

Утверждаю:
Зам. директора по УР
Шпак М.Е.
« 1 » 09 2017 г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ по междисциплинарному курсу
МДК 01.01 Электрические машины и аппараты
профессионального модуля ПМ.01 Организация технического
обслуживания и ремонта электрического и электромеханического
оборудования

Специальность: 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования
(по отраслям)

Форма обучения: Очная, заочная

Рекомендовано методическим советом
ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»
Заключение методического совета,
протокол № 1 от « 1 » 09 2017 г.
председатель методсовета
Шпак М.Е./



Бодайбо, 2017 г.

Учебно-практическое пособие предназначено для выполнения лабораторно-практических работ и разработано на основе ФГОС СПО, утвержденного приказом Минобрнауки России от 28.07.2014 №831 «Об утверждении федерального государственного стандарта среднего профессионального образования по ППССЗ (программе подготовке специалистов среднего звена) 13.02.11 Техническая эксплуатация электрического и электромеханического оборудования (по отраслям), укрупненная 13.00.00 Электро- и теплоэнергетика.

Разработчик:

Грязнов А.В. – преподаватель специальных дисциплин

Рассмотрена и утверждена на заседании предметно-цикловой комиссии

Электро- и электромеханические дисциплины

Протокол № 1 от «31» 08 2017г.

Председатель ПЦК Грязнов А.В. /Пр./

Учебно-практическое пособие предназначено для студентов специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) и соответствует учебной программе профессионального модуля ПМ. 01 Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования.

В пособии представлены общие или индивидуальные задания поисково-творческого и проблемного характера, подробные методические рекомендации по их выполнению, приведены краткие необходимые сведения по теории.

Цель пособия - закрепить главные положения теории и дать возможность сформировать у студентов следующие общие (ОК) и профессиональные (ПК) компетенции:

Код	Наименование результата обучения
ПК 1.1	Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.2	Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.3	Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.4	Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования
ОК 1.	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес
ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество
ОК 3.	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность
ОК 4.	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития
ОК 5.	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 6.	Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями
ОК 7.	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий
ОК 8.	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации
ОК 9.	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности

Методические указания помогут студентам приобрести практические навыки расчетов и построений схем устройства и управления электрическими машинами и аппаратами, усвоить методику расчета и выбора электрических машин и аппаратов для конкретных технологических процессов.

Описанию лабораторных и практических работ предшествуют теоретические сведения, а завершают их контрольные вопросы для самопроверки, которые дают возможность студентам закрепить полученные на теоретических занятиях знания, расширить и углубить их.

Указания содержат методику выполнения лабораторных и практических работ, определяют порядок оформления отчетов, а также список литературы.

Отчет должен содержать следующие сведения:

- 1) Номер и название работы, дату выполнения.
- 2) Цель работы.
- 3) Выполненные задания.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

Объем работы необходимый для выполнения лабораторных и практических работ приведен в таблице 1.

Таблица 1

Лабораторные работы	Объем, м, часов
Исследование режимов работы однофазного двухобмоточного трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания	4
Определение групп соединения трехфазного двухобмоточного трансформатора	4
Исследование принципа работы однофазного автотрансформатора	2
Исследование параллельной работы, условий распределения нагрузки между трансформаторами	4
Исследование способов пуска трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором	4
Исследование принципа работы трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором	2
Исследование принципа работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме	2
Исследование трехфазного синхронного генератора	4
Исследование трехфазного синхронного генератора, включенного на параллельную работу с сетью	4
Исследование работы сельсинов	4
Исследование трехфазного синхронного двигателя	4
Исследование синхронного реактивного конденсаторного двигателя	4
Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения	4
Исследование генератора постоянного тока параллельного возбуждения	4
Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения	4
Исследование двигателя постоянного тока последовательного возбуждения	4
Исследование работы контактора постоянного тока	4
Исследование работы магнитного пускателя	4
Исследование автоматического выключателя	4
Всего	70

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Исследование режимов работы однофазного двухобмоточного трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания

Цель: Ознакомиться с устройством трансформатора; усвоить практические приемы лабораторного исследования трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания.

Студент должен знать:

- принцип действия и устройство силового трансформатора; уметь:
- определять опытным путем потери мощности однофазного трансформатора, строить внешние характеристики и графики зависимости трансформатора.

Теоретическое обоснование

Внешние характеристики. С увеличением нагрузки трансформатора напряжение на клеммах его вторичной обмотки изменяется. Зависимость этого напряжения от нагрузки выражается графически внешними характеристиками трансформатора $U_2 = f(I_2)$.

Вид внешней характеристики зависит от характера нагрузки и от величины коэффициента мощности $\cos\varphi_2$: при активной и активно-индуктивной нагрузках внешние характеристики имеют падающий вид, причем чем меньше коэффициент мощности $\cos\varphi_2$, тем больше наклон характеристики к оси абсцисс; при активно-емкостной нагрузке внешняя характеристика имеет восходящий вид (рис. 1.3, а).

При анализе характеристик х. х. трансформатора следует обратить внимание на их криволинейность, обусловленную магнитным насыщением магнитопровода, наступающим при некотором значении первичного напряжения. Ток х. х. $i_{0ном}$ и мощность х. х. $P_{0ном}$, полученные опытным путем, сравнивают с их значениями по каталогу на исследуемый трансформатор. Значительное превышение опытных значений $i_{0ном}$ и $P_{0ном}$ над каталожными указывает на наличие дефектов в трансформаторе: к. з. между частью пластин в магнитопроводе или межвитковое к. з. в небольшой части витков какой-либо из обмоток.

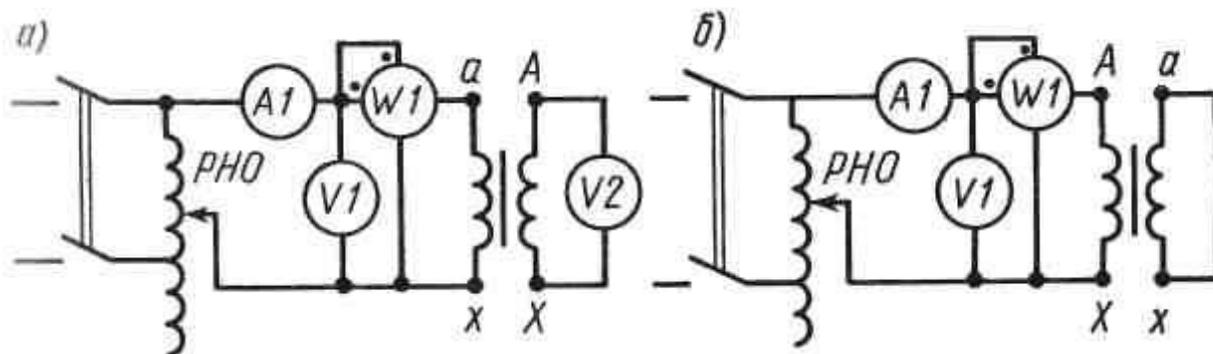


Рисунок 1.1 - Схемы включения однофазного трансформатора при опытах х. х. (а) и к. з. **Ход работы**

1) Опыт холостого хода.

