4, работающей в режиме генератора с независимым возбуждением и выступающей в качестве нагрузочной машины. Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Испытуемый асинхронный двигатель M1 получает питание через выключатель A6 и трехфазную трансформаторную группу A2 от трехфазного источника питания G1.

Реостат A9 служит для вывода энергии скольжения при испытании двигателя M1 с фазным ротором.

Активная нагрузка A10 используется для нагружения генератора G4.

С помощью мультиметров блока P1 контролируются ток статорной обмотки испытуемого двигателя M1, ток и напряжение якорной обмотки генератора G4.

С помощью измерителя P2 контролируются активная и реактивная мощности, потребляемые испытуемым двигателем M1.

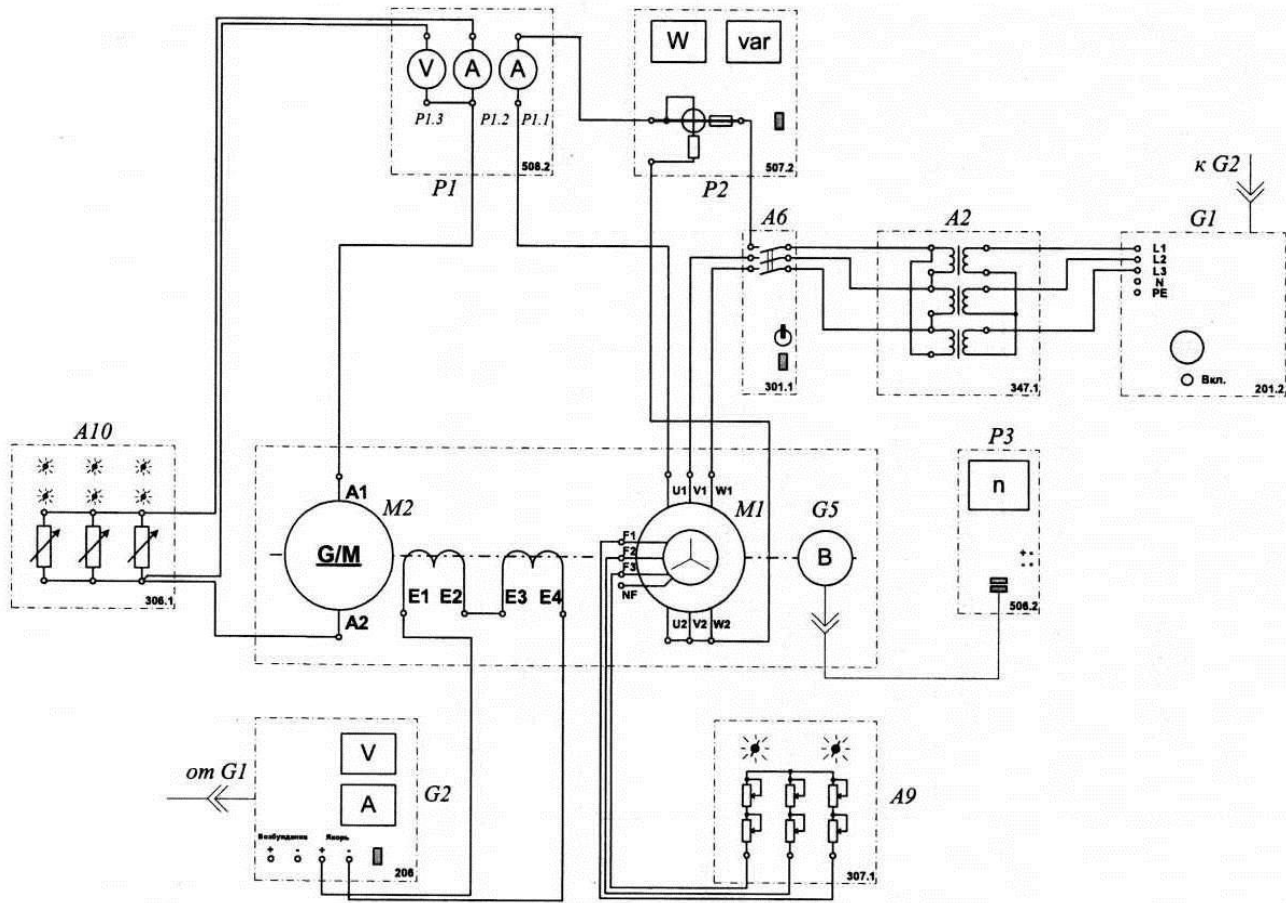


Рис.3.4 Электрическая схема соединений

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.(Приложение Б)
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

- Переключатели режима работы источника G2 и выключателя A6 установите в положение "РУЧН."
- Регулировочные рукоятки реостата A9 поверните против часовой стрелки до упора (*при снятии механической характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором*).
- Установите суммарное сопротивление каждой фазы реостата A9, например, 20 Ом (*при снятии механической характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором*).
- Регулировочную рукоятку источника G2 поверните до упора против часовой стрелки, а регулировочные рукоятки активной нагрузки A10 - по часовой стрелке.
- Установите переключателем в трехфазной трансформаторной группе A2 номинальные напряжения вторичных обмоток трансформаторов, например, 127В.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Пустите двигатель M1 нажатием кнопки «ВКЛ.» выключателя A6.
- Нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, изменяйте ток I статорной обмотки двигателя M1 и заносите показания амперметра P1.1 (ток I), ваттметра и варметра измерителя мощностей P2 (активная P_{11} и реактивная Q_{11} мощности фазы двигателя M1), указателя P3 (частота вращения n двигателя M1), амперметра P1.2 и вольтметра P1.3 (ток I_a и напряжение U_a якорной обмотки генератора G4) в таблицу 12.1.

Таблица 3.3.

I, A											
P₁₁, Вт											
Q₁₁, В·Ар											
n, мин⁻¹											
I_a, A											
U_a, В											

• По завершении эксперимента отключите выключатель А6 и источник G1.

• Выключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

• Используя данные таблицы 12.1, вычислите для каждого значения тока **I** значения, полезной активной мощности **P₂**, полной потребляемой из сети активной мощности **P₁** полезного механического момента **M**, коэффициента мощности **cosφ**, скольжения **s** и коэффициента полезного действия **η** асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором по формулам:

$$P_2 = I_a \cdot U_a;$$

$$P_1 = 3P_{11};$$

$$M = \frac{3}{50\pi}(P_{11} - 2I^2);$$

$$\cos\varphi = \frac{P_{11}}{\sqrt{P_{11}^2 + Q_{11}^2}};$$

$$s = \left(1 - \frac{n}{1500}\right) \cdot 100;$$

$$\eta = \frac{P_2}{3P_{11}} 100,$$

и занесите полученные результаты в таблицу 12.2

Таблица 3.4

I, A											
P₂, Вт											
P₁, Вт											
M, Н·м											
cos φ											
s, %											
η, %											

• Используя данные таблицы 13.2, постройте искомые рабочие характеристики $I=f(P_2)$, $P_1=f(P_2)$, $s=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$, $\cos\varphi=f(P_2)$, $M=f(P_2)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором.

Контрольные вопросы

1. Перечислите условия получения вращающегося магнитного поля статора.
2. Приведите вывод суммарного магнитного поля статора в функции линейной координаты круга статора и времени.
3. Докажите поведение суммарного поля статора как бегущей вдоль круга статора волны.
4. Как влияет на частоту вращения магнитного поля статора число пар полюсов его обмоток?

Лабораторная работа №4

Тема: Снятие характеристики холостого хода $E_o = f(I_B)$ трехфазного синхронного генератора. Снятие характеристики короткого замыкания $I_{1к} = f(I_B)$ трехфазного синхронного генератора

Цель работы: Определить характеристики холостого хода $E_o = f(I_B)$ трехфазного синхронного генератора. Определить характеристики короткого замыкания $I_{1к} = f(I_B)$ трехфазного синхронного генератора

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоритическая часть:

Устройство СГ. Синхронный генератор является электрической машиной переменного тока, предназначенный для выработки системы трехфазных напряжений. СГ состоит из статора и ротора (рис.4.1,а). На статоре размещены три обмотки, которые выполнены по всем правилам, по которым выполняются обмотки статора АД: угол сдвига в пространстве между фазными обмотками составляет $120^\circ/p_n$, график магнитного поля каждой обмотки имеет синусоидальную форму. Далее, с целью упрощения изложения материала, примем число пар полюсов обмотки статора равным единице ($p_n=1$) и тогда между обмотками пространственный угол составит 120° . Назначение статора –

с его обмоток снимается выработанные СГ трехфазные напряжения.

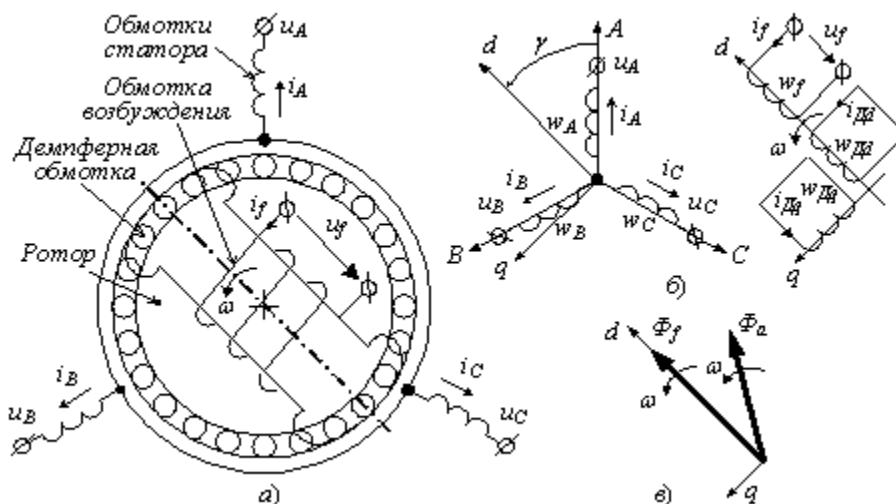


Рисунок 4.1 Синхронный генератор (СГ): устройство (а), схема обмоток(б) и потоков обмотки возбуждения Φ_f и реакции якоря Φ_a (в)

На роторе, который приводится во вращение сторонним двигателем, например, дизелем, содержатся две обмотки – возбуждения (индекс "f" в обозначениях сигналов) и демпферная (индекс "Д" в обозначениях сигналов). Обмотка возбуждения располагается на полюсных наконечниках ротора, концы ее выведены на кольца, установленные на валу ротора, а к кольцам прилегают щетки. К щеткам подведено постоянное напряжение u_f возбуждения. Назначением обмотки возбуждения состоит в создании постоянного магнитного поля - потока Φ_f (рис.4.1,б,в). Демпферная обмотка является короткозамкнутой обмоткой из стержней, уложенных в пазы на периферии ротора. По конструкции она ничем не отличается от короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя. Назначением демпферной обмотки является обеспечение устойчивости работы СГ при скачкообразных изменениях электрической нагрузки СГ.

Принцип действия СГ. Магнитное поле обмотки возбуждения (поток Φ_f) вращающегося ротора последовательно пересекает контура фазных обмоток статора и в них индуцируется система трехфазных э.д.с.

$$\begin{cases} e_A = E_m \sin(\omega t), \\ e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi / 3), \\ e_C = E_m \sin(\omega t - 4\pi / 3), \end{cases}$$

причем частота э.д.с. совпадает с частотой вращения ротора СГ (при $p_{\Pi}=1$).

Концы статорной обмотки выведены на клеммник (борно – коробка выводов). Эти э.д.с. снимаются с выводов статорной обмотки. При подключении нагрузки к выводам по обмоткам статора потекут фазные токи i_A , i_B и i_C . Эти токи создадут во внутренних сопротивлениях обмоток статора (сопротивления состоит из активного сопротивления R проводников обмоток и индуктивного сопротивления рассеяния x_p) падения напряжения. За вычетом этих падений напряжений из э.д.с. на выводах образуется три фазных напряжения u_A , u_B и u_C . Этим завершаются пояснения того, как СГ используется

по назначению.

При работе СГ под нагрузкой возникает побочный эффект – реакция якоря, суть которой состоит в следующем. Системой трехфазных токов i_A , i_B и i_C в статоре создается вращающееся магнитное поле Φ_a . Это поле вращается синхронно с основным магнитным полем Φ_f и индуцирует в обмотках статора свои собственные э.д.с. Нагрузка, подключаемая к СГ, преимущественно активно-индуктивная - это АД, трансформаторы. При такой нагрузке все фазные э.д.с. e_A , e_B и e_C существенно уменьшаются. Описанное явление влияния магнитного поля статора Φ_a на магнитное поле обмотки возбуждения Φ_f и, в конечном счете – к уменьшению э.д.с., называется реакцией якоря.

Якорем у СГ называется статор. Названием "якорь" подчеркивается аналогия обмоток статора СГ с обмоткой якоря генератора постоянного тока в том смысле, что именно в обмотке якоря индуцируется э.д.с. Названием "статор" подчеркивается принадлежность обмоток неподвижной части СГ.

Назначение демпферной обмотки. В установившемся режиме работы СГ, когда отдаваемая им активная мощность равна активной мощности, потребляемой нагрузкой, действующие значения (уровни) напряжений U_A , U_B и U_C и их частота стабильны. Стабильность частоты означает, что вращающий момент дизеля в точности равен моменту сопротивления СГ. Если, например, к СГ подключить нагрузку, которая будет потреблять активную мощность, то баланс моментов дизеля и СГ нарушится и частота вращения ω СГ начнет снижаться и будет понижаться частота выходного напряжения СГ. Для неавтономно работающего СГ это является аварийной ситуацией и важно не допустить снижения частоты вращения ротора до тех пор, пока вращающий момент дизеля поднимется. Как только ротор начнет снижать частоту вращения его демпферная обмотка начнет пересекаться магнитным полем статора Φ_a и на ротор начнет действовать электромагнитная сила и момент по тому же принципу направлен в ту же сторону, в какую направлен вращающий момент дизеля, и он предотвратит снижение частоты вращения СГ после подключения к нему электрической нагрузки. При отключении электрической нагрузки СГ

его ротор начнет ускоряться и демпферная обмотка создаст тормозной момент. Описанная способность демпферной обмотки гасить быстрые изменения частоты вращения ротора и дало ей название – *демпферная*.

Схемы соединения обмоток *СТ* и их оси показаны на рис.4.1,б. Оси *A*, *B* и *C* привязаны к соответствующим обмоткам статора и неподвижны в пространстве. С ротором связывают систему ортогональных осей *d-q*, причем ось *d* – *продольная* и направлена по оси обмотки возбуждения, а ось *q* – *поперечная*. При вращении ротора меняется угол γ между осями *A* и *d* по зависимости $\gamma = \omega t$.

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	0...250В/3А(якорь)/200В/1А(возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40В / 3,5 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	100 Вт/~230 В / 1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В/0,25 А (возбуждение)
P1	Блок мультиметров	508.2	3мультимера~0...1000/~0...10А / 0...20МОм

P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹
----	----------------------------	-------	------------------------------------

Описание электрической схемы соединений

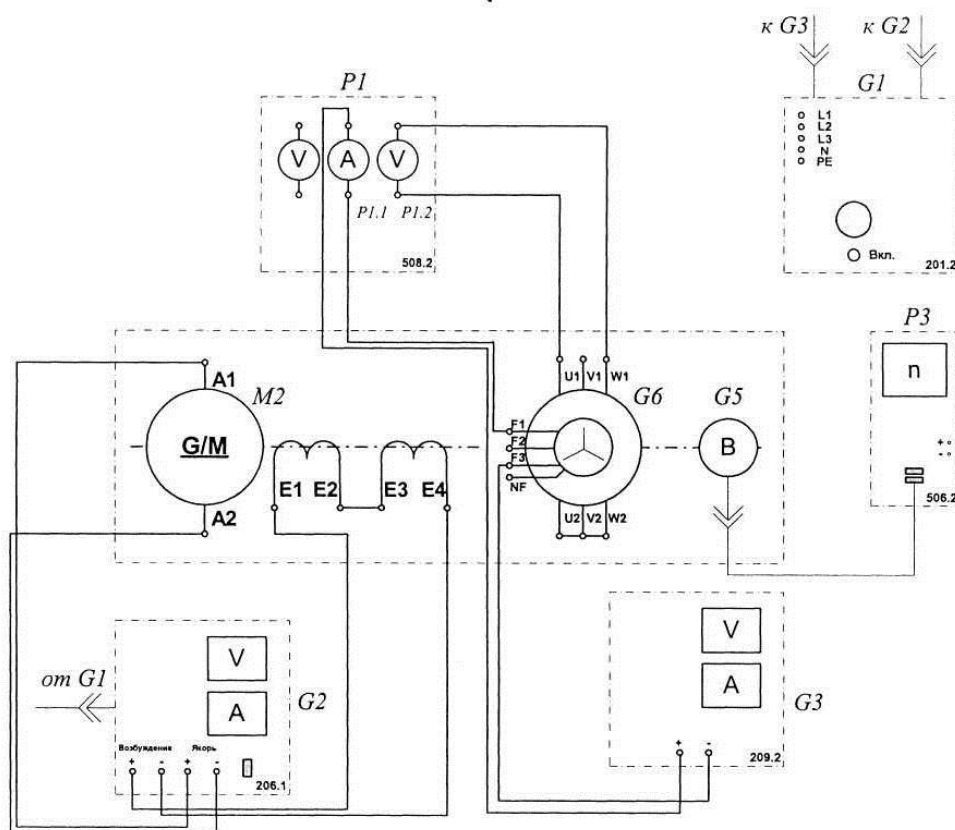
Источник **G1** - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока **G2** используется для питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока **M2**, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель **G3** служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока **G6**, работающей в режиме синхронного двигателя.