В схеме включения однофазного трансформатора при опыте х. х. применен регулятор напряжения РНО (рисунок 1.1, а), позволяющий плавно регулировать подводимое к первичной обмотке напряжение. В качестве первичной обычно используют обмотку низшего напряжения НН. Всего делают не менее пяти замеров через приблизительно одинаковые интервалы тока х. х., изменяя подводимое к трансформатору напряжение от $0,5U_{1ном}$ до $1,15U_{1ном}$. Показания измерительных приборов заносят в таблицу 1.1.

Затем выполняют расчеты: ток х. х. в процентах от номинального первичного тока,

$$i_0 = (I_0 / I_{1ном})100; \quad (1.1)$$

коэффициент мощности в режиме х. х.

$$\cos\varphi_0 = P_0 / (U_1 I_0); \quad (1.2)$$

коэффициент трансформации

$$k = U_{20} / U_1; \quad (1.3)$$

Полученные значения вычисленных величин занести в таблицу 1.1. Величины, соответствующие номинальному первичному напряжению $U_{1ном}$, следует выделить, например, подчеркнув их жирной линией. По данным таблицы строят характеристики х. х. трансформатора (на общей координатной сетке): $I_0; P_0; \cos\varphi_0 = f(U_1)$. На характеристиках отмечают точки $I_{0-ном}; P_{0-ном}$ и $\cos\varphi_{0-ном}$, соответствующие номинальному напряжению $U_{1ном}$ (рисунок 1.2, а).

2) Опыт короткого замыкания.

При опыте к. з. трансформатора (рисунок 1.1, б) напряжение обычно подводят к обмотке ВН, номинальное значение тока в которой меньше, чем в обмотке НН. В некоторых случаях это позволяет включать ваттметр в первичную цепь без трансформатора тока.

Вторичную обмотку трансформатора замыкают накоротко медным проводом достаточного поперечного сечения, чтобы не создавать во вторичной цепи трансформатора значительного электрического сопротивления.

Опыт к. з. проводят в такой последовательности: устанавливают рукоятку РНО на нулевую отметку, а затем, включив рубильник, медленно повышают напряжение посредством РНО, изменяя величину тока к. з. от нуля до значения $1,2I_{\text{ном}}$. Показания измерительных приборов, снятые через приблизительно одинаковые интервалы тока к. з., а также результаты вычислений заносят в таблицу 1.2. Значения величин, соответствующих значению тока к.з. $I_{1k} = I_{\text{ном}}$, подчеркивают жирной линией.

Затем выполняют расчеты: напряжение к. з. в процентах от номинального первичного напряжения

$$u_k = (U_k/U_{\text{ном}})100; \quad (1.4)$$

коэффициент мощности при опыте к. з.

$$\cos\varphi_k = P_k/(U_k I_k); \quad (1.5)$$

По данным таблицы строят характеристики к. з. (на общей координатной сетке): P_k ; I_k ; $\cos\varphi_k = f(U_k)$. На характеристиках отмечают точки $U_{\text{кном}}$, $P_{\text{кном}}$, соответствующие току к. з. $I_{k1} = I_{\text{ном}}$ (рис. 1.2, б).

Полученные из опыта к. з. значения $P_{\text{кном}}$ и $u_{\text{кном}}$ следует привести к рабочей температуре $\theta_2 = 75^\circ\text{C}$.

Приведенное значение мощности к. з. (Вт)

$$P'_{\text{к.ном}} = P_{\text{к.ном}} [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)] \quad (1.6)$$

где $\alpha = 0,004$ - температурный коэффициент для меди и алюминия;

θ_1 = температура обмоток трансформатора при проведении опыта, $^\circ\text{C}$. В связи с тем что температура обмоток трансформатора влияет лишь на активную составляющую напряжения к. з.

$$u_{\text{ка}} = u_{\text{к.ном}} \cdot \cos\varphi_k \quad (1.7)$$

то и приводить к рабочей температуре следует лишь активную составляющую напряжения к. з.

$$u'_{\text{ка}} = u_{\text{к.ном}} [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)] \quad (1.8)$$

Приведенное к рабочей температуре напряжение к. з.

$$u'_{\text{к.ном}} = \sqrt{u'^2_{\text{ка}} + u'^2_{\text{кр}}} \quad (1.9)$$

где

$$u_{\text{к.р}} = \sqrt{u^2_{\text{к.ном}} + u^2_{\text{к.р}}} \quad (1.10)$$

$u_{\text{к.р}}$ - реактивная составляющая к. з.

При любой нагрузке напряжение на клеммах вторичной обмотки трансформатора

$$U_2 = U_{20}(1 - 0,01 \cdot \Delta U); \quad (1.11)$$

где U_{20} - напряжение на вторичной обмотке в режиме х. х., принимаемое за номинальное напряжение на выходе трансформатора, В;

ΔU - изменение вторичного напряжения, вызванное нагрузкой трансформатора.

Для построения внешней характеристики необходимо рассчитать не менее пяти значений напряжения U_2 при разных значениях коэффициента нагрузки $\beta = I_2/I_{2\text{ном}}$, например при $\beta = 0,25; 0,50; 0,75; 1,0$ и $1,2$.

Расчет ΔU ведут по формуле (%):

$$\Delta U = \beta u'_k (\cos \varphi_k \cos \varphi_2 + \sin \varphi_k \sin \varphi_2) \quad (1.12)$$

Расчеты ΔU выполняют три раза: при $\cos \varphi_2 = 1$, $\cos \varphi_2 = 0,8$ (нагрузка активно-индуктивная) и $\cos \varphi_2 = 0,8$ (нагрузка активно-емкостная). В последнем случае получают отрицательные значения ΔU . Результаты вычислений заносят в таблице 1.3 и строят на общей координатной сетке три внешние характеристики.

Проведя ординату при $\beta = 1,0$ (номинальная нагрузка), отмечают на характеристиках напряжения, соответствующие номинальной нагрузке трансформатора (рисунок 1.3, а).

Зависимость КПД трансформатора от нагрузки. Для построения графика $\eta = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 1$ и $\cos \varphi_2 = 0,8$ определяют КПД трансформатора для ряда значений коэффициента нагрузки $\beta = 0,25; 0,50; 0,75; 1,0$ и $1,2$, воспользовавшись для этого выражением

$$\eta = 1 - \frac{P_{0.ном} + \beta^2 P_{к.ном}}{\beta S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{0.ном} + \beta^2 P_{к.ном}} \quad (1.13)$$

где $S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, В·А.

Результаты вычислений заносят в таблицу 1.4.

По этим данным строят графики $\eta = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 1$ и $\cos \varphi_2 = 0,8$ (рисунок 1.3, б).

Максимальное значение КПД трансформатора соответствует такой нагрузке, при которой электрические потери трансформатора равны магнитным потерям.