Преобразователь угловых перемещений **G5** генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения **P3** электромашинного агрегата.

С помощью мультиметров блока **P1** контролируются ток возбуждения **I_в** и Э.Д.С. **E₀** испытуемого генератора **G6**.



Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока. (Приложение Б)
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений. Переключатели режима работы источника G2 и возбудителя G3

Рисунок 4.2- Электрическая схема соединений

установите в положение “РУЧН.”.

- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P3.

- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, разгоните двигатель M2 (генератор G6) до частоты 1500 мин^{-1} и поддерживайте ее в ходе эксперимента неизменной.

- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3.

- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток возбуждения I_b генератора G6 в диапазоне $0...2 \text{ А}$ и заносите показания амперметра P1.1 (ток I_b) и вольтметра P 1.2 (Э.Д.С. E_0 синхронного генератора G6) в таблицу 1.1.

Таблица 1..1.

$I_b, \text{ А}$										
$E_0, \text{ В}$										

- По завершении эксперимента первоначально у возбудителя G3, а затем и у источника G2 поверните регулировочную рукоятку против часовой

стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб, и последующим отключением ключа - выключателя. Отключите выключатели "СЕТЬ" блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P3.

- Используя результаты табл. 1.1, постройте искомую характеристику холостого хода $E_0 = f(I_b)$ трехфазного синхронного генератора.

*Снятие характеристики короткого замыкания $I_{Lk} = f(I_b)$
трехфазного синхронного генератора*

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	0...250 В/3 А(якорь)/200 В/1 А(возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40 В / 3,5 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	100 Вт/~230 В / 1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь)/2×110 В/0,25 А (возбуждение)
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра ~0...1000/~0...10 А/0...20 МОм
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник **G1** - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока **G2** используется для питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока **M2**, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель **G3** служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока **G6**, работающей в режиме синхронного двигателя.

Преобразователь угловых перемещений **G5** генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения **P3** электромашинного агрегата.

С помощью мультиметров блока **P1** контролируются ток возбуждения I_B и ток I_k статорной обмотки испытуемого синхронного генератора **G6**.

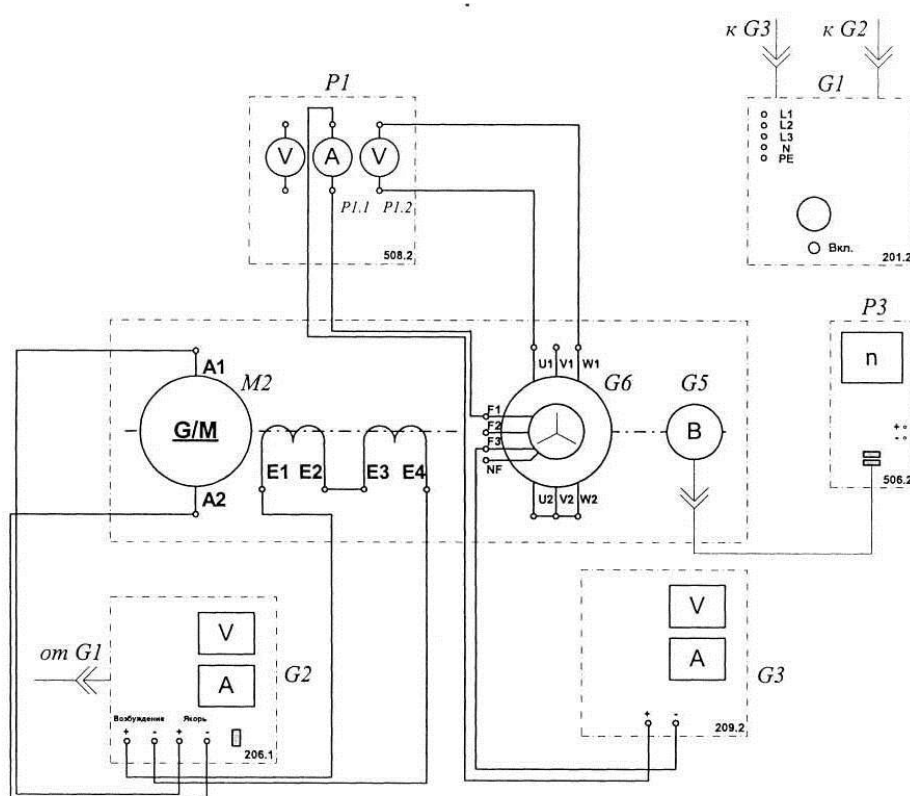


Рисунок 4.3- Электрическая схема соединений

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (Приложение Б)
- Соедините гнезда защитного земления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений. Переключатели режима работы источника G2 и возбудителя G3 установите в положение "РУЧН."
- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P3.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, разгоните двигатель M2 (генератор G6) до частоты 1500 мин^{-1} и поддерживайте ее в ходе эксперимента неизменной.
- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток возбуждения I_b генератора G6 в диапазоне 0...2 А и заносите показания

амперметра Р1.1 (ток I_B) и вольтметра Р 1.2 (Э.Д.С. $I_{1к}$ синхронного генератора G6) в таблицу 1.2.

Таблица 1.2.

I_B , А										
$I_{1к}$, В										

- По завершении эксперимента первоначально у возбuditеля G3, а затем и у источника G2 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб, и последующим отключением ключа - выключателя. Отключите выключатели "СЕТЬ" блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р3.

- Используя результаты табл. 1.2, постройте искомую характеристику холостого хода $I_{1к} = f(I_B)$ трехфазного синхронного генератора.

Контрольные вопросы

1. Поясните устройство СГ.
2. Поясните принцип действия СГ.
3. Что такое реакция якоря для СГ?
4. Поясните назначение демпферной обмотки.

Лабораторная работа №5

Тема: Снятие внешней $U = f(I_1)$, регулировочной $I_B = f(I_1)$ и нагрузочной характеристик трехфазного синхронного генератора в автономном режиме.

Цель работы: Определить внешние $U = f(I_1)$, регулировочные $I_B = f(I_1)$ и нагрузочные характеристики трехфазного синхронного генератора в автономном режиме

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоритическая часть:

Внешняя характеристика определяет зависимость $U=f(I)$ при $I_f=const$, $\cos\varphi=const$, $f=f_{ном}$ и показывает, как изменяется напряжение СГ U при изменении тока нагрузки I и неизменном токе возбуждения. Так как ток возбуждения и частота вращения СГ постоянны, то будет постоянной э.д.с. E СГ.

Для определения вида графика внешней характеристики используем построения по упрощенной векторной диаграмме неявнополюсного СГ. Рассмотрим работу СГ на активную (R), активно-индуктивную (RL) и активно-емкостную (RC) нагрузку (рис.5.1).

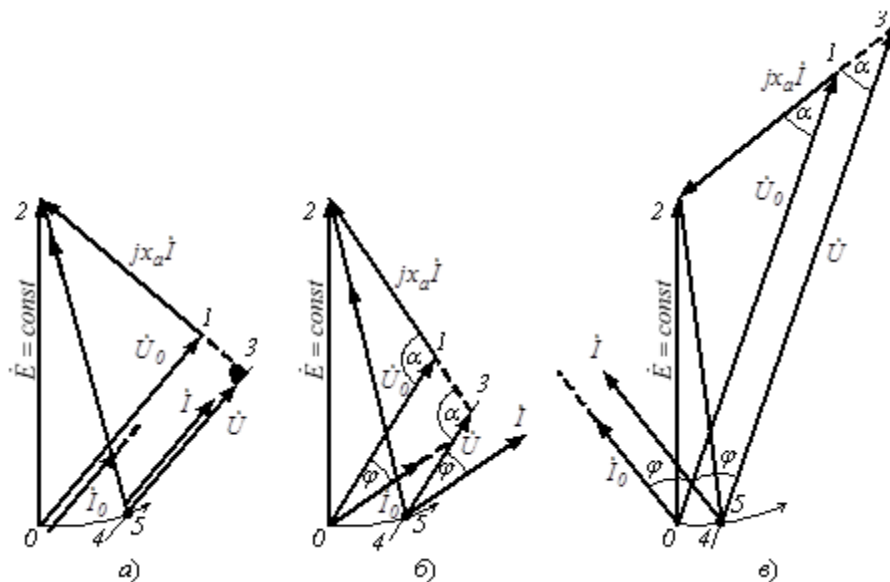


Рисунок 5.1- Векторные диаграммы для расчета внешних характеристик при активной (а), активно-индуктивной (б) и активно-емкостной (в) нагрузкой

Нагрузка СТ активная, между током и напряжением нагрузки сдвиг по фазе нулевой – $\varphi=0$.

Примем вначале ток нагрузки равным I_0 и напряжение на нагрузке, найденное из диаграммы 0-1-2, равняется U_0 . Пусть ток в нагрузке увеличился до I (на диаграмме прирост тока показан пунктирной линией на продолжении вектора I_0). Тогда падение напряжения $jx_a I$ увеличится, точка 1, ограничивающая длину этого вектора, переместится в точку 3. Новый вектор напряжения U будет входить в точку 3 под углом 90° по направлению прямой линии 3-4, так как с вектором тока i при любой величине тока I вектор напряжения $\dot{U}$ будет параллелен (нагрузка активная), вектор $jx_a i$ будет опережать на 90° и, следовательно, между векторами $\dot{U}$ и $jx_a i$ будут постоянные 90° . Повернем вектор э.д.с. E против часовой стрелки относительно точки 2 до его пересечения с линией 3-4. Точку пересечения обозначим как 5. Отрезок 3-5 линии 3-4 будет вектором напряжения U . Как следует из построений, $U < U_0$. Значит, при активной нагрузке с увеличением тока напряжение на ней уменьшается.

Нагрузка СТ активно-индуктивная, напряжение на нагрузке опережает ток в ней на угол $\varphi > 0$ (рис.5.1,б).

Построения такие же, как и для активной нагрузки. При активно-индуктивной нагрузке с увеличением тока напряжение на ней уменьшается интенсивнее, чем при активной нагрузке (так как $\alpha > 90^\circ$).

Нагрузка СГ активно-емкостная, напряжение на нагрузке отстает от тока в ней на угол $\varphi < 0$ (рис.5.1,в).

Построения такие же, как и для активной нагрузки. При активно-емкостной нагрузке с увеличением тока напряжение на ней увеличивается.

Из общего анализа векторных диаграмм на рис.5.1 следует:

- при холостом ходе, когда ток $I=0$, напряжения U на выводах СГ одинаковые и равны э.д.с. E холостого хода;

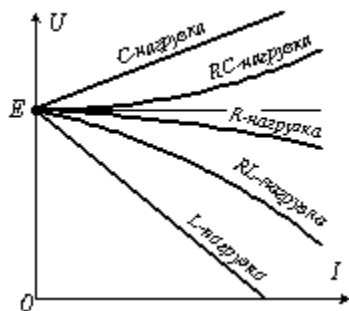


Рисунок 5.2 –Внешние характеристики СГ

- при одинаковых токах I в нагрузках, напряжение U на активной нагрузке меньше E , еще меньше U при активно-индуктивной нагрузке, а напряжение U на активно-емкостной нагрузке может превышать E (при достаточном

преобладании емкостной составляющей полного сопротивления над активной составляющей);

- с увеличением тока I напряжение U на активной и активно-индуктивной нагрузке продолжает уменьшаться, а напряжение U на активно-емкостной нагрузке продолжает повышаться.

Графики внешних характеристик СГ приведены на рис.5.2.

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В /16 А

G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	-0...250В / 3 А(якорь) - 200 В /1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40В /3,5 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	100 Вт/~230В /1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт/220 В/ 0,56 А (якорь) / 2×110 В /0,25 А (возбуждение)
A10	Активная нагрузка	306.1	220 В/3×0...50 Вт;
A15	Индуктивная нагрузка	324.2	220 В/3×0...40 ВА _p ;
A16	Емкостная нагрузка	317.2	220 В/3×0...40 ВА _p ;
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметр~0...1000В/~0...10А/0...20Мом
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока M2, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока G6, работающей в режиме синхронного генератора.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Нагрузки - активная A10, индуктивная A15 и емкостная A16 используются для нагружения синхронного генератора G6.

С помощью мультиметров блока P1 контролируются ток возбуждения I_B , ток I статорной обмотки и линейное напряжение U испытуемого синхронного генератора G6.

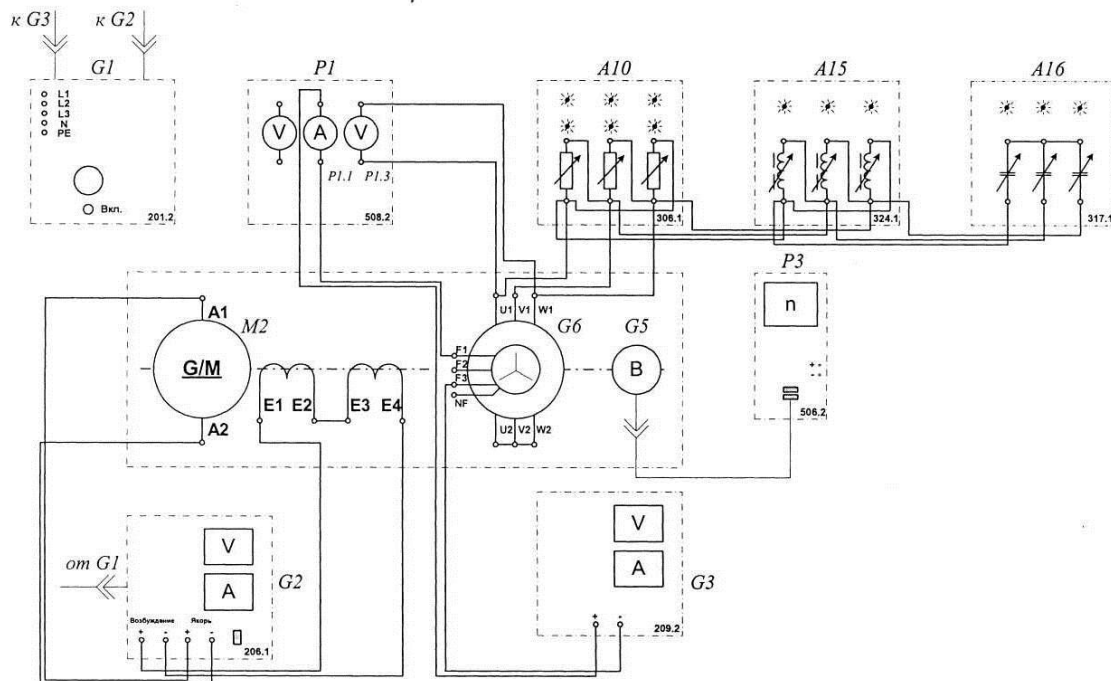


Рисунок 5.3-Электрическая схема соединений

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (Приложение Б).
- Соедините гнезда защитного «»земления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.

- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

- Переключатели режима работы источника G2 и возбудителя G3 установите в положение “РУЧН.”.

- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

- Установите регулировочные рукоятки активной нагрузки A10 (индуктивной нагрузки A15 / емкостной нагрузки A17) в положение "0%".

- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P1 и указателя частоты вращения P3.

- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.

- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, разгоните двигатель M2 (генератор G6) до частоты 1500 мин^{-1} и поддерживайте ее в ходе эксперимента неизменной.

- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3.

- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите ток возбуждения I_v , при котором междофазное напряжение U генератора G6 будет равно 230 В.

- Перемещая синфазно регулировочные рукоятки активной нагрузки A10 (индуктивной нагрузки A15 / емкостной нагрузки A16), изменяйте ток I статорной обмотки генератора G6 в диапазоне 0...0,25 А и заносите показания амперметра P1.2 (ток I) и вольтметра P1.3 (напряжение U) в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

I, A											
U, В											

- Верните регулировочные рукоятки активной нагрузки A1 (индуктивной нагрузки A15 / емкостной нагрузки A17) в положение "0%".

- Синфазно поворачивая регулировочные рукоятки активной нагрузки A1 (индуктивной нагрузки A15 / емкостной нагрузки A16) и поддерживая напряжение U генератора G4 равным 230 В, путем регулирования его тока возбуждения I_b , изменяйте ток I статорной обмотки генератора G6 в диапазоне 0..0,25 А и заносите показания амперметров P1.1 (ток I_b), P1.2 (ток I) в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

I, A											
I_b, A											

- Верните регулировочные рукоятки активной нагрузки A1 (индуктивной нагрузки A15 / емкостной нагрузки A17) в положение "0%".

- Соедините фазы емкостной нагрузки по схеме «треугольник».

- Поверните регулировочную рукоятку возбуждителя G3 против часовой стрелки до упора.

- Закоротите активную нагрузку A1 (индуктивную нагрузку A15 / емкостную нагрузку A17).