Коэффициент нагрузки, соответствующий максимальному значению КПД,

$$\beta' = \sqrt{P_{0.ном} / P_{к.ном}} \quad (1.14)$$

На оси абсцисс отмечают значение β' , и проведя в этой точке ординату, определяют максимальные значения КПД. Максимальное значение КПД можно получить по (1.13), если подставить в это выражение β :

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{P_{0.ном}}{0,5 \beta' S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{0.ном}} \quad (1.15)$$

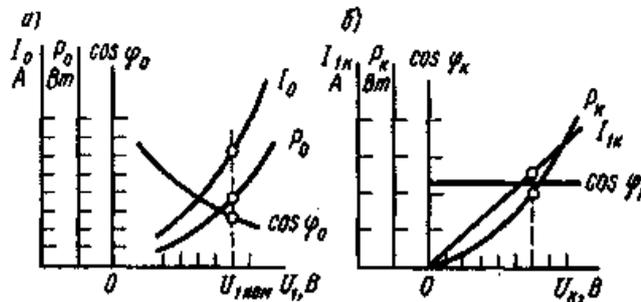


Рисунок 1.2 - Характеристики х. х (а) и к. з. (б) трансформатора

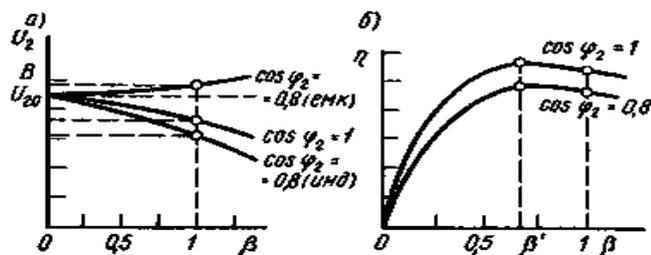


Рисунок 1.3 - Внешние характеристики (а) и графики зависимости КПД трансформатора от нагрузки (б)

Таблица 1.1 – Результаты измерений и вычислений

Номер измерения и вычисления	Измерения				Вычисления		
	$U_1, В$	$I_0, А$	$P_0, Вт$	$U_{20}, В$	$i_0, \%$	$\cos\varphi_2$	k

Таблица 1.2 – Результаты измерений и вычислений

Номер измерения и вычисления	Измерения			Вычисления	
	$U_k, В$	$I_{1k}, А$	$P_k, Вт$	$u_k, \%$	$\cos\varphi_k$

Таблица 1.3 – Результаты измерений и вычислений

β	$\cos\varphi_2 = 1$		$\cos\varphi_2 = 0,8$ (инд)		$\cos\varphi_2 = 0,8$ (емк)	
	$\Delta U, \%$	$U_2, В$	$\Delta U, \%$	$U_2, В$	$\Delta U, \%$	$U_2, В$

Таблица 1.4 – Результаты измерений и вычислений

β		0,25	0,50	0,75	1,0	1,2
η	при $\cos\varphi_2 = 1$					
	при $\cos\varphi_2 = 0,8$					

Контрольные вопросы

- 1) Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
- 2) Что такое коэффициент трансформации и как его определить опытным путем?
- 3) Почему с увеличением первичного напряжения при опыте х. х. уменьшается коэффициент мощности трансформатора?
- 4) Почему мощность х. х. принимают за магнитные потери, а мощность к. з. - за электрические потери?
- 5) Почему при опыте к. з. ток в первичной обмотке достигает номинального значения при напряжении в несколько раз меньшем номинального?
- 6) Почему с ростом напряжения U_k график $I_{1k} = f(U_k)$ прямолинеен, а график $P_k = f(U_k)$ - криволинеен?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Паспортные данные трансформаторов, измерительных приборов и регулятора напряжения.
- 3) Схемы включения однофазного трансформатора при опытах х.х. и к.з. (рисунок 1.1).

- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов (таблицы 1.1...1.4).
- 6) Характеристики х.х. и к.з. (рисунок 1.2), внешние характеристики и графики зависимости КПД трансформатора от нагрузки (рисунок 1.3).
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Определение групп соединения обмоток трехфазного двухобмоточного трансформатора.

Цель: Экспериментально подтвердить теоретические сведения о группах соединения трансформаторов и приобрести практические навыки по опытному определению групп соединения трехфазных трансформаторов.

Студент должен *знать*

- группы соединения обмоток трехфазных трансформаторов;
- влияние схемы соединения на отношении линейных напряжений;
- группы соединения трансформаторов - основные и производные;
- группы соединения, предусмотренные ГОСТ;

уметь:

- определять группу соединения трансформатора методами фазометра и вольтметра, строить топографические диаграммы линейных напряжений для разных групп соединения и определять напряжение между точками диаграммы.

Теоретическое обоснование

При анализе результатов лабораторной работы необходимо иметь в виду следующее:

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

В данной работе воспользуемся обоими методами - сначала методом фазометра, а затем методом вольтметра.

Определение группы соединения. При опытном определении группы соединения трансформаторов наибольшее применение получили два метода: метод фазометра, основанный на непосредственном измерении угла фазового сдвига между соответствующими линейными напряжениями обмоток ВН и НН; метод вольтметра, основанный на измерении напряжений между выводами обмоток ВН и НН и сравнением этих напряжений с напряжениями, полученными в результате расчетов.

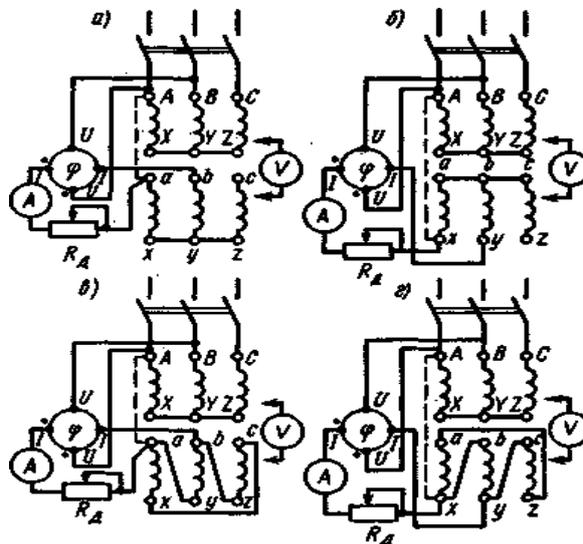


Рисунок 2.1 - Схемы соединения обмоток трехфазного двухобмоточного трансформатора для опытного определения групп соединения

Ход работы

Собрав схему, показанную на рисунок 2.1 а, включают трансформатор в сеть и измеряют угол α фазового сдвига между линейными напряжениями U_{AB} и u_{ab} (метод фазометра). Затем соединяют проводом клеммы A и a (пунктирная линия на рисунке) и вольтметром измеряют напряжения U_{bB} и U_{cC} (метод вольтметра), которые должны быть одинаковыми и равными значению

$$U_{bB} = U_{cC} = U_{ab}(k_l - 1) \quad (2.1)$$

где

$$k_l = U_{AB}/U_{ab} \quad (2.2)$$

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 2.1.

Построение топографической диаграммы. Выбрав масштаб напряжения m_u (В/мм), строят топографическую диаграмму линейных напряжений, соответствующих схеме рисунок 2.1, а, с учетом измеренного угла α фазового сдвига между векторами линейных напряжений U_{AB} и U_{ab} (рисунок 2.2, а). Измерив расстояния между точками диаграммы $B - b$ и $C - c$, определяют напряжения

$$U_{bB} = \overline{Bb} \cdot m_u; \quad U_{cC} = \overline{Cc} \cdot m_u \quad (2.3)$$

где m_u - масштаб напряжения, принятый при построении топографической диаграммы, В/мм.

Полученные по (2.3) напряжения должны быть одинаковыми и равными измеренным и вычисленным по (2.1) значениям напряжений, что будет свидетельствовать о правильно выполненных измерениях, вычислениях и построениях.