- Увеличивая ток возбуждения $I_{\text{в}}$ генератора G3, установите ток I статорной обмотки генератора G6 равным, например, 0,05 А и занесите показания амперметра P1.1 (ток $I_{\text{в}}$) и вольтметра P1.3 (напряжение U) в таблицу 1.3
- Поверните регулировочную рукоятку возбудителя G3 против часовой стрелки до упора.
- Раскоротите активную нагрузку A1 (индуктивную нагрузку A15 / емкостную нагрузку A17).
- Установите регулировочные рукоятки активной нагрузки A1 (индуктивной нагрузки A15 / емкостной нагрузки A17) в положение "100%".
- Синфазно поворачивая против часовой стрелки регулировочные рукоятки активной нагрузки A10 (индуктивной нагрузки A15 / емкостной нагрузки A16) и поддерживая неизменным, например, равным 0,05 А ток I статорной обмотки генератора G6 путем регулирования его тока возбуждения $I_{\text{в}}$, изменяйте напряжение U статорной обмотки генератора G6 (не превышая значения 250 В) и заносите показания амперметра P1.1 (ток $I_{\text{в}}$) и вольтметра P1.3 (напряжение U) в таблицу 1.3

Таблица 1.3

$I_{\text{в}}$, А											
U, В											

- По завершении эксперимента первоначально у возбудителя G3, а затем и у источника G2 поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора, нажмите кнопку "ОТКЛ." и отключите выключатель "СЕТЬ". Отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб, и

последующим отключением ключа - выключателя. Отключите выключатели "СЕТЬ" блока мультиметров Р1 и указателя частоты вращения Р3.

• Используя результаты таблиц 1.1... 1.3, постройте искомые характеристики трехфазного синхронного генератора G6 при активном (индуктивном / емкостном) характере его нагрузки:

- внешнюю $U = f(I)$ при $n = \text{const}$, $I_b = \text{const}$ (табл. 1.1.);
- регулировочную $I_b = f(I)$ при $n = \text{const}$, $U = \text{const}$ (табл. 1.2.);
- нагрузочную $U = f(I_b)$ при $n = \text{const}$, $I = \text{const}$ (табл. 1.3.).

Контрольные вопросы

1. Поясните построения для расчета внешней характеристики при активной нагрузке.
2. Поясните построения для расчета внешней характеристики при активно-индуктивной нагрузке.
3. Поясните построения для расчета внешней характеристики при активно-емкостной нагрузке.
4. Поясните внешний вид внешних характеристик СГ.

Лабораторная работа №6

Тема: Подключение к сети трехфазного синхронного генератора методом точной синхронизации

Цель работы: Подключить к сети трехфазный синхронный генератор методом точной синхронизации

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоретическая часть :

В сетях электроснабжения переменного тока устанавливается не менее двух СГ, что дает следующие преимущества (в сравнении с использованием для электропитания только одного СГ):

1). Повышается надежность электроснабжения за счет резервирования при использовании более одного СГ.

2). Обеспечивается экономичная работа параллельно работающих СГ, в которой нагрузка СГ может поддерживаться на уровне, обеспечивающем максимальный к.п.д. Так, если нагрузка двух параллельно работающих СГ составляет менее половины, то при выводе из работы одного СГ, оставшийся в работе СГ загрузится выше половины, а это всегда приводит к повышению к.п.д. СГ.

3). Исключается перегрузка СГ. Так, если работающие СГ нагружены токами сверх номинальных, то введением дополнительно в работу еще одного СГ, который возьмет на себя часть тока нагрузки, другие СГ разгружаются.

Различают параллельную работу СГ:

- на сеть бесконечной мощности;
- соизмеримой между собой мощности.

Существуют три способа введения СГ для работы в параллель с сетью (уже работающими генераторами):

- 1) точная синхронизация;
- 2) грубая синхронизация;
- 3) самосинхронизация.

Подключаемый к сети СГ работает вхолостую и, поэтому напряжение на выводах СГ равно его э.д.с. E .

Способ точной синхронизации. Схема способа точной синхронизации приведена на рис.6.1,а). СГ включает в сеть возбужденным. Перед подключением СГ к сети должны быть выполнены три условия:

1. Должно быть равенство действующих значений э.д.с. E генератора и напряжения U сети (контролируются вольтметрами).

2. Должно быть равенство частот э.д.с. E генератора и напряжения U сети: $f=f_C$ (контролируются частотомерами)

3. Должно быть равенство электрических фаз э.д.с. E генератора и напряжения U сети: $\alpha=\alpha_C$ или, как это общепринято, разность фаз $\Delta\alpha=\alpha-\alpha_C$ должна быть равна нулю (контролируются синхроскопом).

Перечисленные условия обеспечивают идеальную синхронизацию, при проведении которой уравнивающего тока $I_{ур}$ в обмотках подключаемого СГ и на шинах сети не возникает. Естественно, точно выполнить перечисленные условия не представляется возможным и, поэтому, возникают уравнивающие токи. Синхронизация считается точной, если по амперметру, включенному в цепь статора, бросок уравнивающего тока не превысил $(0,7...0,8)I_{ном}$.

При настройке технических средств синхронизации, необходимо учитывать то, что величина уравнивающего тока наиболее чувствительна к ошибке разности фаз $\Delta\alpha=\alpha-\alpha_C$, наименее чувствительна к ошибке разности напряжений $\Delta U=U-U_C$ и имеет среднюю чувствительность к ошибке разности частот $\Delta f=f-f_C$. Поэтому при проведении точной синхронизации сначала подгоняют напряжения (по вольтметрам), затем – частоты (по частотомерам) и на заключительном этапе подгоняют фазы (по стрелочному или ламповому

синхроноскопу). Ламповый синхроноскоп представляет набор из трех ламп накаливания, каждая из которых подключена одним концом к фазам СГ, а другим – к одноименным фазам сети. При совпадении фаз СГ и сети лампы не горят. Такой синхроноскоп называют *синхроноскопом на погасание*.

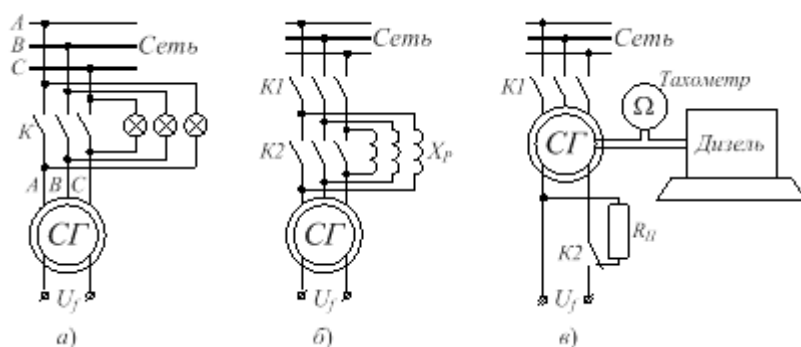


Рисунок 6.1- Схема синхронизация СГ на сеть по способу: а – точной синхронизации, б- грубой синхронизации и в- самосинхронизации

Способ грубой синхронизации. Схема способа грубой синхронизации приведена на рис.6.1,б). СГ включает в сеть возбужденным. Этот способ является только ручным и применяется в тех случаях, когда устройство автоматической синхронизации не работает.

Перед подключением СГ к сети подгоняют по вольтметрам и частотомерам напряжения и частоты сети и СГ. Разность фаз не контролируют, чем и объясняется способ синхронизации как грубый.

Сначала замыкается контактор $K1$. СГ подключается к сети через реактор X_p . Из-за отсутствия подгонки фаз возникнет уравнительный ток. Реактор как раз и ограничивает уравнительный ток на допустимом уровне.

После того, как СГ втянется в синхронизм, что контролируется амперметром в цепи статора по спаданию практически до нуля тока в его обмотках, что свидетельствует о совпадении электрических фаз СГ и сети, контактором $K2$ шунтируют реактор. СГ напрямую включается в сеть.

Способ самосинхронизации. Схема способа самосинхронизации приведена на рис.6.1,в). СГ включает в сеть невозбужденным, как асинхронный двигатель. Этот способ является только ручным и применяется в тех случаях, когда устройство автоматической синхронизации не работает.

Обмотка возбуждения замкнута на пусковое сопротивление $R_{\text{л}}$. Контроль напряжения СГ и его частоты в принципе невозможен, так как генератор не возбужден и е.д.с. E нулевая. Перед включением в сеть СГ разгоняют до почти синхронной частоты вращения ($\omega_0^{\pm 5\%}$), что контролируется по тахометру дизеля. Затем контактором $K1$ подключают СГ к сети. Уравнительный ток при подключении СГ находится в допустимых пределах $(0,7 \dots 0,8)I_{\text{ном}}$. Не возбужденный СГ для сети представляет асинхронный двигатель.

В статоре подключенного к сети СГ появляются токи, которые создают вращающееся магнитное поле статора. Демпферная обмотка и обмотка возбуждения, замкнутая на сопротивление $R_{\text{л}}$, создают асинхронный вращающий момент, который уже электрическим способом в помощь дизелю подводит частоту вращения СГ ближе к синхронной ($\omega_0^{\pm 2\%}$). При спадании тока статора до некоторого наперед заданного малого значения, обмотку возбуждения переключают контактором $K2$ на питание от напряжения возбуждения U_f . СГ втягивается в синхронизм.

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	$\sim 400 \text{ В} / 16 \text{ А}$
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	$-0 \dots 250 \text{ В} / 3 \text{ А}$ (якорь) /- $200 \text{ В} / 1 \text{ А}$ (возбужде- ние)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	$-0 \dots 40 \text{ В} / 3,5 \text{ А}$
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	$100 \text{ Вт} / \sim 230 \text{ В}$ /1500 мин ⁻¹

M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В/0,25 А (возбуждение)
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	3*8В·А;230В/242,235, 230, 226, 220,133,127
A6	Трёхполюсный выключатель	301.1	~400 В / 10 А
A17	Блок синхронизации	319	~400В;2А;3индикатор ные лампы; синхроноскоп
P2	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В/ 0.05; 0.1; 0.2; 0.5 А.
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000... 0... 2000 мин ⁻¹
P4	Измеритель напряжений и частот	504.1	~0...500В;45...55Гц,~ 220В

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока M2, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока G6, работающей в режиме синхронного генератора.

Синхронный генератор G6 связан с сетью (источником G1) через блок синхронизации A17, трехфазную трансформаторную группу A2 и выключатель A6.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

С помощью измерителя P2 контролируются активная и реактивная мощности, развиваемые испытуемым генератором G6.

С помощью измерителя P4 контролируются напряжения и их частоты со стороны генератора G6 и со стороны электрической сети.

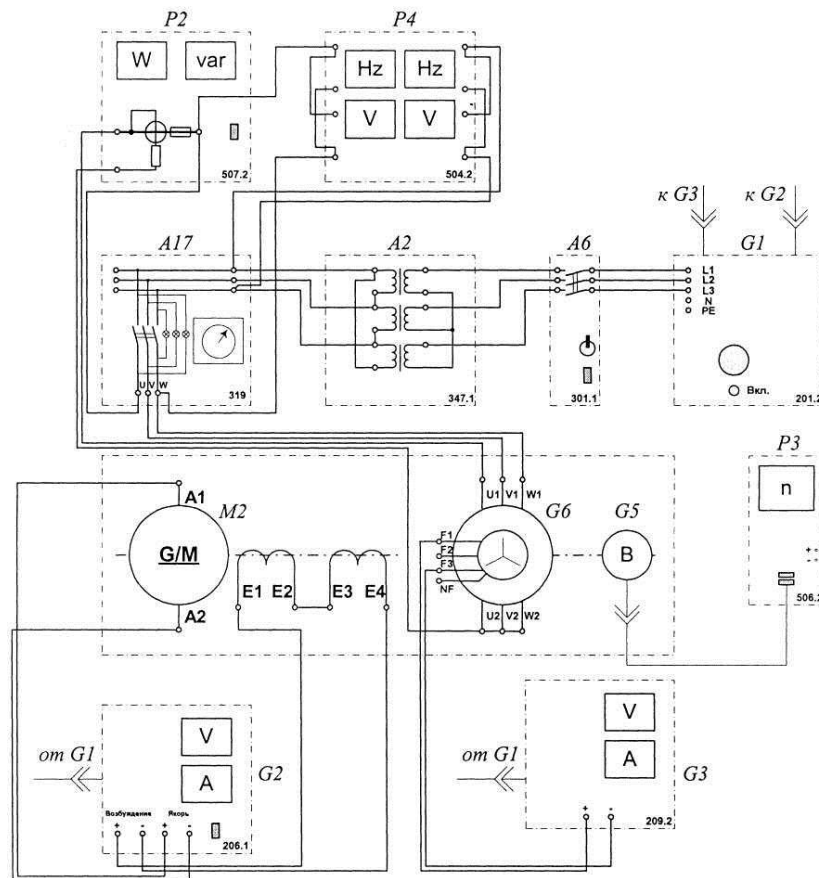


Рисунок 6.2-Электрическая схема соединений

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.(Приложение Б)
- Соедините гнезда защитного заземлс "⏏" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" трехфазного источника питания G1
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

- Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3, выключателя A6 и блока синхронизации A17 переведите в положение "РУЧН."
- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите переключателем в трехфазной трансформаторной группе A2 номинальные напряжения: вторичных обмоток трансформаторов - 220 В.
- Включите выключатели "СЕТЬ" выключателя A6, блока синхронизации A18, измерьте мощность P2 и указателя P3.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя M2 (генератора G6) 1500 мин^{-1} .
- Включите выключатель A6 нажатием на кнопку "ВКЛ" на его передней панели.
- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение между фазами (линейное) генератора G6 равным напряжению между одноименными фазами сети.
- Обеспечьте условия синхронизации согласно табл. 2.9.1, после чего, нажатием на кнопку "ВКЛ." блока синхронизации A17, подключите генератор G6 к сети.
- Убедитесь, что генератор G6 вошел в режим синхронной работы с сетью, о чем должно свидетельствовать отсутствие колебаний значений его режимных параметров.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, нагрузите генератор G6 активной мощностью, например, до 30 Вт, которую определяйте утроением показаний ваттметра измерителя P2.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, нагрузите генератор G6 реактивной мощностью с отстающим (опережающим) коэффициентом

мощности, например, до 30 ВАр, которую определяйте утроением показаний варметра измерителя Р2.

- Для отключения генератора G6 от сети: разгрузите его по активной и реактивной мощностям, нажмите кнопку "ОТКЛ." блока синхронизации A17, поверните регулировочные рукоятки сначала у возбудителя G3, а затем у источника G2 против часовой стрелки до упора, отключите выключатели "СЕТЬ" блоков, задействованных в эксперименте, отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб и последующим отключением ключа - выключателя.

Таблица 1.1

Условие	Средство контроля	Критерий выполнения условия	Критерий невыполнения условия	Рекомендации по выполнению условия
Равенство напряжений синхронного генератора и сети	Вольтметры со стороны синхронного генератора и сети	Напряжения со стороны синхронного генератора и сети равны	Напряжения со стороны синхронного генератора и сети не равны	Регулировать напряжения возбуждения синхронного генератора до момента выравнивания напряжений со стороны синхронного генератора и сети

Одинаковое чередование фаз напряжений синхронного генератора и сети	Лампы в разрывах фаз	Лампы в фазах: периодически одновременно загораются и гаснут (частоты напряжений не равны); горят (напряжения в противофазе); не горят (напряжения синфазные)	Лампы в фазах периодически не одновременно загораются и гаснут, создавая эффект "кругового огня"	Переключить любые две фазы синхронного генератора
Равенство частот синхронного генератора и сети	Лампы в разрывах фаз или синхронскоп	Лампы в фазах горят постоянно без мерцания (напряжения в противофазе) или не горят (напряжения синфазные); стрелка синхроноскопа неподвижна	Лампы в фазах загораются с частотой скольжения; стрелка синхроноскопа вращается	Регулировать частоту вращения синхронного генератора
Синфазность напряжений синхронного генератора и сети	Лампы в разрывах фаз или синхронскоп	Лампы в фазах не горят; стрелка синхроноскопа смотрит вверх	Лампы в фазах горят; стрелка синхроноскопа не смотрит вверх	Регулировать частоту вращения синхронного генератора до погасания ламп

Подключение к сети трехфазного синхронного генератора методом самосинхронизации

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания		~400 В / 16 А

G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	-0...250В/3А (якорь) /-200В/1А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40В /3,5 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	100 Вт/ ~230 В / 1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В/0,25 А (возбуждение)
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	3*80В·А;230В/242,2 35,230,226,220,133,1 27 В
A6	Трёхполюсный выключатель	301.1	~400 В / 10 А
A9	Реостат для цепи ротора машины	307.1	3 × 0...40 Ом / 1 А
A17	Блок синхронизации	319	~400В;2А;3индикаторные лампы; синхроскоп
P2	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В/ 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока M2, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока G6, работающей в режиме синхронного генератора.

Синхронный генератор G6 связан с сетью (источником G1) через блок синхронизации A17 и трехфазную трансформаторную группу A2.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Реостат A9 выполняет роль резистора синхронизации и подключается выключателем A6 к обмотке возбуждения синхронного генератора G6 на этапе асинхронного пуска последнего.

С помощью измерителя P2 контролируются активная и реактивная мощности, развиваемые испытуемым генератором G6.

С помощью измерителя P4 контролируются напряжения и их частоты со стороны генератора G6 и со стороны электрической сети.