При опытном определении групп соединения, соответствующих схемам рисунок 2.1, б, в и г, следует придерживаться изложенного порядка для схемы по рисунку 2.1, а, но при вычислении напряжений U_{bB} и U_{cC} необходимо пользоваться формулами: рисунка 2.1, б

$$U_{bB} = U_{cC} = U_{xy}(k_l + 1) \quad (2.4)$$

рисунок 2.1, в

$$U_{bB} = U_{cC} = U_{ab} \sqrt{1 - \sqrt{3}k_l + k_l^2} \quad (2.5)$$

рисунок 2.1, з

$$U_{bB} = U_{cC} = U_{xy} \sqrt{1 + \sqrt{3}k_d + k_d^2} \quad (2.6)$$

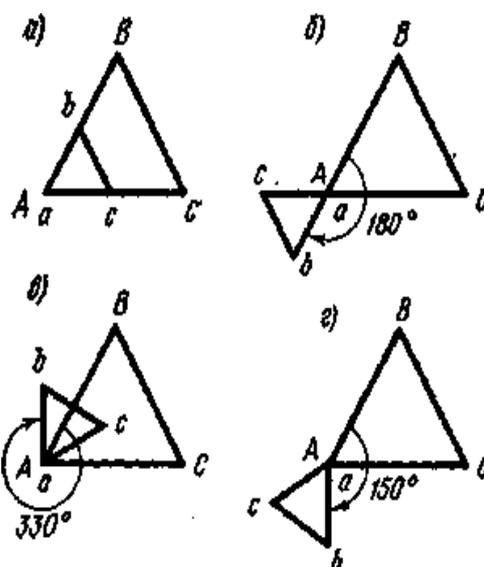


Рисунок 2.2 - Топографические диаграммы линейных напряжений нулевой (а), шестой (б), одиннадцатой (в) и пятой (г) групп соединения

Таблица 2.1 – Результаты измерений

Схемы соединения обмоток	Измерения					Вычисления		Топографическая диаграмма	Группа соединения
	U_{AB}, B	U_{ab}, B	$\alpha, \text{град}$	U_{bB}, B	U_{cC}, B	k_{Δ}	$U_{bB} = U_{cC}, B$		
Рис. 2.1, а Рис. 2.1, б Рис. 2.1, в Рис. 2.1, г								Рис. 2.2, а Рис. 2.2, б Рис. 2.2, в Рис. 2.2, г	

Контрольные вопросы

- 1) Чем определяется группа соединения трансформатора?
- 2) Какие группы соединения могут быть получены при одинаковой схеме соединения обмоток ВН и НН?
- 3) Какие группы соединения называют основными, а какие - производными?
- 4) Каким образом из основных групп соединения можно получить производные?
- 5) Перечислите группы соединения, предусмотренные ГОСТ, нарисуйте соответствующие им схемы соединения обмоток и топографические диаграммы.
- 6) В чем состоит метод фазометра при определении группы соединения трансформатора?
- 7) С какой целью при определении группы соединения по методу вольтметра соединяют выводы А - а (см. рисунок 2.1, а)?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Паспортные данные трансформатора, фазометра и вольтметра.
- 3) Схемы соединения обмоток трехфазного двухобмоточного трансформатора для опытного определения групп соединения (рисунок 2.1).

- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов (таблица 2.1).
- 6) Топографические диаграммы линейных напряжений.
- 7) Контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Исследование принципа работы однофазного автотрансформатора

Цель: Экспериментально подтвердить особые свойства автотрансформатора сравнением его параметров с параметрами трансформатора, полученными при исследовании совмещенной модели.

Студент должен *знать*:

- устройство автотрансформаторов, особенности рабочего процесса, достоинства и недостатки по сравнению с обычными двухобмоточными трансформаторами;
- область применения автотрансформаторов;

уметь:

- собирать схемы понижающего трансформатора, понижающего автотрансформатора, повышающего автотрансформатора и выполнять к ним опыты х. х. и номинальной нагрузки.

Теоретическое обоснование

Совмещенная модель трансформатора и автотрансформатора представляет собой однофазный трехобмоточный трансформатор, состоящий из магнитопровода (стержневого или броневого) и трех одинаковых электрически не связанных между собой обмоток. Различные комбинации соединения этих обмоток дают возможность исследовать все предлагаемые в данной работе варианты. Опытное исследование всех этих вариантов на одной модели позволяет сравнить результаты экспериментов и дать сравнительную оценку свойствам трансформатора и автотрансформатора (повышающего и понижающего). Обычно мощность исследуемой совмещенной модели невелика (300...500 ВА) и поэтому проста в изготовлении. Небольшая мощность модели способствует упрощению электрических схем исследования (включение ваттметров без трансформаторов тока и напряжения).

Задавшись размерами магнитопровода, определим число витков одной обмотки совмещенной модели

$$w = 0,95U / (4.44fB_c S_c k_c) \quad (3.1)$$

где U - напряжение на выводах обмотки, В;

f - частота тока, Гц;

B_c - магнитная индукция в стержне магнитопровода, Тл;

S_c - площадь поперечного сечения стержня, м²;

k_c - коэффициент заполнения магнитопровода сталью (при толщине листов 0,35 мм и $c = 0,90$).

В стержне магнитопровода броневого типа из тонколистовой горячекатаной электротехнической стали марок 1211 или 1511 при частоте тока $f = 50$ Гц магнитная индукция $B_c = 1,20...1,35$ Тл, а в магнитопроводе из холоднокатаной стали марок 3411, 3412 или 3413 индукция $B_c = 1,50...1,65$ Тл. При анализе результатов лабораторной работы сравнивают параметры совмещенной модели в различных режимах ее работы. При этом дают объяснение различию одного и того же параметра при работе модели в различных режимах. Рассмотрим сравнение некоторых параметров.

1) Номинальное изменение напряжения при нагрузке $\Delta U_{ном}$ у автотрансформатора меньше, чем у трансформатора. Это объясняется тем, что падение напряжения во вторичной цепи автотрансформатора меньше, чем у трансформатора, так как в автотрансформаторе оно вызывается током

$$I_{12} = I_2 - I_1$$

а в трансформаторе током I_2 (сравните величины этих токов по результатам измерений).

2) Сравнивая электрические потери на нагрев обмоток P_{Σ} , следует иметь в виду, что эти потери в автотрансформаторе меньше, чем у трансформатора, так как у автотрансформатора всего лишь одна обмотка, да к тому же на общем участке ее витков, принадлежащих первичной и вторичной цепям, ток I_{12} намного меньше вторичного тока трансформатора. Этим же, в частности, объясняется и более высокий КПД автотрансформаторов.

3) Ток х. х. повышающего автотрансформатора несколько больше, чем у понижающего. Объясняется это тем, что в понижающем авто трансформаторе первичная МДС создается двумя последовательно соединенными обмотками, а в повышающем - лишь одной.