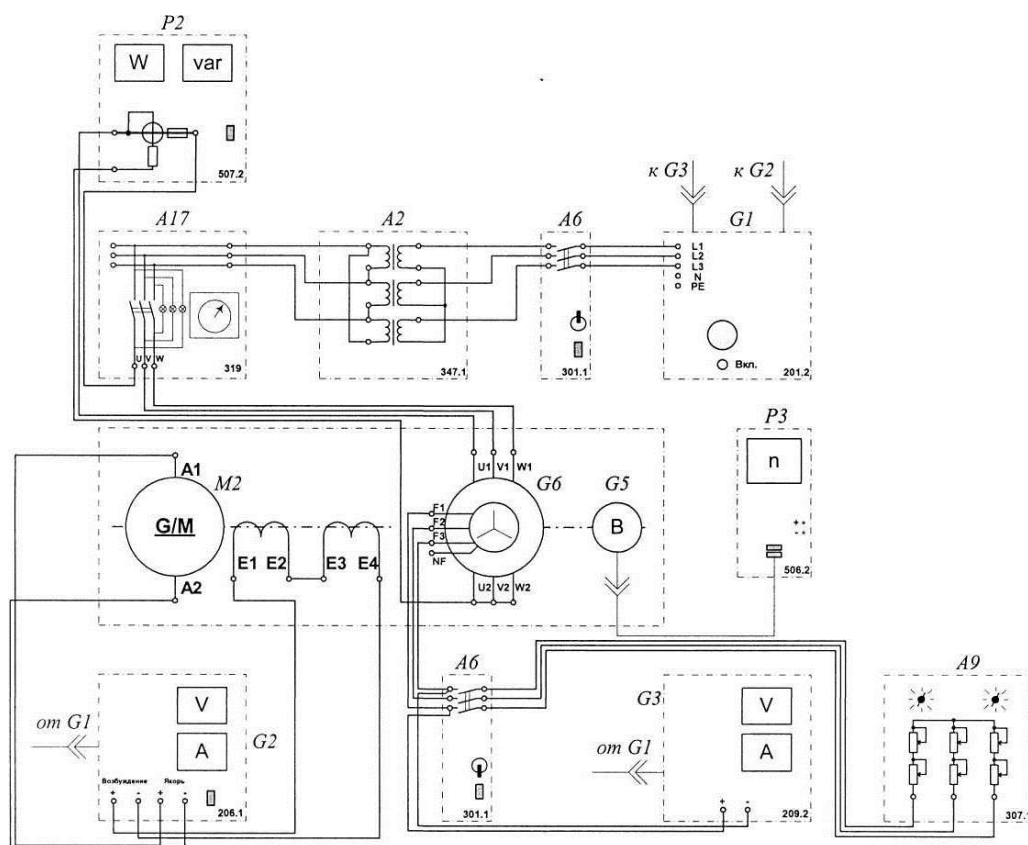


Рисунок 6.3- Электрическая схема соединений

Указания по проведению эксперимента

Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (Приложение Б).



Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.

- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

- Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3, выключателя A6 и блока синхронизации A17 переведите в положение "РУЧН."

- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

- Установите суммарное сопротивление фаз реостата A4, равными 8 Ом.

- Установите переключателем в трехфазной трансформаторной группе A2 номинальные напряжения: вторичных обмоток трансформаторов 220 В

- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя M2 (генератора G6) 1500 мин^{-1} .

- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." возбудителя G3.

- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3 по часовой стрелке, установите ток возбуждения генератора G6, равным 1,5 А, и убедитесь, что свечение индикаторных ламп блока синхронизации A17 меняется синфазно. В противном случае при эффекте "бегущего огня" переключите любые две фазы генератора G6.

- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» возбудителя G3.

- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." выключателя А6.
- Подключите генератор G4 к сети путем включения выключателя "СЕТЬ" и нажатия кнопки "ВКЛ." блока синхронизации А17.
- По окончании разгона генератора G6 нажмите кнопку "ВКЛ." возбuditеля G3.
- Убедитесь, что генератор G6 вошел в режим синхронной работы с сетью, о чем должно свидетельствовать отсутствие колебаний значений его режимных параметров.
- Отключите выключатель А6 нажатием на кнопку "ОТКЛ."
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, нагрузите генератор G6 активной мощностью, например, до 30 Вт, которую определяйте утроением показаний ваттметра измерителя Р2.
- Вращая регулировочную рукоятку возбuditеля G3, нагрузите генератор G6 реактивной мощностью с отстающим (опережающим) коэффициентом мощности, например, до 30 ВАр, которую определяйте утроением показаний варметра измерителя Р2.
- Для отключения генератора G6 от сети: разгрузите его по активной и реактивной мощностям, нажмите кнопку "ОТКЛ." блока синхронизации А17, поверните регулировочные рукоятки сначала у возбuditеля G3, а затем у источника G2 против часовой стрелки до упора, отключите выключатель "СЕТЬ" возбuditеля G3, источника G2, блока синхронизации А17, выключателя А6, измерителя Р2 и указателя Р3, отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб и последующим отключением ключа - выключателя.

Контрольные вопросы

1. Поясните способ точной синхронизации.
2. Поясните способ грубой синхронизации.
3. Поясните способ самосинхронизации.

Лабораторная работа №7

Тема: Снятие угловых характеристик $P = f(\theta)$, $Q = f(\theta)$, $U = f(\theta)$ трехфазного синхронного генератора. Снятие U – образной характеристики $I = f(I_B)$ трехфазного синхронного генератора

Цель работы: Определить угловые характеристики $P = f(\theta)$, $Q = f(\theta)$, $U = f(\theta)$ трехфазного синхронного генератора

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоретическая часть:

Рассмотрим подробнее эффекты, возникающие при регулировании реактивной мощности СГ. Векторная диаграмма для анализа, представленная на рис.7.1, построена по упрощенному уравнению неявнополюсного СГ.

Работа СГ с постоянным моментом в сети бесконечной мощности, в которой напряжение $U = \text{const}$ и $f = \text{const}$, означает, что в соответствии формулой момента СГ, в которой U , ω и x_a являются постоянными величинами, должно выполняться тождество

$$E_n \sin \theta_n = \text{const},$$

где E_n и θ_n – э.д.с. и угол нагрузки СГ при различных токах возбуждения I_f .

По этому тождеству на рис. 7.1 проведена штрих-пунктирная линия $e-e$, являющаяся геометрическим местом концов векторов E_n .

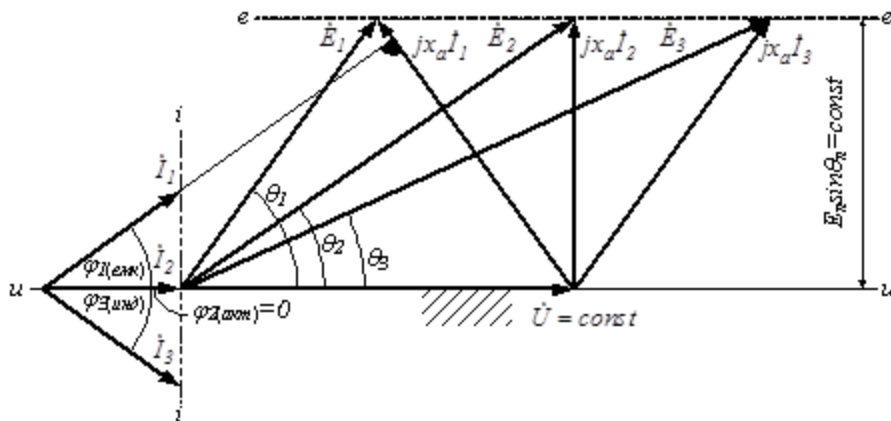


Рисунок 7.1- Векторные диаграммы СГ при регулировании реактивности тока

На рисунке проведены три вектора э.д.с. $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$ из множества возможных. На концах этих векторов и конце вектора $\dot{U}$ в соответствии с построены векторы падений напряжения $jx_a\dot{I}_1, jx_a\dot{I}_2, jx_a\dot{I}_3$ на синхронном индуктивном сопротивлении x_a СГ. Далее, перпендикулярно построенным векторам $jx_a\dot{I}_1, jx_a\dot{I}_2, jx_a\dot{I}_3$ проведены вектора токов $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$, которые сгруппированы на чертеже слева и изображены исходящими из одной точки. Ввиду подобия фигур, образованных пучками векторов $jx_a\dot{I}_1, jx_a\dot{I}_2, jx_a\dot{I}_3$ и $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$, концы векторов $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ расположены на одной прямой линии, которая обозначена как $i-i$. Проекциями векторов $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ на ось $i-i$ являются их реактивные составляющие, а проекциями на ось $u-u$ вектора напряжения $\dot{U}$ являются их активные составляющие. Из построений следует, что активная составляющая любого тока из пучка $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ равна чисто активному току I_2 . Значит, побочного эффекта при регулировании реактивной мощности нет.

Учтем тот факт, что построенные токи $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ СГ являются одновременно токами, отдаваемые СГ в сеть на шины с $U=const$. Из построений видно, что при перевозбуждении (э.д.с. E_3) СГ отдает в сеть реактивную мощность, которая покрывает ее расходование на индуктивную нагрузку сети, а при недовозбуждении (э.д.с. E_1) СГ покрывает расходование реактивной энергии на емкостную нагрузку сети. Так как в промышленных сетях электрическая нагрузка является активно-индуктивной, то недовозбужденный

СГ никакой емкостной реактивной мощности не вырабатывает, а сам потребляет от других СГ, работающих на сеть, реактивную мощность индуктивного характера. Естественно, работа СГ недовозбужденным должна быть исключена.

Отображенная на рис.7.1 зависимость величины тока I СГ от э.д.с. E и, соответственно, от тока возбуждения I_f его, представленная графически, называется **U**-образной характеристикой (рис.7.2). С помощью **U**-образной характеристики можно решить следующие задачи:

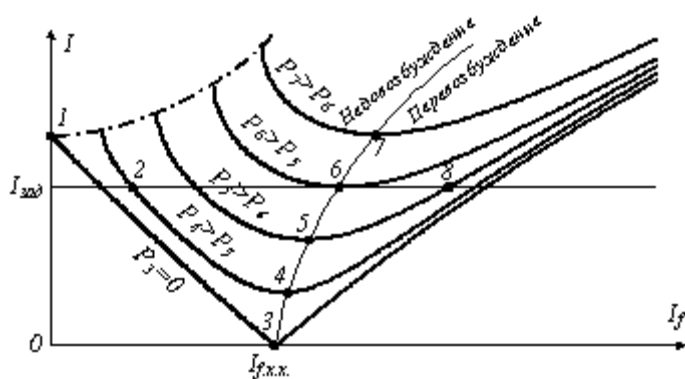


Рисунок 8.2- U-образные характеристики СГ

- 1) определить величину активного тока при заданной мощности, отдаваемой СГ в сеть (точки на линии 3-4-5-6-7);
- 2) при заданном токе СГ определить максимальную активную мощность, которую он может отдать в сеть, например, при отмеченном на рис.4.22 токе $I_{зад}$ максимальная мощность равна P_6 ;
- 3) при заданном токе СГ и его активной мощности P определить значения активной и реактивно составляющих тока, например, при токе $I_{зад}$ и мощности P_6 весь ток активный, а при мощности P_4 активным будет ток I_4 , определенный для точки 4, а реактивным - ток $\sqrt{I_{зад}^2 - I_4^2}$;
- 4) при заданной мощности P , отдаваемой СГ в сеть, определить граничное значение тока возбуждения, разделяющее режимы недовозбуждения и перевозбуждения (линия 3-4-5-6-7).

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ
приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник		~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	-0...250В/3 А(якорь)/ - 200 В / 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40В / 3,5 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	100 Вт/~230 В / 1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь)/2×110 В/0,25 А (возбуждение)
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	3*80В·А;230В/242,23 5,230,226,220,133,12 7 В
A6	Трёхполюсный выключатель	301.1	400 В / 10 А
A14	Линейный реактор	314.2	3×0,3 Гн / 0,5 А
A17	Блок синхронизации	319	~ 400 В; 2 А; 3 индикаторные лампы; синхроноскоп
P1	Блок мультиметров	508.2	3мультиметра~0.. .1000В/ ~0...10А / 0...20МОм
P2	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В/ 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

P4	Измеритель напряжений и частот	504.1	$\sim 0 \dots 500 \text{ В}; 45 \dots 55$ $\text{Гц}, \sim 220 \text{ В}$
P5	Указатель угла нагрузки синхронной машины	505.2	$-180^\circ \dots 0 \dots 180^\circ$

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для

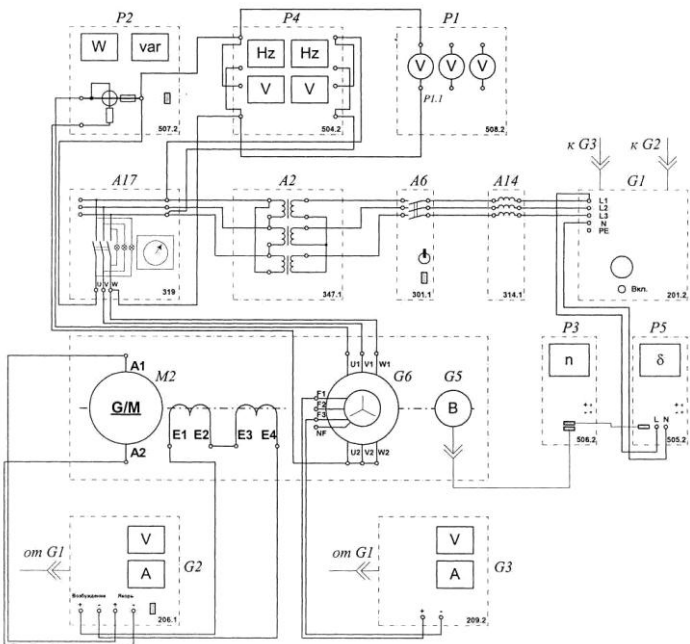


Рисунок 7.3- Электрическая схема соединений

питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока M2, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока G6, работающей в режиме синхронного генератора.

Синхронный генератор G6 связан с сетью (источником G1) через блок синхронизации A17, трехфазную трансформаторную группу A2, выключатель A6 и линейный реактор A14, моделирующий сопротивление электрической сети.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

С помощью мультиметра блока P1 контролируется линейное напряжение статорной обмотки генератора G6.

С помощью измерителя P2 контролируются активная и реактивная мощности, развиваемые испытуемым генератором G6.

С помощью измерителя P4 контролируются напряжения и их частоты со стороны генератора G6 и со стороны электрической сети.

С помощью указателя P5 контролируется угол нагрузки синхронного генератора G6.

Указания по проведению эксперимента

- Осуществите подключение к сети синхронного генератора G6 методом точной синхронизации.
- Установите тумблер указателя угла нагрузки P5 в положение «200°».
- Включите выключатель "СЕТЬ" указателя угла нагрузки P5.
- Вращая регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3, установите активную P_1 и реактивную Q_1 мощности генератора G6 равными нулю.
- Потенциометрами «ГРУБО» и «ТОЧНО» установите стрелку указателя угла нагрузки P5 на нулевую отметку.
- Установите тумблер указателя угла нагрузки P5 в положение «100°».

P, Вт										
Q, В·Ар										

- Используя данные табл. 2.10.1 и 2.10.2, постройте искомые угловые характеристики $P=f(\theta)$, $Q=f(\theta)$, $U=f(\theta)$ трехфазного синхронного генератора.

*Снятие U – образной характеристики $I = f(I_s)$
трехфазного синхронного генератора*

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	-0...250 / 3 А (якорь) /- 200 В / 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40В / 3,5 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	100 Вт/~230 В / 1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь)/ 2×110 В/0,25 А (возбуждение)
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	3*80В·А; 230В/242,235, 230, 226, 220, 133,127 В
A6	Трехполюсный выключатель	301.1	~400 В / 10 А

A17	Блок синхронизации	319	~400В;2А;3 индикаторные лампы; синхроноскоп
P1	Блок мультиметров	508.2	3мультиметра~0... 1000 В / ~0...10А / 0...20МОм
P2	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В/ 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹
P4	Измеритель напряжений и частот	504.1	~0...500В;45...55 Гц,~220В

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока M2, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока G6, работающей в режиме синхронного генератора.

Синхронный генератор G6 связан с сетью (источником G1) через блок синхронизации A17, трехфазную трансформаторную группу A2 и выключатель A6.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

С помощью мультиметров блока P1 контролируются ток возбуждения и ток статорной обмотки генератора G6.

С помощью измерителя P2 контролируются активная и реактивная мощности, развиваемые испытуемым генератором G6.

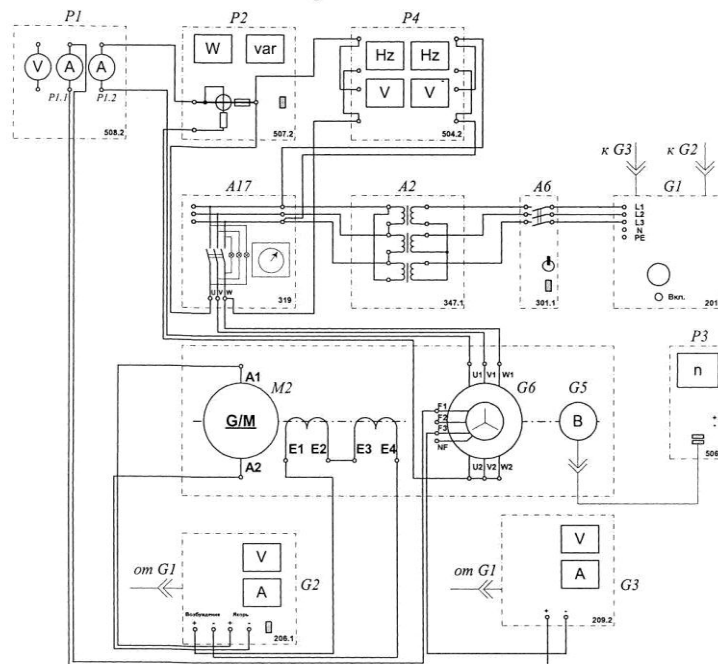


Рисунок 7.4- Электрическая схема соединений

С помощью измерителя P4 контролируются напряжения и их частоты со стороны генератора G6 и со стороны электрической сети.

Указания по проведению эксперимента

- Осуществите подключение к сети синхронного генератора G6 методом точной синхронизации.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите желаемую активную мощность генератора G6, например, 30 Вт, которую определяйте утроением показаний ваттметра измерителя P2, и поддерживайте её в ходе эксперимента неизменной.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток возбуждения I_b генератора G6 (не превышая значения 2 А) и записывайте

показания амперметров P1.1 (ток I_B) и P1.2 (ток I статорной обмотки генератора G6) в таблицу 1.1.

Таблица 1.3.

I_B, A											
I, A											

- В случае перехода генератора G6 в асинхронный режим работы разгружайте его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа генератора с сетью.

- По завершении эксперимента произведите отключение генератора G6 от сети. Используя данные табл. 1.1. постройте искомую U-образную характеристику $I=f(I_B)$ трехфазного синхронного генератора.

Контрольные вопросы

1. Почему геометрическими местами концов векторов э.д.с. и токов статора являются прямые линии?
2. Почему нет прямой пропорции между токами возбуждения и статора СГ?
3. Какие задачи могут быть решены с использованием **U** -образной характеристики?

Лабораторная работа №8

Тема: Регистрация и отображения на компьютере тока трехфазного короткого замыкания синхронного генератора.

Цель работы: Рассмотреть регистрацию и отображение на компьютере тока трехфазного короткого замыкания синхронного генератора

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоритическая часть:

В процессе эксплуатации синхронных генераторов возможны эксплуатационные короткие замыкания, которые происходят внезапно при полном напряжении сети, поэтому их называют внезапными. Они могут возникать вследствие пробоя изоляции фаз на каком – либо участке сети (при земляных работах, например). Возникающие при этом токи короткого замыкания могут превышать номинальный ток СГ в десятки раз. Эти токи могут оказывать термическое действие на обмотки СГ, но так как защита достаточно быстро сработает и отключит короткозамкнутый участок, то обмотки генератора за доли секунды перегреться не успеют. Но токи короткого замыкания могут оказывать динамическое действие на обмотки, из – за чего возникают большие динамические усилия в обмотках, способные разрушить СГ. Поэтому учет этих токов и умение их рассчитывать на стадии проектирования СГ очень важны.

Дело в том, что токи установившегося короткого замыкания, которые могут иметь место при затухании переходных процессов при коротком замыкании или при замыкании СГ при отсутствии тока возбуждения и последующем плавном увеличении тока возбуждения, составляют небольшую

величину по сравнению с номинальным током и могут быть даже меньше его. При внезапном коротком замыкании при полном токе возбуждения ударные токи могут кратковременно (доли сек.) превышать номинальный ток СГ в несколько раз. Особенно большие токи внезапного короткого замыкания могут быть в явнополюсных СГ (например, в гидрогенераторах).

Рассмотрим явления при трехфазном коротком замыкании на выводах машины. Симметричное трехфазное короткое замыкание обмотки якоря происходит при работе машины на холостом ходу, а частота вращения, насыщения и напряжения, приложенное к обмотке возбуждения, не изменяются.

При внезапном коротком замыкании можно считать, что потокосцепление обмотки якоря остается неизменным ($\psi = \text{const}$). Активное сопротивление обмотки якоря значительно меньше индуктивного, поэтому в уравнении:

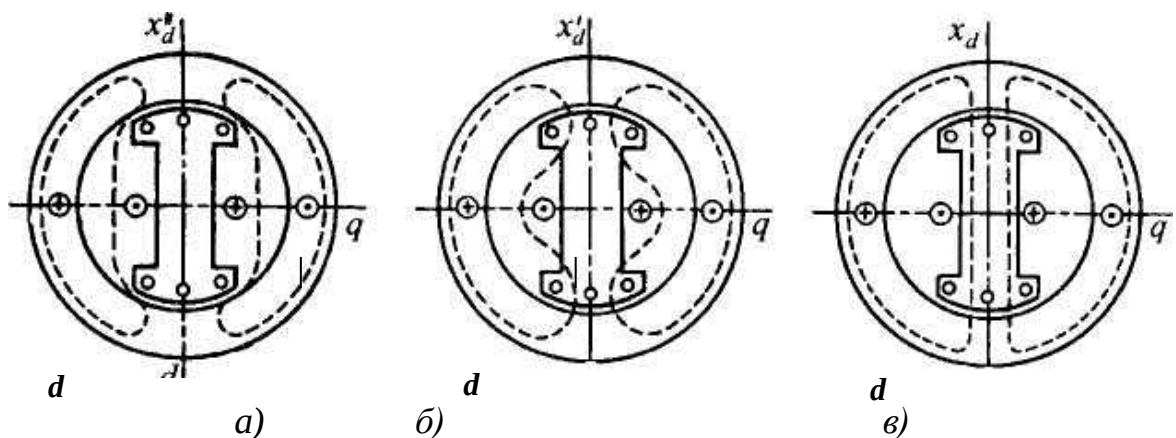


Рисунок 8.1- Состояния синхронной машины в оси d при переходном процессе

$$-\frac{d\Psi}{dt} = ri,$$

при $r = 0$

$$\frac{d\Psi}{dt} = 0$$

и $\psi = \text{const.}$

В первый момент короткого замыкания ток якоря создает магнитный поток, который начинает проникать в ротор. Исходя из постоянства потокоцепления при изменении тока в статоре, можно сделать вывод, что в обмотках ротора возникает дополнительный ток, препятствующий проникновению потока статора в ротор.

На рис.8.1 показано два состояния, качественно характеризующих процессы в синхронной машине по оси d при переходном процессе. При изменении тока в якоре в первый момент демпферная обмотка препятствует проникновению потока в обмотку возбуждения. Это положение определяется сверхпереходным сопротивлением x_d'' (рис. 8.1 а). После того, как поток проник в демпферную обмотку, изменению его препятствует обмотка возбуждения. Это состояние машины характеризуется переходным сопротивлением x_d' (рис. 8.1 б). В установившемся режиме машина имеет по продольной оси сопротивление x_d (рис. 8.1 в).

Сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси x_d'' и переходное сопротивление x_d' характеризуется соответствующими схемами замещения, показанными на рис. 8.2.

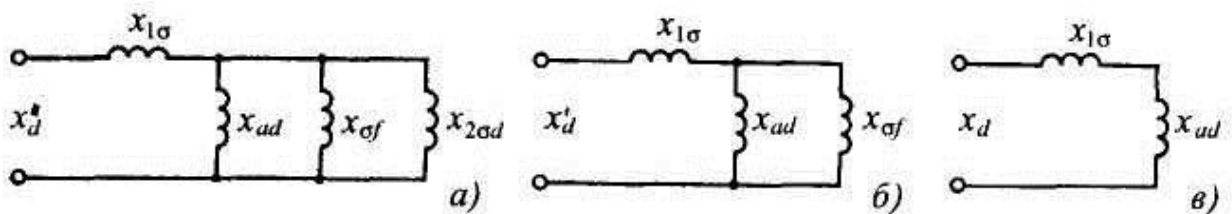


Рисунок 8.2- Схемы замещения, характеризующие состояние машины в переходном процессе по оси d

Во всех схемах замещения сопротивления приведены к обмотке якоря. Сверхпереходное сопротивление x_d'' определяется параллельным соединением индуктивного сопротивления $x_{2\sigma d}$, учитывающего влияние демпферной обмотки, и

сопротивления $x_{\sigma f}$, учитывающего влияние обмотки возбуждения на переходный процесс.

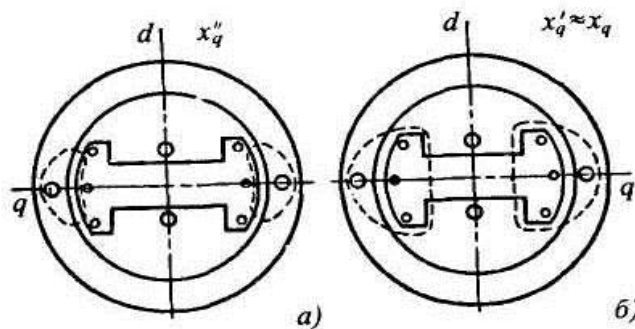


Рисунок 8.3-Состояние синхронной машины по оси q при переходном процессе

При отсутствии демпферной обмотки переходное сопротивление x_d' определяется установившимся сопротивлением реакции якоря x_{ad} и сопротивлением $x_{\sigma f}$, учитывающим демпфирующие свойства обмотки возбуждения.

Сопротивления $x_{\sigma f}$ и $x_{2\sigma d}$ значительно меньше, поэтому $x_d'' < x_d' < x_d$. В относительных единицах $x_d'' = 0,1 \div 0,3$, $x_d' = 0,25 \div 0,4$.

По поперечной оси машины при активном токе в обмотке якоря в процессе изменения тока в обмотках при постоянстве потокосцепления процессы протекают подобно тому, как они протекают по продольной оси. В начальный момент машина с демпферной обмоткой характеризуется сверхпереходным индуктивным сопротивлением x_q'' (рис. 8.3, а). Переходное индуктивное сопротивление по поперечной оси машины x_q' характеризует машину в переходном процессе без демпферной обмотки (рис. 8.3, б).

Сопротивление $x_{2\sigma q}$ характеризует демпфирующее влияние демпферной обмотки по оси q .

Для сверхпереходного и переходного сопротивлений по поперечной оси, так же, как и для соответствующих сопротивлений по продольной оси, могут быть предложены эквивалентные схемы замещения (рис. 8.4, а, б).

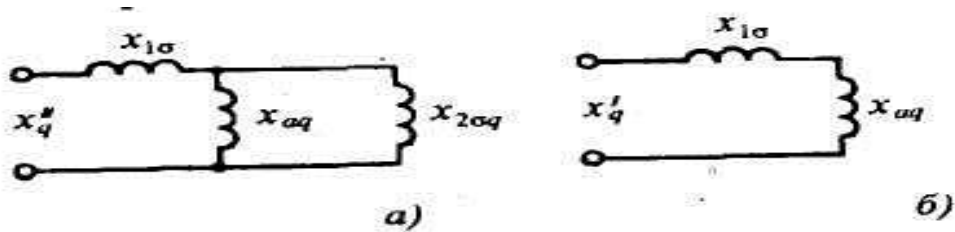


Рисунок 8.4- Схемы замещения, характеризующие состояние машины по оси q

Хотя $x_d > x_q$, обычно $x_d'' \leq x_q''$. Это объясняется тем, что по перечной оси меньше демпфирующих контуров. Для турбогенераторов $x_q'' = 0,12 \div 0,25$, а для гидрогенераторов $x_q'' = 0,15 \div 0,35$.

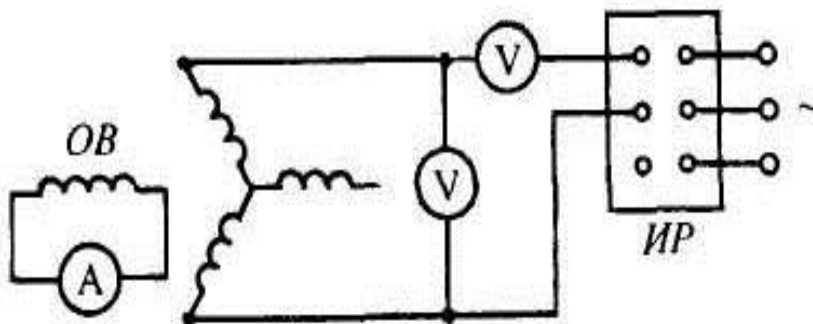


Рисунок 8.5- Схема опытного определения x_d'' и x_q'' .

Опытным путем параметры x_d'' и x_q'' могут быть найдены по данным следующих опытов: 1) внезапного трехфазного короткого замыкания; 2) опыта восстановления напряжения; 3) при пульсирующем поле обмотки статора и произвольном положении ротора; 4) при пульсирующем поле обмотки статора и установке ротора в продольном и поперечном направлениях. В последнем опыте осуществляют медленное вращение ротора в пульсирующем поле статора при замкнутой амперметром обмотке возбуждения (рис. 8.5). При проведении опыта на машину подают пониженное напряжение и по максимальному и минимальному значениям токов находят сверхпереходные сопротивления:

$$x_d'' = \frac{U}{2I_{\max}};$$

$$x_q'' = \frac{U}{2I_{\min}}.$$

При повороте ротора ось поля попеременно совпадает с продольной и поперечной осями машины и ток определяется сопротивлениями по продольной и поперечной осям машины. Близкие процессы имеют место и при коротком замыкании.

В машине без демпферной обмотки, таким образом, определяются x_d' и x_q'

Определение опытным путем индуктивного сопротивления обратной

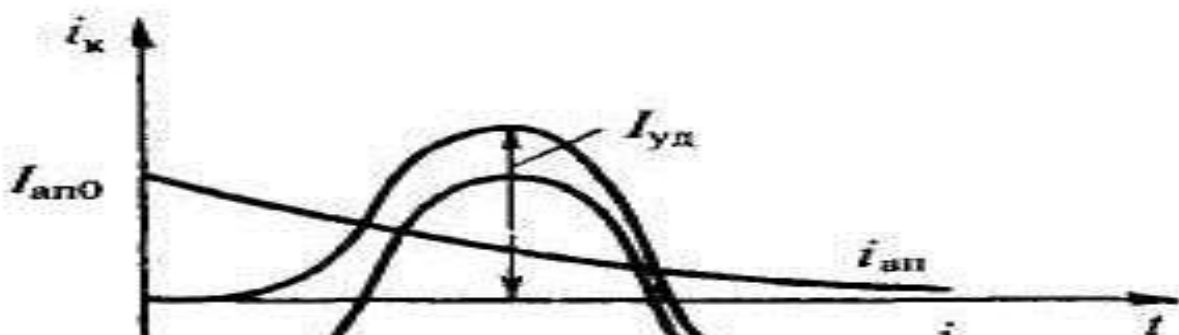


Рисунок 8.6- Трехфазное короткое замыкание
синхронного генератора

последовательности и сверхпереходных параметров отличается лишь тем, что при определении x_2 частота вращения номинальная, а при определении x_d'' и — близка к нулю. Значения x_2 и x_d'' обычно близки друг другу.

При коротком замыкании в токах обмотки якоря есть периодические и аperiodические составляющие (рис. 8.6). Периодические составляющие i_p создают вращающееся поле, неподвижное относительно ротора. Аperiodические составляющие i_{ap} создают неподвижное относительно обмоток статора магнитное

поле, которое в обмотках ротора наводит переменные токи частоты сети. Начальное значение аperiodических токов в фазах обмотки статора зависит от момента, когда произошло короткое замыкание. На рис. 8.6 показан момент короткого замыкания, когда аperiodический ток максимален.

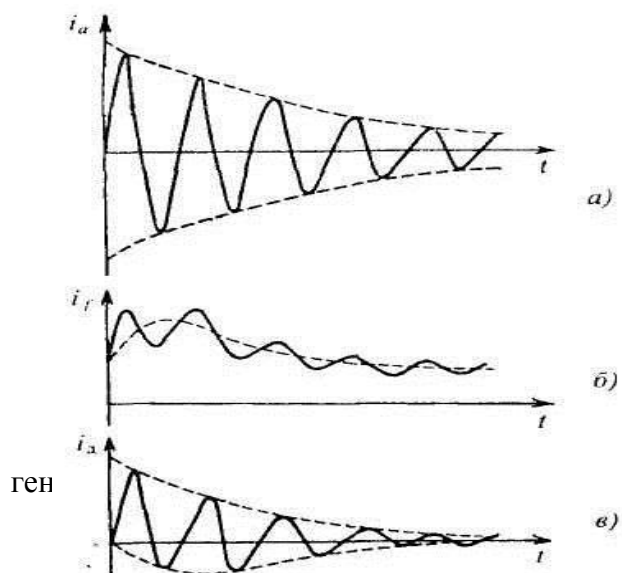
Наиболее опасно для синхронной машины ударное значение тока короткого замыкания, которое для машины с демпферной обмоткой может быть принято равным:

$$I_{y\partial} = 1,8 \frac{\sqrt{2} \cdot 1,05 U_{ном}}{x_d''},$$

а для машин без демпферной обмотки

$$I_{y\partial} = 1,8 \frac{\sqrt{2} \cdot 1,05 U_{ном}}{x_d'},$$

Иногда вводят понятие кратности ударного тока



В (2) (4) коэффициент 1,8 учитывает затухание аperiodической составляющей и принимается на 5% завышенное пружения. Наибольшему воздействию токов короткого замыкания подвергаются лобовые части обмоток статора, которые в турбогенераторах

имеют большую длину. Для уменьшения деформаций лобовые части обмоток крупных синхронных машин имеют усиленное крепление. Электродинамические усилия в обмотках пропорциональны квадрату токов. Эти усилия стремятся отогнуть лобовые части обмотки к торцевым частям магнитопровода. ГОСТ ограничивает амплитуду токов короткого замыкания $I_{уд}$. Для машин мощностью больше 2 МВт $I_{уд}$ не должно быть больше 15. На рис. 24, а – в представлено изменение токов синхронной машины при коротком замыкании. значение номинального, на Токи в фазах якоря имеют периодическую апериодическую составляющие, затухающие каждая со своей постоянной времени.