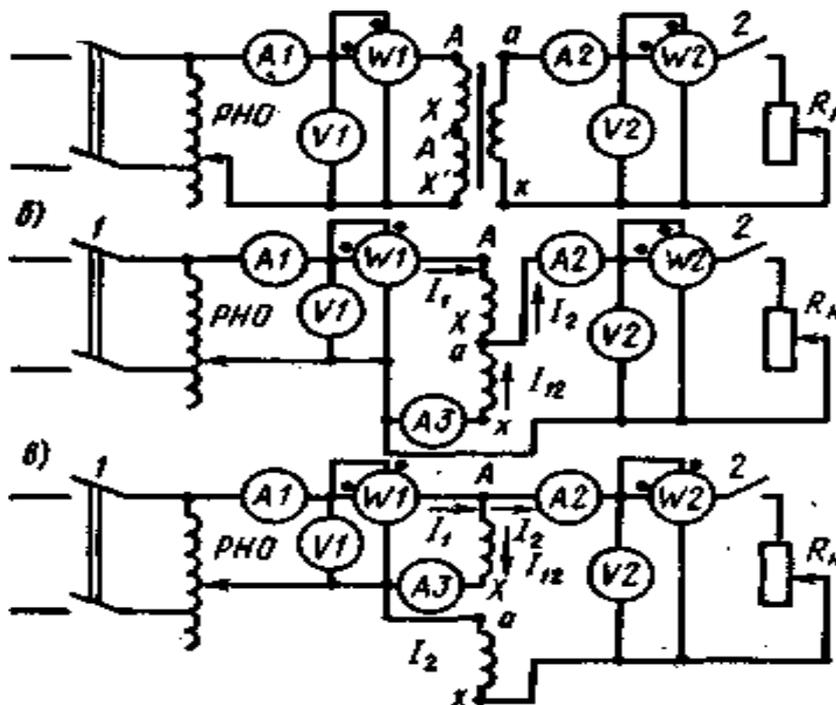


Рисунок 3.1 - Схемы соединений для исследования автотрансформатора:
 а - понижающий трансформатор; б - понижающий автотрансформатор; в - повышающий автотрансформатор

Ход работы

Исследование понижающего трансформатора. После сборки схемы по рисунку 3.1, а провести опыт х. х. трансформатора.

Для этого при разомкнутом рубильнике 2 включить рубильник 1 и регулятором РНО установить номинальное первичное напряжение. Снять показания приборов и занести их в таблицу 3.1.

Затем провести опыт номинальной нагрузки трансформатора. Для этого замкнуть рубильник 2 и при номинальном первичном напряжении нагрузочным реостатом R_H установить номинальный ток нагрузки во вторичной обмотке трансформатора $I_{2ном}$. При этом снять показания приборов и занести их в таблицу 3.1.

Исследование понижающего автотрансформатора. Понижающий автотрансформатор по схеме, показанной на рисунке 3.1, б, имеет такой же коэффициент трансформации, что и понижающий трансформатор (рисунок 3.1, а). После сборки схемы понижающего автотрансформатора и проверки ее преподавателем провести опыт х. х. (при разомкнутом рубильнике 2) и опыт номинальной нагрузки (при замкнутом рубильнике 2). Порядок проведения опытов такой же, как и для понижающего трансформатора.

Исследование повышающего автотрансформатора. Собрав схему по рисунку 4.2, в, после проверки ее преподавателем проводят сначала опыт х. х., а затем опыт номинальной нагрузки, где за номинальный ток нагрузки $I_{2ном}$ принимают такое его значение, при котором ток в первичной обмотке равен допускаемому значению $I_{1доп}$.

После заполнения таблицу 4.1 результатами измерений выполняют расчеты: номинальное изменение вторичного напряжения при нагрузке (%)

$$\Delta U_{ном} = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

сумма потерь в трансформаторе (Вт)

$$\sum P = P_1 - P_2 \quad (3.3)$$

электрические потери (Вт)

$$P_э = \sum P - P_0 \quad (3.4)$$

КПД (%)

$$\eta = (P_2/P_1)100 \quad (3.5)$$

Таблица 3.1 – Снятые характеристики

Режим работы совмещенной	Измерение										Вычисления				
	$U_1, В$	$U_{20}, В$	$I_0, А$	$P_0, Вт$	$I_1, А$	$P_1, Вт$	$I_{2ном}, А$	$U_2, В$	$P_2, Вт$	$I_{12}, А$	$\Delta U_{ном}, В$	$\sum P, Вт$	$P_э, Вт$	$\eta, \%$	
Трансформатор понижающий															
Автотрансформатор понижающий															
Автотрансформатор повышающий															

Контрольные вопросы

- 1) В чем состоит конструктивное различие между трансформатором и автотрансформатором?
- 2) Объясните принцип передачи мощности из первичной цепи во вторичную у трансформатора и у автотрансформатора.
- 3) Каковы достоинства автотрансформатора перед трансформатором?
- 4) При каких значениях коэффициента трансформации применение автотрансформатора наиболее выгодно?
- 5) Каковы недостатки автотрансформатора, ограничивающие его применение?
- 6) Почему токи х. х. у понижающего и повышающего автотрансформаторов неодинаковы?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Рисунок 3.1 - Схемы соединений для исследования автотрансформатора.
- 3) Ход работы.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.
- 5) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: Исследование параллельной работы, условий распределения нагрузки между трансформаторами

Цель: Изучить условия включения трансформаторов на параллельную работу и принцип распределения нагрузки между параллельно работающими трансформаторами; приобрести практические навыки по включению трехфазных трансформаторов на параллельную работу.

Студент должен *знать*:

- назначение параллельной работы трансформаторов, условия и порядок включения трансформаторов на параллельную работу, конструкцию трансформаторов;

уметь:

- распределять нагрузку между параллельно работающими трансформаторами.

Теоретическое обоснование

Проверка условий включения трансформаторов на параллельную работу. Для лучшего использования трансформаторов при их параллельной работе необходимо, чтобы нагрузка между ними распределялась пропорционально их номинальным мощностям. Поэтому включение трансформаторов на параллельную работу допускается лишь при соблюдении следующих условий:

- 1) трансформаторы должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации, т. е. при одинаковых первичных напряжениях вторичные напряжения трансформаторов должны быть равны;
- 2) трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения;
- 3) трансформаторы должны иметь одинаковые напряжения к. з.;
- 4) схема соединений при включении трансформаторов должна обеспечивать одинаковый порядок следования фаз как на стороне ВН, так и на стороне НН.

Помимо этого, рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов, включенных для параллельной работы, было не более чем 3:1.

Нарушение первого и второго условий вызывает появление больших уравнивающих токов между обмотками трансформаторов, что ведет к чрезмерному перегреву трансформаторов, т. е. делает их совместную работу невозможной. Что же касается третьего условия, то неравенство напряжений к. з. трансформаторов более чем на 10% от их среднего значения ведет к тому, что распределение нагрузки между трансформаторами становится в значительной степени непропорциональной их номинальным мощностям.

Равенство коэффициентов трансформации и напряжений к.з. обеспечивается подбором трансформаторов по их паспортным данным.

Коэффициенты трансформации k_I и k_{II} не должны различаться более чем на $\pm 0,5\%$ от их среднего значения:

$$\Delta k = \frac{k_I - k_{II}}{k} \cdot 100 \leq \pm 0,5\% \quad (4.1)$$

где $k = \sqrt{k_I k_{II}}$ - среднее геометрическое значение коэффициентов трансформации.

Напряжения к. з. u_{kI} и u_{kII} не должны различаться более чем на $\pm 10\%$ от их среднего значения:

$$\Delta u_k = \frac{u_{kI} - u_{kII}}{u_k} \cdot 100 \leq \pm 10\% \quad (4.2)$$

где $u_k = (u_{kI} + u_{kII})/2$ - среднее арифметическое значение напряжений к.з.

При анализе результатов лабораторной работы основное внимание уделяют вопросу распределения нагрузки между параллельно работающими трансформаторами.