На рис. 8.7, а показано изменение тока фазы i_a , когда апериодическая составляющая отсутствует. Переходные токи в обмотке возбуждения и демпферной обмотке изменяются по разным законам, зависящим от постоянных времени обмоток (рис. 8.7, б и в).

При анализе переходных процессов в синхронных машинах можно говорить о достаточно большом числе постоянных времени. Так для обмотки якоря постоянная времени для среднего значения x_d'' и x_q'' .

при отсутствии демпферной обмотки

$$T_a = \frac{x_d' + x_q'}{2\omega r_a}.$$

Вычисляют также постоянные времени обмоток якоря при разомкнутых и замкнутых поочередно обмотках ротора.

Обмотки ротора имеют свои постоянные времени, а в явнополюсной машине рассматриваются еще и постоянные времени по продольной и поперечной осям машины. Наиболее важные постоянные времени машины указываются в каталогах.

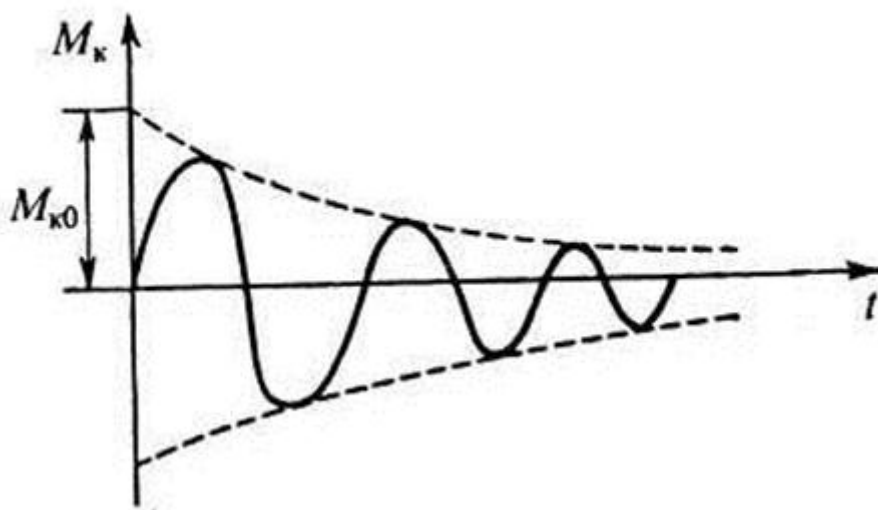


Рисунок 8.8- Момент синхронной машины при коротком
Апериодическом замыкании

ротора

переменные токи, протекающие в обмотке возбуждения (рис. 8.7, б) и демпферной обмотке (рис. 8.7, в), с разными постоянными времени. Демпферная обмотка сглаживает колебания токов в обмотке возбуждения, предохраняя возбудитель от перегрузок по току и перенапряжений. Затухание апериодических токов зависит, в основном, от активных сопротивлений контуров.

При коротком замыкании токи, протекающие в обмотках статора и ротора, создают ударные моменты, действующие на вал машины. Знакопеременные моменты ускоряют и замедляют ротор (рис.8.8).

При этом

$$M_k = M_{k0} e^{-\frac{t}{T_m}} \sin \omega t,$$

где T_m — постоянная времени, определяющая затухание ударного момента, зависящая от постоянной времени обмотки возбуждения и обмотки якоря.

Так как момент пропорционален токам в статоре и роторе, то

$$\frac{M_{k0}}{M_{ном}} \approx 5 \div 15.$$

Такое увеличение момента в переходных процессах необходимо учитывать при расчете на прочность валов и муфт, соединяющих синхронные

генераторы с турбинами. Ударный момент, так же, как и электромагнитный момент в установившемся режиме, приложен и к ротору и к статору, поэтому болты, крепящие машины к фундаменту, должны быть рассчитаны на эти усилия.

Механические воздействия при коротком замыкании более опасны для машины, чем тепловые, хотя эти процессы и кратковременные.

Переходные процессы в синхронной машине связаны не только с электромагнитными, но и с электромеханическими процессами, сопровождающимися колебаниями частоты вращения.

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	~400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	0...250В/3А(якорь))/ - 200 В /1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	-0...40В /3,5 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
G6	Машина переменного тока	102.1	100Вт/~230В / 1500 мин ⁻¹
M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2х110 В /0,25 А (воз- буждение)

A3	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	3 трансформатора напряжения 600 В / 3В; 3 трансформатора тока 0,3 А / 3 В
A4	Коннектор	330	8 аналог, диф. входов; 2 аналог, выходов; 8 цифр, входов / выходов
A5	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows9*, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI-6023E (PCI-6024E)
A6	Трехполюсный выключатель	301.1	~400 В / 10 А
A10	Активная нагрузка	306.1	220 В/3х0...50 Вт;
A15	Индуктивная нагрузка	324.2	220 В/3х0...40 ВАр;
P1	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра ~0...10 00В/~0...10А/0...20 МОм
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением якорной обмотки и нерегулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока M2, работающей в режиме двигателя с независимым возбуждением.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока G6, работающей в режиме синхронного генератора.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Нагрузки - активная A10 и индуктивная A15 используются для нагружения синхронного генератора G6.

Измерительный трансформатор тока (трансдуктор) в блоке A3 обеспечивает гальваническую развязку силовой и измерительной цепей и преобразует ток статорной обмотки генератора G6 в пропорциональное ему нормированное напряжение.

Через аналоговый вход ACH0-ACH8 коннектора A4 измеряемое напряжение вводится в компьютер A5.

Выключатель A6 используется в режиме короткозамыкателя.

С помощью мультиметров блока P1 контролируются ток статорной обмотки и линейное напряжение синхронного генератора G6.

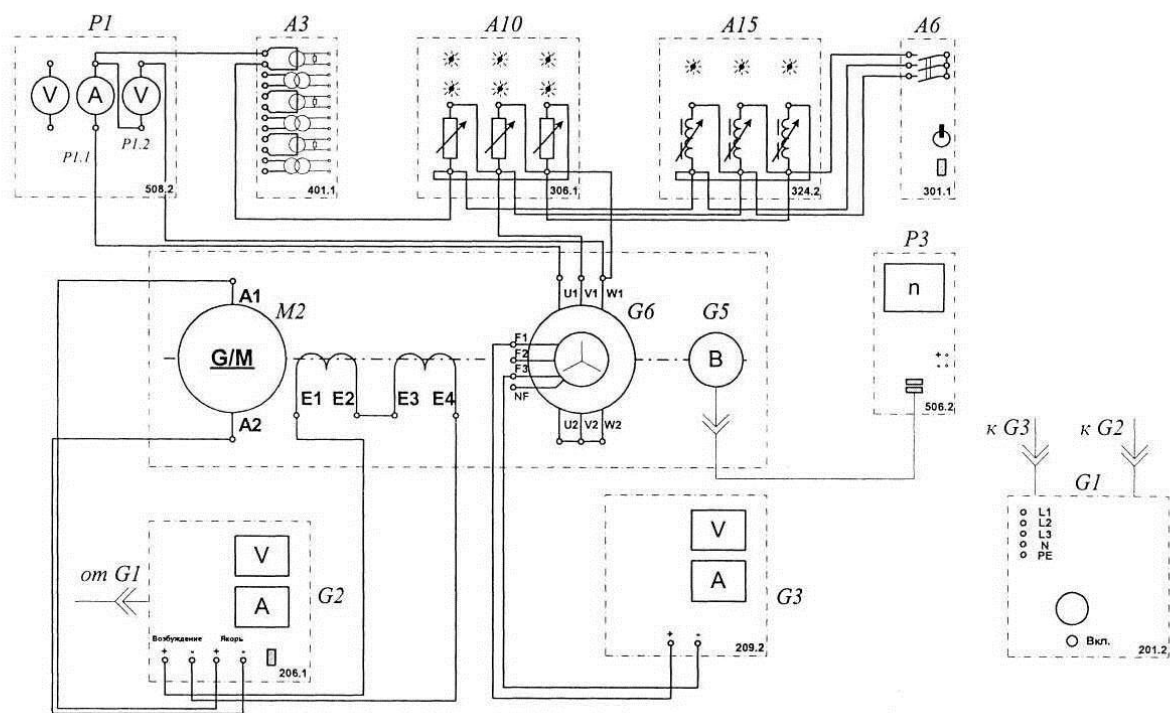


Рисунок 8.9 - Электрическая схема соединений

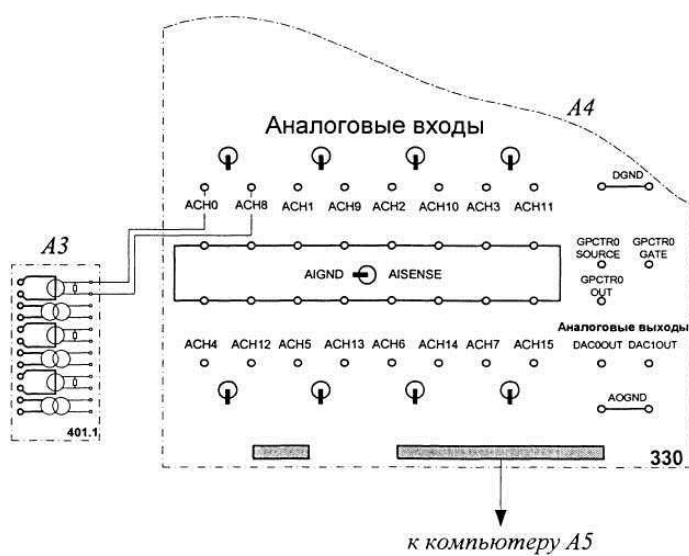


Рисунок 8.10- Электрическая схема соединений
(продолжение)

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (Приложение Б).
- Соедините гнезда защитного заземл.1 устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений. Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3 и выключателя А6 переведите в положение «РУЧН.».
- Регулировочными рукоятками активной А10 нагрузки установите ее значения равными, например, 20% от 50 Вт в каждой фазе.
- Регулировочными рукоятками индуктивной А15 нагрузки установите ее значения равными, например, 15% от 40 Вар в каждой фазе.
- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите выключатели «СЕТЬ» указателя частоты вращения Р3 и блока мультиметров Р1
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ.» источника G2.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя М2 (генератора G6) 1500 мин^{-1} .
- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ.» возбудителя G3.

- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите междофазное напряжение генератора G6, например, 220 В.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А5 и запустите прикладную программу "Многоканальный осциллограф". Настройте программу для запоминания, например, последних 5 секунд процесса.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» включения сканирования первого канала виртуального осциллографа.
- Включите выключатель «СЕТЬ» выключателя А6.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» и спустя 3с (**не более**) - кнопку «ВЫКЛ» выключателя А6 и еще через 1с после этого остановите сканирование программой «Многоканальный осциллограф» нажатием на виртуальную кнопку «Остановить».
- Изменение во времени тока статорной обмотки генератора G4 при коротком замыкании его выводов наблюдайте на мониторе компьютера.
- По завершении эксперимента поверните регулировочные рукоятки сначала у возбудителя G3, а затем у источника G2 против часовой стрелки до упора, отключите выключатели «СЕТЬ» возбудителя G3, источника G2, указателя частоты вращения P3, выключателя А6 и блока мультиметров P1, отключите источник G1 нажатием на кнопку - гриб и последующим отключением ключа - выключателя.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение характеристике холостого хода и поясните вид графика ее.
2. Дайте определение характеристике короткого замыкания и поясните вид графика ее.
3. Какие величины можно рассчитать по х.х.х. и х.к.з.?
4. Дайте определение нагрузочной характеристике и поясните график ее.

$$T_a=\frac{x_d''+x_q''}{2\omega r_a},$$

Лабораторная работа №9

Тема: Пуск в ход трехфазного синхронного двигателя с регистрацией и отображением режимных параметров на компьютере. Снятие угловых характеристик $P=f(\delta)$, $Q=f(\delta)$, $U=f(\delta)$ синхронного двигателя. Снятие U-образной характеристики $I=f(I_f)$ трехфазного синхронного двигателя

Цель работы: Определить угловые характеристики $P=f(\delta)$, $Q=f(\delta)$, $U=f(\delta)$ синхронного двигателя. Определить U-образные характеристики $I=f(I_f)$ трехфазного синхронного двигателя

Формируемые компетенции:

ОПК-3. Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.

ИД-5_{ОПК-3} Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и электрических машин, использует знание их режимов работы и характеристик.

Теоретическая часть:

Конструктивно синхронный двигатель (СД) ничем не отличается от СГ (рис.4.1,а). Есть только отличия в назначении его обмоток.

На обмотку статора подается сетевое напряжение. Назначением статора является создание им вращающегося магнитного поля протекающими по обмоткам токами. Это поле необходимо для создания вращающего момента СД и оно не считается полем, искажающим поле обмотки возбуждения, как это видится в СГ. Поэтому, эту обмотку в СД не принято называть якорем.

ОВ так же запитывается от возбuditеля, в ней создается ток I_f . Взаимодействием проводников ОВ, обтекаемых током, с вращающимся магнитным полем статора создаёт синхронный вращающий момент M_c СД.

Назначение короткозамкнутой демпферной обмотки типа "беличье колесо" также в корне меняется, и она используется в качестве пусковой обмотки для создания асинхронного вращающего момента M_a на этапе разгона СД от подачи напряжения питания на статор. Однако из-за того, что пусковая

обмотка СД всегда выполняется не глубокопазной вследствие малого места, выделенного для ее размещения в пазах полюсных наконечников ОВ, то пусковые характеристики такой обмотки неудовлетворительные. Главное в том, что пусковая обмотка позволяет получить пусковой момент СД на уровне всего $(0,4...0,5)M_{ном}$.

На этапе разгона ОВ замыкается на активное сопротивление, по ней протекают токи, и она также создаёт асинхронный вращающий момент СД. Совместным действием пусковой обмотки и ОВ удастся поднять пусковой момент СД до $(0,6...0,7)M_{ном}$. Значит, СД должны запускаться максимально разгруженными, что и указывается в паспортных данных СД.

Также из-за того, что стержни пусковой обмотки имеют малое сечение (в сравнении с сечением стержней короткозамкнутой обмотки АД), то во время разгона СД они разогреваются до 300° . Поэтому СД не допускают многократных пусков подряд, что также указывается в паспортных данных СД.

Для СД рассчитываются и используется две механические характеристики:

1) МХ синхронного момента, формула которой точно такая же, как и у СГ, для неявнополюсного и явнополюсного СД, соответственно,

$$M_{c.н} = \frac{3EU}{\omega x_a} \sin \theta, \quad M_{c.я} = \frac{3EU}{\omega x_d} \sin \theta + \frac{3U^2}{2\omega} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta$$

2) МХ асинхронного момента

$$M_a = \frac{2M''_{d.к}}{\frac{s}{s''_{d.к}} + \frac{s''_{d.к}}{s}} + \frac{2M''_{q.к}}{\frac{s}{s''_{q.к}} + \frac{s''_{q.к}}{s}} + \frac{2M'_{d.к}}{\frac{s}{s'_{d.к}(n+1)} + \frac{s'_{d.к}(n+1)}{s}}$$

Асинхронный момент содержит три составляющие;

1. Вращающий момент M''_d , созданный взаимодействием обтекаемой током пусковой обмоткой, расположенной по оси d , с полем статора (первое слагаемое в формуле. Значения критического момента $M''_{d.ε}$ и критического скольжения $s''_{d.ε}$ определяются сопротивлениями пусковой обмотки по оси d с учетом влияния индуктивно связанных с нею обмоткой статора и ОВ.

2. Вращающий момент M''_q , созданный взаимодействием обтекаемой током пусковой обмотки, расположенной по оси q , с полем статора (второе слагаемое в формуле). Значения критического момента $M''_{q,\varepsilon}$ и критического скольжения $s''_{q,\varepsilon}$ определяются сопротивлениями пусковой обмотки по оси q с учетом влияния индуктивно связанной с нею обмоткой статора.

3. Вращающий момент M'_d , созданный взаимодействием обтекаемой током обмоткой возбуждения, расположенной по оси d , с полем статора (третье слагаемое в формуле). Значения критического момента $M'_{d,\varepsilon}$ и критического скольжения $s'_{d,\varepsilon}$ определяются сопротивлениями ОВ с учетом влияния индуктивно связанной с нею обмоткой статора. В этом слагаемом также учтена кратность n пускового сопротивления, на которое замыкается ОВ ($n=5...10$).

Графики асинхронного момента и его составляющих приведены на рис 9.1 и рис.9.2. В диапазоне подсинхронного скольжения s_{nc} на ОВ подается напряжение возбуждения и СД втягивается в синхронизм. Подсинхронное скольжение выбирается равным $0,03...0,05$.