Ход работы

1) Прежде чем подключить трансформаторы на параллельную работу, т. е. включить рубильник 3, при замкнутом рубильнике 1 (рисунок 4.1) необходимо провести фазировку трансформаторов, т. е. проверку соответствия фаз вторичных ЭДС трансформаторов $Tr1$ и $Tr2$. Для этого соединяют проводом одну пару противоположных клемм рубильника и вольтметром V_0 измеряют напряжение между двумя несоединенными парами противоположных клемм рубильника 3. Если вторичные напряжения трансформаторов равны, их группы соединения одинаковы и порядок следования фаз у них один и тот же, то показания вольтметра V_0 равны нулю. В этом случае рубильник 3 можно замкнуть, т. е. включить трансформаторы на параллельную работу. Если же

вольтметр V_0 показывает некоторое напряжение, то необходимо выяснить, какое из условий параллельной работы нарушено (обычно это нарушение одинакового порядка следования фаз), устранить его и вновь провести фазировку трансформаторов.

2) Снятие данных и построение внешних характеристик при $u_{k11} = u_{k1}$. После включения трансформаторов на параллельную работу подключают нагрузку R_H включают рубильник 4. Нагрузку постепенно увеличивают, пока нагрузочный ток каждого трансформатора не достигнет значения $I_{11} = 1,2I_{2ном}$. При этом приблизительно через одинаковые интервалы тока нагрузки снимают показания приборов и заносят их в таблицу 3.1. Следует снять не менее пяти замеров и одно из них должно соответствовать номинальной нагрузке трансформаторов.

По полученным данным строят внешние характеристики на общей координатной сетке.

3) Снятие данных и построение внешних характеристик при $u_{k1} \neq u_{k11}$.

После включения трансформаторов на параллельную работу следует разомкнуть рубильник 2, шунтирующий трехфазный дроссель Dp . При этом последовательно вторичным обмоткам трансформатора $Tr2$ оказывается подключенным дроссель, что приводит к увеличению напряжения к. з. u_{k11} этого трансформатора. В результате нарушается равенство напряжений к.з. параллельно работающих трансформаторов. Затем нагружают трансформаторы (замыкают рубильник 4) и увеличивают нагрузку до тех пор, пока ток нагрузки более нагружаемого трансформатора не достигнет значения $I_2 = 1,2I_{2ном}$.

Приблизительно через одинаковые интервалы тока нагрузки этого трансформатора снимают не менее пяти показаний приборов и заносят их в таблицу 4.1. При этом одно из показаний должно соответствовать номинальному значению тока нагрузки наиболее нагружаемого трансформатора. По полученным данным строят внешние характеристики трансформаторов.

Сравнивая данные таблицы 4.1 при $u_{k1} = u_{k11}$, и $u_{k1} < u_{k11}$, а также внешние характеристики трансформаторов для этих случаев параллельной работы, следует сделать вывод о влиянии неравенства напряжений к. з. на распределение нагрузки между трансформаторами. Известно, что длительная перегрузка трансформаторов недопустима. Поэтому по результатам лабораторной работы необходимо определить, насколько один из трансформаторов окажется недогруженным при номинальной нагрузке другого трансформатора (при неравенстве напряжений к.з.).

Если менее нагружаемым является трансформатор $Tr2$, то при номинальной нагрузке трансформатора $Tr1$ его недогрузка (%)

$$\Delta I_{11} = \frac{I_{211ном} - I_{211}}{I_{211}} \cdot 100 \quad (4.3)$$

где $I_{211ном}$ - номинальный ток нагрузки $Tr2$, А;

I_{211} - ток нагрузки $Tr2$ при номинальной нагрузке $Tr1$, А.

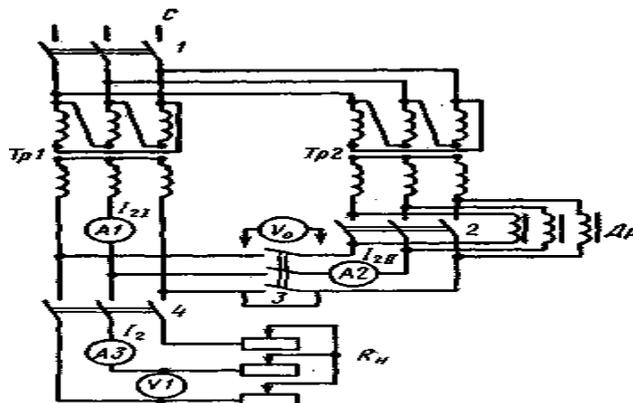


Рисунок 4.1 – Схема включения трехфазных двухобмоточных трансформаторов на параллельную работу

Таблица 4.1 – Результаты измерений

I_{21}, A	$u_{kI} = u_{kII}$					$u_{kI} < u_{kII}$				
I_{211}, A										
I_2, A										
U_2, B										

Контрольные вопросы

- 1) С какой целью применяют параллельную работу трансформаторов?
- 2) Каковы условия включения трансформаторов на параллельную работу?
- 3) Почему не допускается включение на параллельную работу трансформаторов с разными группами соединения, даже при одинаковых вторичных напряжениях?
- 4) Каковы допуски на различие коэффициентов трансформации и напряжений к.з. для трансформаторов, включаемых на параллельную работу?
- 5) Что такое фазировка трансформаторов, для чего и как она выполняется?
- 6) От чего зависит распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Рисунок 4.1 - Схема включения трехфазных двухобмоточных трансформаторов на параллельную работу.
- 3) Ход работы.
- 4) Результаты измерений и расчетов, таблица 4.1.
- 5) Внешние характеристики трансформаторов $U_2 = f(I_{21})$; $U_2 = f(I_{211})$; $U_2 = f(I_2)$ при одинаковых напряжениях к.з.
- 6) Ответы на контрольные вопросы.
- 7) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема: Исследование способов пуска трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

Цель: Изучить конструкцию трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором; освоить приемы опытной проверки обозначений выводов обмотки статора и экспериментального исследования асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки.

Студент должен *знать*:

- принцип действия и устройство трехфазного асинхронного двигателя;
- понятие о скольжении;
- электромагнитный момент асинхронного двигателя;
- зависимость момента от скольжения; перегрузочная способность асинхронного двигателя;
- рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя.

уметь:

- экспериментально проверять обозначение выводов обмотки статора;
- собирать схему, производить пробный пуск двигателя и реверсирование двигателя.

Теоретическое обоснование

При анализе результатов лабораторной работы в первую очередь следует сделать заключение о соответствии данных номинального режима, полученных

экспериментально, паспортным данным электродвигателя. Затем, анализируя рабочие характеристики, нужно объяснить двигателя вид полученных графиков.

Например, график тока $I_1 = f(P_2)$ не выходит из начала координат, так как в режиме х. х. ($P_2 = 0$) двигатель потребляет из сети ток х. х. I_{10} , обусловленный потерями х. х.

Характеристика частоты вращения $n_2 = f(P_2)$ имеет падающий вид, т. е. с ростом нагрузки частота вращения ротора уменьшается. Это объясняется ростом скольжения s . При этом чем больше активное сопротивление обмотки ротора r'_2 , тем больше наклон этой характеристики к оси абсцисс, так как увеличение r'_2 вызывает рост электрических потерь в цепи ротора $P_{\text{э2}} = m_1 I_2'^2 r'_2$, а следовательно, рост скольжения, величина которого пропорционально электрическим потерям в роторе $s = P_{\text{э2}}/P_{\text{эм}}$.

Небольшое значение коэффициента мощности $\cos\varphi_2$ в зоне малых нагрузок двигателя объясняется тем, что в режиме х. х. и при небольшой нагрузке двигателя ток статора меньше номинального и в значительной части является намагничивающим током, имеющим фазовый сдвиг относительно напряжения сети близкий к 90° .

Значительная величина намагничивающего тока в асинхронных двигателях обусловлена наличием воздушного зазора между статором и ротором. С ростом нагрузки двигателя ток I_1 , потребляемый двигателем из сети, увеличивается в основном за счет активной составляющей, что и способствует росту коэффициента мощности $\cos\varphi_2$.

Ход работы

1) Проверка обозначения выводов обмотки статора.

Для правильного соединения обмотки статора в звезду или в треугольник необходимо точно знать маркировку выводов обмотки статора. Это делают следующим образом. Сначала определяют пары выводов каждой фазной обмотки статора. Это можно сделать с помощью «сигнальной» лампы, включенной, как это показано на рисунке 5.2, а. Прикоснувшись концом одного из проводов этой лампы какого-либо вывода обмотки статора, концом другого провода, подключенного к сети, касаются поочередно других выводов обмотки. При прикосновении к одному из выводов лампа загорается. Это свидетельствует о том, что пара выводов, которых караются в данный момент концы проводов, принадлежат одной фазной обмотке. Эту пару выводов отмечают и переходят к отысканию выводов второй, а затем и третьей фазных обмоток.

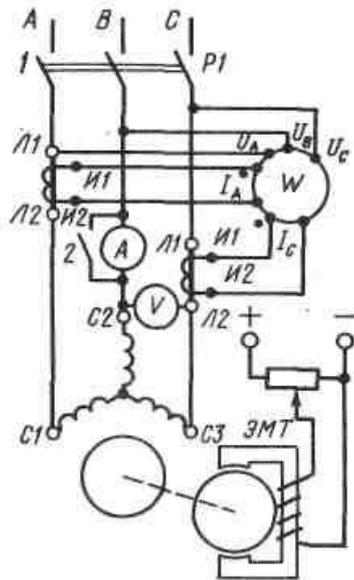
Затем определяют начала и концы каждой фазной обмотки. Для этого, обозначив произвольно начала и концы всех трехфазных обмоток соединяют последовательно какие-либо две из них (например, фазные обмотки A и B), как это показано на схеме рисунок 5.2, б, и подключают их к источнику переменного тока. Последовательно в цепь включают резистор r такого сопротивления, чтобы ток в цепи этих обмоток превысил номинального значения. К оставшейся третьей фазной обмотке подключают вольтметр (можно воспользоваться «сигнальной лампой»). Если предварительная маркировка выводов обмоток A и B была правильной, то вольтметр, подключенный к выводам фазы C , не покажет напряжения (лампа не загорится). Объясняется это тем что ось результирующего потока фазных обмоток A и B $\Phi = \Phi_A + \Phi_B$ направлена под углом 90° к оси фазной обмотки C и поэтому не наводит в ней ЭДС. Если же предварительная маркировка выводов одной из обмоток, например обмотки B , оказалась неправильной и схема имела вид, представленный на рисунке 5.2, в, то ось результирующего потока обмоток A и B совпадает с осью фазной обмотки C и наводит в той обмотке некоторую ЭДС, при этом вольтметр на выводах обмотки C покажет напряжение (лампа загорится).

2) Схема включения и пробный пуск двигателя. Схема включения двигателя (см. рисунок 5.1) содержит двухэлементный ваттметр, предназначенный для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети. Токовые катушки этого ваттметра включены в сеть через измерительные трансформаторы тока. После проверки схемы преподавателем осуществляют пробный пуск двигателя замыканием рубильника. Предварительно следует замкнуть ключ 2, шунтирующий амперметр A , с целью предохранения его от чрезмерно большого пускового тока двигателя. Затем двигатель отключают от сети и меняют местами любую пару проводов, соединяющих обмотку

статора с сетью. В этом случае вращающееся поле статора при включении обмотки статора в сеть будет вращаться в направлении, противоположном тому, какое было до переключения проводов. Другими словами, произойдет реверс двигателя, т. е. его ротор будет вращаться в другую сторону.

3) Снятие данных и построение рабочих характеристик. Замкнув рубильник 1 (при замкнутом ключе 2), включают двигатель в сеть (см. рисунок 5.1). Затем, разомкнув ключ 2, с

до
х.



помощью электромагнитного тормоза (ЭМТ) либо другого нагрузочного устройства создают на валу двигателя нагрузочный момент M и увеличивают его тех пор, пока ток в цепи статора не достигнет значения

$$I_1 = 1,2I_{ном}$$

При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I_1 снимают показания приборов и заносят их в таблицу 5.1. Первый отсчет по приборам делают в режиме х. ($M_2 = 0$). Всего необходимо снять не менее пяти показаний, из них одно должно соответствовать номинальному режиму ($I_1 = I_{ном}$)

Рисунок 5.1 - Схема включения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для исследования методом непосредственной нагрузки

Рисунок 5.2 - Схемы для определения выводов «начало» и «конец» фазных обмоток статора асинхронного двигателя

Затем выполняют расчеты: подводимого к двигателю мощность (Вт)

$$P_1 = P'_1 k_T C_w; \quad (5.1)$$

полезная мощность двигателя – мощность на валу (Вт)

$$P_2 = 0,105 M_2 n_2, \quad (5.2)$$

если M_a измеряется в кГ·М, то

$$P_2 = 1,03 M_2 n_2; \quad (5.3)$$

КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (5.4)$$

коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1 I_1} \quad (5.5)$$

Скольжение

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (5.6)$$

где k_T - коэффициент трансформатора тока;

M_2 - нагрузочный момент, Нм;

n_2 - частота вращения ротора, об/мин;

C_w - цена деления ваттметра, Вт/дел.

По данным таблицы 5.1 строят рабочие характеристики двигателя (на одной координатной сетке); I_1 ; n_2 ; M_2 ; η ; s ; $\cos \varphi = f(P_2)$, примерный вид которых показан на рисунке 5.3.