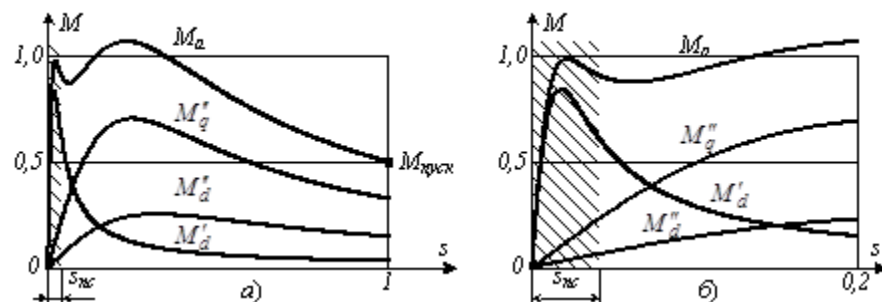


Рисунок 9.1-Асинхронный момент СГ при короткозамкнутой ОВ в диапазоне скольжений от 0 до 1(а) и от 0 до 0,2 (б)

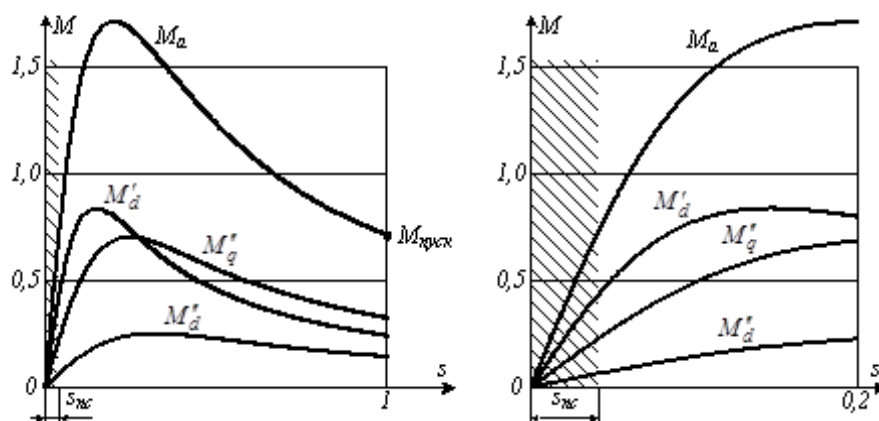


Рисунок 9.2-Асинхронный момент СГ при замкнутой ОВ на $R_{\pi}+8 \cdot R_f$ в диапазоне скольжений от 0 до 1(а) и от 0 до 0,2 (б)

Влияние пускового сопротивления на механическую характеристику неоднозначно.

При разгоне СД с замкнутой накоротко ОВ пусковой момент составляет всего $0,5M_{ном}$, а при замыкании ОВ на 8-кратное пусковое сопротивление пусковой момент увеличивается до $0,72M_{ном}$. Значит на пусковые свойства СД влияние пускового сопротивления положительное.

На подсинхронной частоте вращения СД подключение пускового сопротивления дает отрицательный результат – асинхронный момент снижается практически вдвое. СД с подключенным пусковым сопротивлением может просто не достичь малого подсинхронного скольжения и СД и синхронизация окажется невозможной.

Так же как и у СГ возбудители СД могут быть статическими и электромашинными. Схемы пуска СД приведены на рис.9.3.

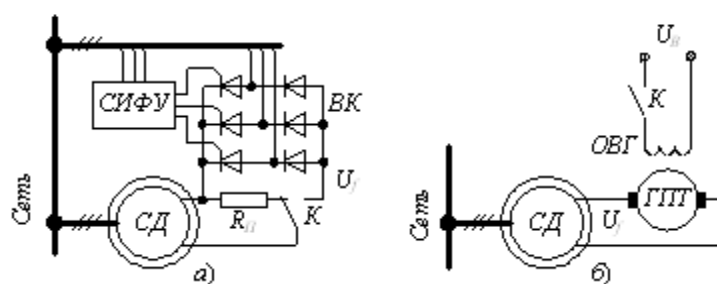


Рисунок 9.3- Схема пуска синхронного двигателя

В схеме пуска со статическим возбудителем (рис.9.3,а) ОВ СД сначала

замкнута на пусковое сопротивление R_{Π} , что обеспечивает максимально быстрый разгон СД с повышенным пусковым моментом (рис.8.2,б). Во время быстрого разгона выделяется меньше тепла в пусковой короткозамкнутой обмотке. При достижении подсинхронного скольжения контактором K отключается пусковое сопротивление R_{Π} от ОВ и на нее подается напряжение возбуждения U_f . СД втягивается в синхронизм, переходя с асинхронной механической характеристики (9.2) на синхронную (9.3). Так как при разгоне СД с пусковым сопротивлением R_{Π} асинхронный момент значительно понижается при подходе к подсинхронному скольжению, и переключение ОВ на питание от возбудителя всегда происходит при большом скольжении (ближе к 0,05), то при втягивании в синхронизм на ОВ СД подается повышенное (форсированное, больше номинального) напряжение возбуждения.

В схеме пуска с электромашинным возбудителем (рис.8.3,б) ОВ СД наглухо замкнута на якорь ГПТ, который вначале не возбужден – контактор K в цепи ОВ возбудителя разомкнут. Пусковой момент при таком разгоне минимальный (рис.8.1). Разгон протекает долго, за время разгона пусковая короткозамкнутая обмотка СД успевает сильно разогреться. Однако в районе подсинхронного скольжения асинхронный момент СД высокий, что позволяет легко достичь малого подсинхронного скольжения (около 0,02...0,03). Затем замыкается контактор K в цепи ОВ генератора постоянного тока, на его выходе устанавливается напряжение, которое подается на ОВ СД. СД втягивается в синхронизм.

К рабочим характеристикам СД относятся МХ асинхронного, синхронного моментов и регулировочные характеристики реактивного тока (реактивной мощности). МХ СД были рассмотрены в предыдущей теме. Для расчета регулировочных характеристик используем упрощенное уравнение неявнополюсного СД

$$\dot{U} = \dot{E} + jx_a \dot{I},$$

где $\dot{U}, \dot{E}$ - напряжение сети и э.д.с., наведенная полем обмотки возбуждения;

$jx_a \dot{I}$ - падение напряжения на обмотке статора СД.

Векторные диаграммы СД, построенные по при различных значениях э.д.с. E , пропорциональных току возбуждения I_f , приведены на рис.9.4.

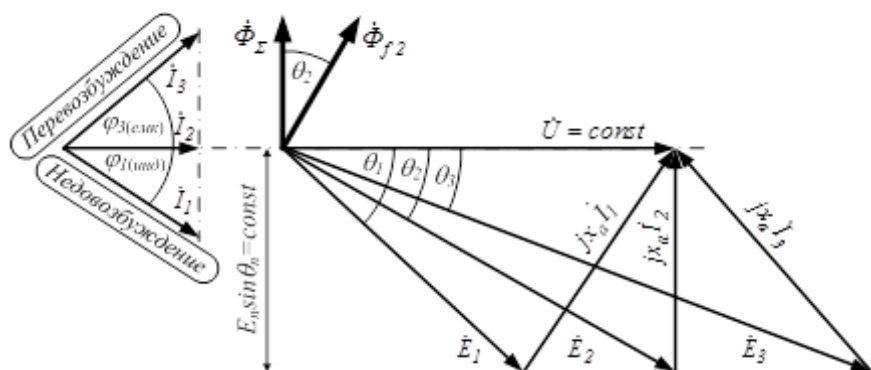


Рисунок9.4-Векторные диаграммы СД с регулируемым возбуждением

Из построений видно, что при перевозбуждении (самая большая э.д.с. E_3) СД потребляет из сети активно-емкостной ток I_3 . Значит, перевозбужденный СД компенсирует в сети реактивный ток индуктивного характера, позволяет снизить выработку синхронными генераторами индуктивного тока и в таком случае в сети электроснабжения можно не устанавливать косинусные конденсаторы. Вращающийся ротор, на котором расположена обмотка возбуждения, создающая поле Φ_f , постоянно догоняет вращающееся магнитное поле Φ_s статора.

Достоинства СД:

- обеспечивают постоянство частоты вращения независимо от величины механической нагрузки на валу;
- его можно использовать по альтернативному назначению - компенсации в сети реактивной мощности индуктивного характера;
- менее чем АД чувствительны к понижениям напряжения U в сети, так как синхронный момент СД зависит от U , а у АД зависит от U^2 .

Недостатки СД:

- сложный алгоритм, схема пуска и высокая стоимость схемы пуска, из-за чего применение СД экономически оправдывается при их мощности свыше 100 кВт и, как правило, высоковольтных (6 и 10 кВ);

- в случае выпадения СД из синхронизма возникает опасный для сети аварийный режим с токами, достигающими двойных токов короткого замыкания.

Указание по технике безопасности:

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	~ 400 В / 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	– 0...250 В / 3 А (якорь) / – 200 В / 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	– 0...40 В / 3,5 А
G4	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2×110 В / 0,25 А (возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / ~ 230 В /1500 мин⁻¹
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	3×80 В·А / 230 В/242,235, 230, 226, 220, 133, 127 В
A4	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выходов; 8 цифр. входов /выходов

A5	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows 9*,монитор, мышь,клавиатура,плата сбора информации PCI-6023E (PCI-6024E)
A6, A8	Трехполюсный выключатель	301.1	~ 400 В / 10 А
A9	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	307.1	$3 \times 0 \dots 40 \text{ Ом} / 1 \text{ А}$
A10	Активная нагрузка	306.1	220 В / $3 \times 0 \dots 50 \text{ Вт}$;
A12	Блок датчиков тока и напряжения	402.3	3 датчика напряжения $\pm 100; 1000 \text{ В} / \pm 5 \text{ В}$; 3 датчика тока $\pm 1; 5 \text{ А} /$ $\pm 5 \text{ В}$
A14	Линейный реактор	314.2	$3 \times 0,3 \text{ Гн} / 0,5 \text{ А}$
P3	Указатель частоты вращения	506.2	$-2000 \dots 0 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока G4, работающей в режиме генератора с независимым возбуждением.

Активная нагрузка A10 используется для нагружения генератора G4.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока M1, работающей в режиме синхронного двигателя.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Машина (синхронный двигатель) M1 получает питание от источника G1 через трехфазную трансформаторную группу A2 и выключатель A6.

Реостат A9 выполняет роль резистора синхронизации и подключается выключателем A8 к обмотке возбуждения синхронного двигателя M1 на этапе пуска последнего.

С помощью линейного реактора моделируется сопротивление кабеля, питающего двигатель M1.

Датчики тока и напряжения в блоке A12 обеспечивают гальваническую развязку силовой и измерительной цепей и преобразуют ток и напряжение статорной обмотки испытуемого двигателя M1 в пропорциональные им нормированные напряжения.

Через аналоговые входы ACH0-ACH8, ACH1-ACH9, ACH2-ACH10 коннектора A4 напряжения, пропорциональные частоте вращения, току и напряжению статорной обмотки испытуемого двигателя M1, вводятся в компьютер A5.

Электрическая схема соединений

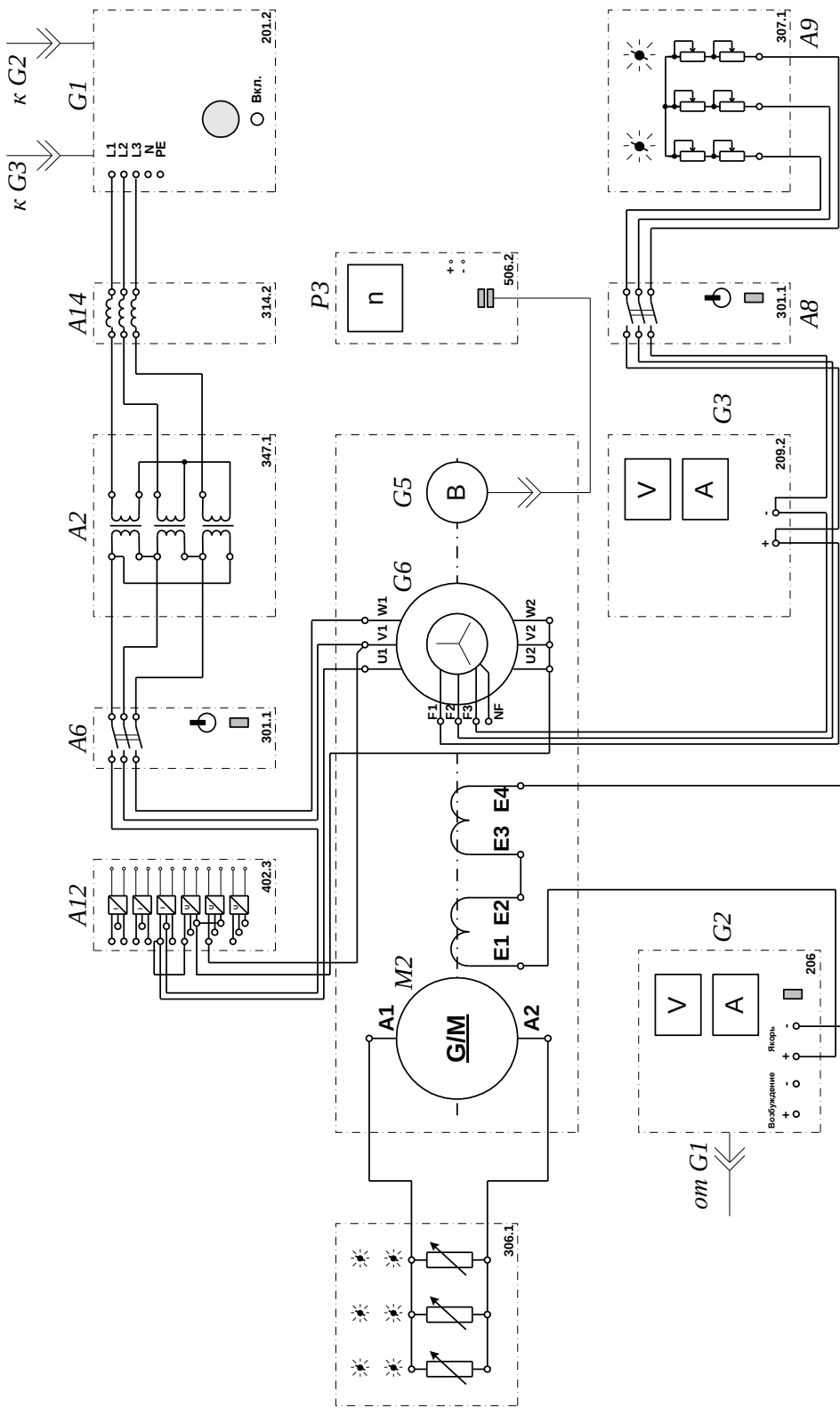


Рисунок 9.5- Электрическая схема соединений

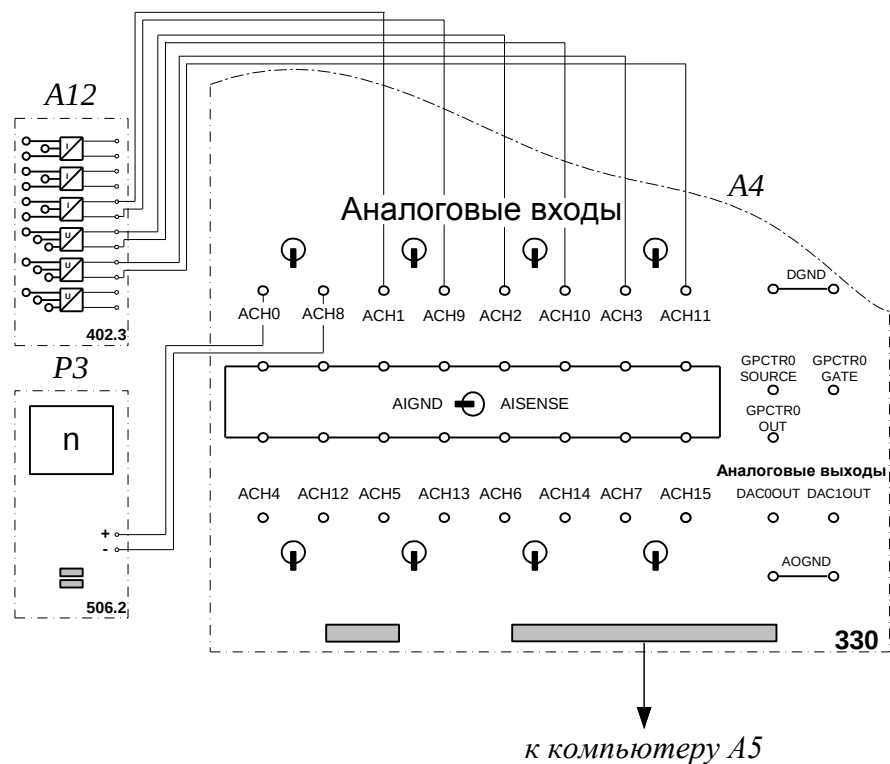


Рисунок 9.6- Электрическая схема соединений (продолжение)

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.(рис 8.5:8,6)
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока. (Приложение Б)
- Соедините гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3 и выключателей A6 и A8 установите в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите в каждой фазе активной нагрузки A10 ее суммарную величину 100 %.

- В трехфазной трансформаторной группе А2 установите номинальное напряжение вторичных обмоток трансформаторов, равное 220 В.
- Установите в каждой фазе реостата А9 суммарное сопротивление 8 Ом.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А5, и запустите прикладную программу «Регистратор режимных параметров машины переменного тока».
- Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей А6 и А8, указателя частоты вращения Р3 и блока А12 датчиков тока и напряжения.
- Включите выключатель А8 кнопкой «ВКЛ».
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Включите выключатель «СЕТЬ» возбудителя G3 и, вращая его регулировочную рукоятку, установите на его выходе напряжение, равное 20 В.
- Включите выключатель «СЕТЬ» источника G2 и, вращая его регулировочную рукоятку, установите напряжение на его выходе, например, 50 В.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» на экране компьютера.
- Нажмите последовательно кнопки «ВКЛ.» источника G2, выключателя А6, возбудителя G3 (после разгона двигателя М1), спустя, например, 5 с кнопку «ОТКЛ.» выключателя А8 и затем не позднее, чем через 10 с, остановите сканирование данных. В результате должен осуществиться пуск нагруженного синхронного двигателя М1 и должны записаться в компьютер данные о режимных параметрах на этапе пуска.
- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

- Используя возможности программы «Регистратор режимных параметров машины переменного тока», проанализируйте отображенные на мониторе компьютера механическую характеристику и временные зависимости тока статорной обмотки, электромагнитного момента, частоты вращения синхронного двигателя при пуске его в ход.

Снятие угловых характеристик $P=f(\delta)$, $Q=f(\delta)$, $U=f(\delta)$
синхронного двигат

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.2	$\sim 400 \text{ В} / 16 \text{ А}$
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	$- 0 \dots 250 \text{ В} / 3 \text{ А}$ (якорь) / $- 200 \text{ В}$ / 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	$- 0 \dots 40 \text{ В} / 3,5 \text{ А}$
G4	Машина постоянного тока	101.2	$90 \text{ Вт} / 220 \text{ В} /$ $0,56 \text{ А}$ (якорь) / $2 \times 110 \text{ В} / 0,25 \text{ А}$ (возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	102.1	$100 \text{ Вт} / \sim 230 \text{ В} /$

			1500 мин ⁻
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	347.1	3×80 В·А /230 В/242,235, 230, 226, 220, 133, 127 В
A6, A8	Трёхполюсный выключатель	301.1	~ 400 В / 10 А
A9	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	307.1	3 × 0...40 Ом / 1 А
A10	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3×0...50 Вт;
A14	Линейный реактор	314.2	3 × 0,3 Гн / 0,5 А
P1	Блок мультиметров	508.2	3мультиметра0...1000 В /0...10 А /0...20 МОм
P2	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В /0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	506.2	2000...0...2000 мин ⁻¹
P5	Указатель угла нагрузки синхронной машины	505.2	– 180°...0...180°

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока G4, работающей в режиме генератора с независимым возбуждением.

Активная нагрузка A10 используется для нагружения генератора G4.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока M1, работающей в режиме синхронного двигателя.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Машина (синхронный двигатель) M1 получает питание от источника G1 через трехфазную трансформаторную группу A2 и выключатель A6.

Реостат A9 выполняет роль резистора синхронизации и подключается выключателем A8 к обмотке возбуждения синхронного двигателя M1 на этапе пуска последнего.

С помощью линейного реактора моделируется сопротивление кабеля, питающего двигатель M1.

С помощью мультиметра блока P1 контролируется линейное напряжение статорной обмотки двигателя M1.

С помощью измерителя P2 контролируются потребляемая активная и потребляемая (развиваемая) реактивная мощности, испытуемым двигателем M1.

С помощью указателя Р5 контролируется угол нагрузки синхронного двигателя

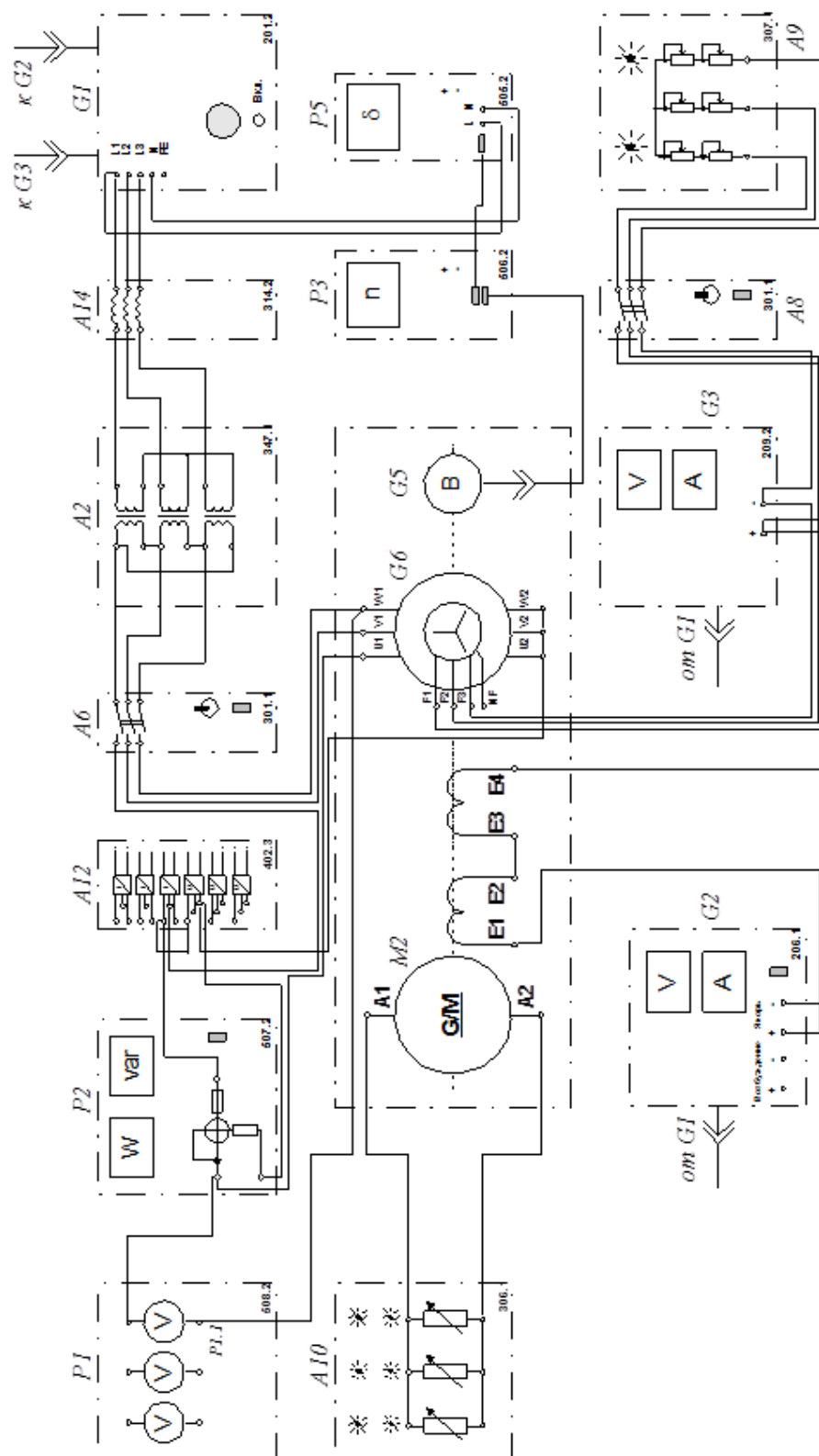


Рисунок 9.7-Электрическая схема соединений

[illegible]

- В случае перехода двигателя М1 в асинхронный режим работы разгружайте его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя М1 с сетью.

- По завершении эксперимента нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1 и отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

- Используя данные табл. 1.2.1, вычислите для каждого значения угла δ и занесите в табл. 1.2.2 полные активную $P=3P_1$ и реактивную $Q=3Q_1$, потребляемые двигателем М1.

Таблица 1.2.2

δ, град										
P, Вт										
Q, ВАр										

- Используя данные табл. 1.2.1 и 1.2.2, постройте искомые угловые характеристики $P=f(\delta)$, $Q=f(\delta)$, $U=f(\delta)$ трехфазного синхронного двигателя.

*Снятие U–образной характеристики $I=f(I_f)$
трехфазного синхронного двигателя*

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания		~ 400 В / 16 А

		01.2	
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	06.1	– 0...250 В /3 А (якорь) /– 200 В / 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	09.2	– 0...40 В / 3,5 А
G4	Машина постоянного тока	01.2	90 Вт / 220 В /0,56 А (якорь) /2×110 В / 0,25 А (возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	04	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина переменного тока	02.1	100 Вт / ~ 230 В / 1500 мин⁻
A2	Трёхфазная трансформаторная группа	47.1	3×80 В·А /230 В/242,235, 230, 226, 220, 133, 127 В
A6	Трёхполюсный выключатель	01.1	~ 400 В / 10 А
A9	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	07.1	3 × 0...40 Ом / 1 А
A10	Активная нагрузка	06.1	220 В / 3×0...50 Вт;
A14	Линейный реактор		3 × 0,3 Гн /

		14.2	0,5 А
P1	Блок мультиметров	08.2	3мультиметра0...100 0 В /0...10 А /0...20 МОм
P2	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В /0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P3	Указатель частоты вращения	06.2	-2000...0...2000 мин ⁻¹

Описание электрической схемы соединений

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока G4, работающей в режиме генератора с независимым возбуждением.

Активная нагрузка A10 используется для нагружения генератора G4.

Возбудитель G3 служит для питания обмотки возбуждения машины переменного тока M1, работающей в режиме синхронного двигателя.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 электромашинного агрегата.

Машина (синхронный двигатель) M1 получает питание от источника G1 через трехфазную трансформаторную группу A2 и выключатель A6.

Реостат A9 выполняет роль резистора синхронизации и подключается выключателем A8 к обмотке возбуждения синхронного двигателя M1 на этапе пуска последнего.

С помощью линейного реактора моделируется сопротивление кабеля, питающего двигатель M1.

С помощью мультиметра блока P1 контролируется линейное напряжение статорной обмотки двигателя M1.

С помощью измерителя P2 контролируется активная мощность, потребляемая испытуемым двигателем M1.

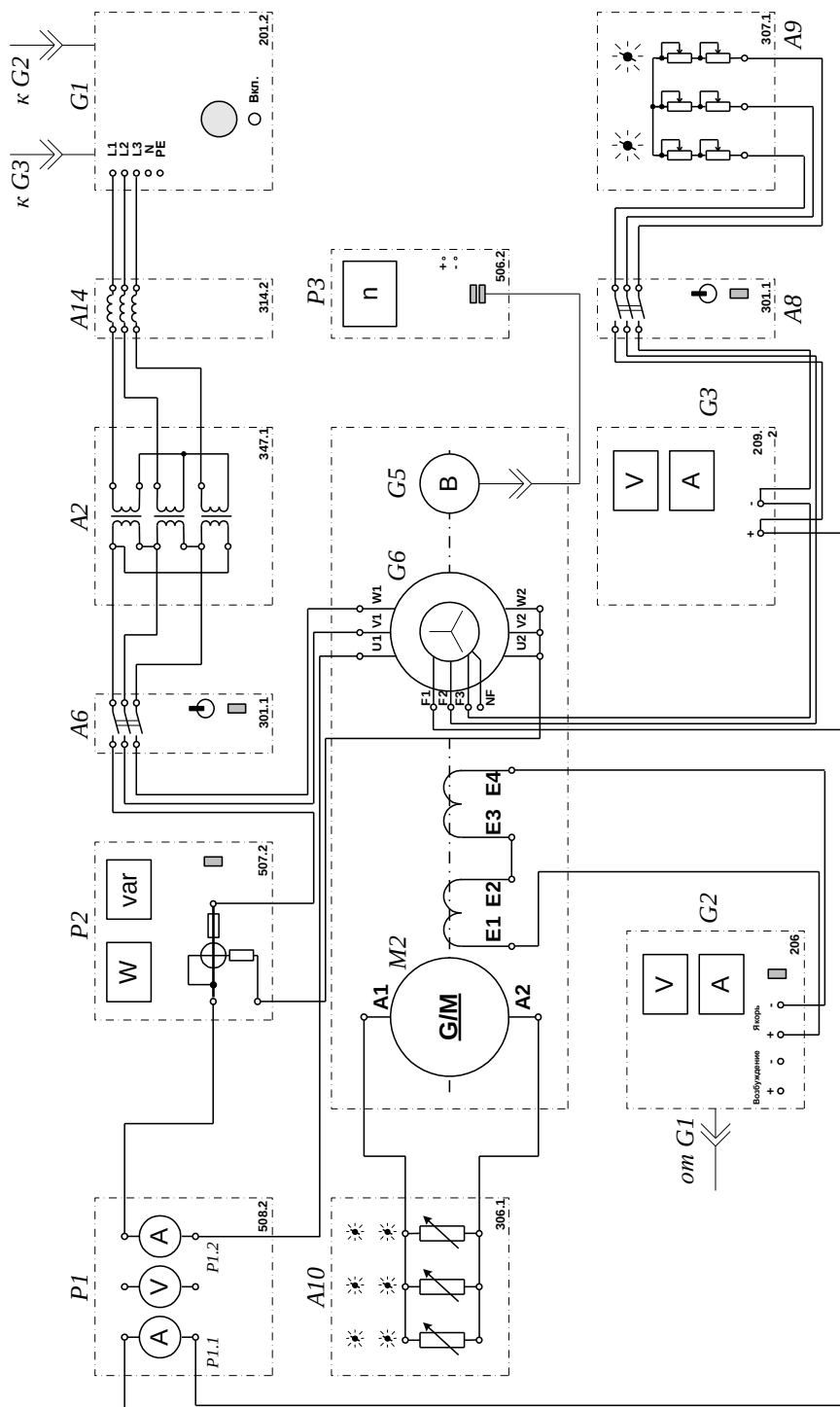


Рисунок 9.8-Электрическая схема соединений

Указания по проведению эксперимента

- Осуществите пуск в ход синхронного двигателя M1 в соответствии с указаниями по проведению эксперимента раздела 6.1 настоящего руководства (без включения источника G2).

- Регулировочную рукоятку источника G2 поверните против часовой стрелки до упора.
- Регулировочные рукоятки нагрузки A10 установите в положение "100%".
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P1.
- Активизируйте мультиметры блока P1, задействованные в эксперименте.
- Включите выключатель "СЕТЬ" и нажмите кнопку "ВКЛ." источника G2.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите полную активную мощность, потребляемую двигателем M1 из сети, например, 60 Вт (определяется утроением показаний ваттметра измерителя P2) и поддерживайте её в ходе эксперимента неизменной.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток возбуждения I_f (в диапазоне до 2 А) двигателя M1 и записывайте показания амперметров P3.2 (ток I_f) и P3.3 (ток I статорной обмотки двигателя) в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

I_f, A										
I, A										

- В случае перехода двигателя M1 в асинхронный режим работы разгружайте его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя M1 с сетью.
- По завершении эксперимента нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1 и отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

- Используя данные табл. 1.3, постройте искомую U–образную характеристику $I=f(I_f)$ трехфазного синхронного двигателя.

Контрольные вопросы

1. Поясните способ использования обмоток СД по назначению.
2. Какие механические характеристики СД рассчитываются и используются для управления СД?
3. Как влияет величина пускового сопротивления в цепи ОВ на пусковой и подсинхронный моменты?
4. Поясните схемы пуска СД, отметив их достоинства и недостатки.
5. Как СД можно использовать для компенсации реактивной мощности индуктивного характера в сети?

Приложение А

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;

- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;

- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест

- без разрешения преподавателя или лаборанта;

- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;

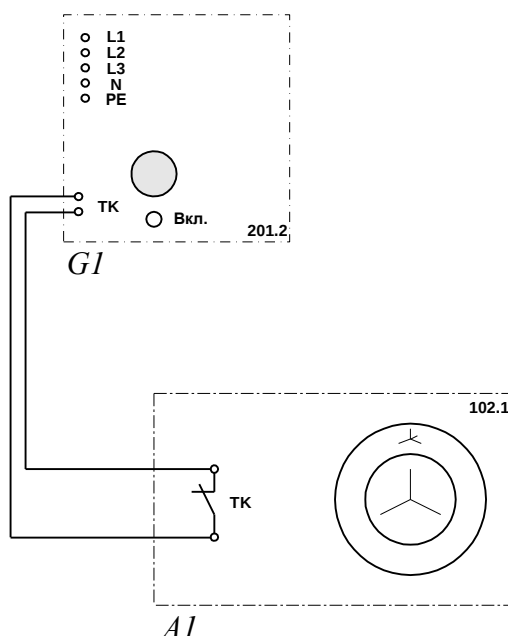
– перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни

Приложение Б

Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока



Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / 230 В ~ / 1500 мин⁻
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~ / 16 А

Перечень основной и дополнительной литературы

Перечень основной литературы:

1. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 182 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34738.html>
2. Дробов А.В. Электрические машины [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2015. — 292 с. — 978-985-503-540-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67795.html>

Перечень дополнительной литературы:

1. Электрические машины [Электронный ресурс] : сборник задач / В. И. Парамонова. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московская государственная академия водного транспорта, 2015. — 72 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46905.html>