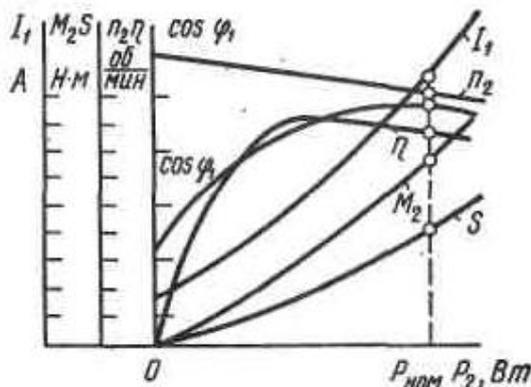


Рисунок 5.3 – Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя

Таблица 5.1 – Результаты измерений и расчетов

Номер измерения	Измерения					Вычисления				
	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , дел	n_2 , об/мин	M_2 , Н·м	P_1 , Вт	P_2 , Вт	η , %	$\cos\varphi$	s

Контрольные вопросы

- 1) На чем основан принцип действия асинхронного двигателя?
- 2) Что такое скольжение, и каким, оно обычно бывает у асинхронных двигателей общего применения?
- 3) С какой целью у асинхронного двигателя обычно делают все шесть выводов обмотки статора?
- 4) Как определить начало и конец фазной обмотки статора?
- 5) Что такое реверс и как его осуществить в трехфазном асинхронном двигателе?
- 6) В чем сущность метода непосредственной нагрузки при исследовании асинхронного двигателя?
- 7) Какие характеристики асинхронного двигателя называют рабочими?
- 8) Почему относительная величина тока х. х. у асинхронного двигателя больше, чем у трансформатора такой же мощности?
- 9) Как изменится вращающий момент асинхронного двигателя, если напряжение на его выводах обмотки статора уменьшить в $\sqrt{3}$ раз?
- 10) Что такое перегрузочная способность, асинхронного двигателя и какова, ее зависимость от напряжения питания двигателя?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схема опыта (рисунок 5.1).
- 3) Ход работы.
- 4) Паспортные данные асинхронного двигателя, измерительных приборов и регулировочных устройств.
- 5) Результаты измерений и расчетов (таблица 5.1).
- 6) Рабочие характеристики двигателя.
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема: Исследование принципа работы трёхфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

Цель: Получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о пусковых свойствах трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором, а также приобрести практические навыки в сборке схем и пуске этих двигателей.

Студент должен *знать*:

- пусковые свойства трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором,
- способы пуска при пониженном напряжении;
- влияние напряжения питания на величины пускового тока и пускового момента.

уметь:

- сравнивать различные методы пуска асинхронных двигателей фазным ротором

Теоретическое обоснование

Анализируя результаты лабораторной работы, необходимо дать сравнительную оценку пусковым свойствам асинхронного двигателя при различных методах пуска, рассмотренных в данной лабораторной работе. При этом следует иметь в виду основные пусковые параметры двигателя - начальные пусковой ток и пусковой момент, полученные в результате экспериментов. При сравнении удобно воспользоваться отношениями $I_{п.ср}/I_{п.ср}$, $M_{п}/M_{п}$, где $I_{п.ср}$ и $M_{п}$ - начальные значения пускового тока и пускового момента при пуске двигателя непосредственным включением в сеть. Вполне очевидно, что для метода пуска непосредственным включением двигателя в сеть эти отношения равны единице, а для специальных методов пуска они меньше единицы. При выводах о достоинствах и недостатках методов пуска необходимо учитывать еще и такие показатели, как сложность пусковой операции и ее экономичность, имея в виду стоимость дополнительных устройств.

Для получения объективных результатов лабораторной работы, необходим эксперименты выполнять на одном том же двигателе с включением в цепь обмотки статора одного и того же амперметра. Применение разных двигателей и амперметров, даже одного и того же типа, внести погрешность в эксперимент, результаты которого будут фиксировать не только особенности метода пуска двигателя, но и специфические свойства различных экземпляров двигателей и измерительных механизмов амперметр. Применяемый в лабораторной работе двигатель должен нормально работать при соединении обмотки статора в треугольник.

Ход работы

Пуск двигателя непосредственным включением в сеть. Этот метод пуска отличается простотой, однако в момент подключения двигателя к сети в цепи статора значительный пусковой ток, в пять-семь раз превышающий номинальный ток двигателя.

После сборки схемы по рисунку 6.1 и проверки ее преподавателем следует поставить переключатель 2 в положение «треугольник» и включить рубильник *PI*. В момент включения стрелка амперметра отклонится, показывая начальную величину пускового тока $I_{п}$; это показание заносится в таблицу 6.1. Пуск двигателя повторяют три раза, а затем определяют среднее значение начального пускового тока (А)

$$I_{п.ср} = \frac{I_{п1} + I_{п2} + I_{п3}}{3} \quad (6.1)$$

Перед каждым пуском двигателя необходимо убедиться в полной остановке ротора.

Далее следует определить кратность пускового тока $I_{п.ср}/I_{ном}$, где $I_{ном}$ - номинальный ток двигателя, А.

Пуск двигателя переключением обмотки статора со звезды на треугольник. Схема соединений остается прежней (рисунок 6.1). Пуск производят в следующем порядке. Поставив переключатель 2 в нейтральное положение, замыкают рубильник *PI*; затем переключатель переводят в положение «звезда» и фиксируют величины начального пускового тока $I_{п}$ и пускового напряжения $U_{п}$. После разгона ротора переключатель быстро переводят в положение «треугольник». При этом обращают внимание на то, что «бросок» тока при переключении обмотки статора со звезды на треугольник намного меньше начального пускового тока. Пуск включением обмотки на звезду следует

повторить три раза и определить среднее значение начального пускового тока (6.1) и его кратность $I_{п.ср}/I_{1ном}$. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 6.2.

Реакторный пуск двигателя. При реакторном пуске двигателя напряжение понижается за счет падения напряжения на индуктивном сопротивлении реакторов хр. При этом напряжение на выводах обмотки статора (В)

$$U'_п = U_1 - jI_{п}x_p \quad (6.2)$$

Пуск двигателя выполняется следующим образом: при разомкнутом рубильнике 2 включают рубильник *Р1* и на двигатель подается пониженное напряжение $U'_п$ (6.2), при этом фиксируют показания амперметра и вольтметра; после разгона ротора включают рубильник 2 и двигатель оказывается под полным напряжением сети. Пуск при разомкнутом рубильнике 2 повторяют три раза, каждый раз при неподвижном роторе. Значения начального пускового тока $I'_п$ и пускового (пониженного) напряжения на фазной обмотке статора $U'_п$ заносят в таблицу 6.2, а затем определяют среднее значение пускового тока $I_{п.ср}$ (6.1) и его кратность $I_{п.ср}/I_{1ном}$.

Зависимость пускового момента от напряжения. Собирают схему по рисунку 6.3 и после проверки ее преподавателем устанавливают на выходе *РНТ* минимальное напряжение, вставляют в специальное отверстие диска электромагнитного тормоза (моментомера) *ЭМТ* шпильку, зацепляющую диск с полюсом электромагнита. После этого включают рубильник *Р1* и плавно повышают напряжение на обмотке статора $U_{1к}$ до значения, при котором ток в обмотке статора достигнет значения $I_{1к} = (2,5 \div 3,0) I_{1ном}$.

При этом через приблизительно одинаковые интервалы пускового момента $M_{п}$ снимают не менее пяти показаний вольтметра и моментомера *ЭМТ* и заносят их в таблицу 6.3.

Измерения при токе $I_{1к} > I_{1ном}$ следует проводить по возможности быстрее, не допуская чрезмерного перегрева двигателя. По полученным данным на координатную сетку наносят точки и по лекалу через эти точки проводят плавную кривую, продолжив ее за пределы экспериментально полученных точек, т. е. экстраполируют график на участке *АВ* (рисунку 6.4) до номинального (фазного) напряжения $U_{1ном}$.

Из теории известно, что пусковой момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату фазного напряжения: $M_{п} \propto U_{21}^2$. Используя это положение, вычисляют величину пускового момента $M_{п.ном}$, соответствующую номинальному напряжению на обмотке статора:

$$M_{п.ном} = M_{пА}(U_{1ном}/U_{1А})^2 \quad (6.3)$$

где $U_{1А}$ - напряжение, соответствующее пусковому моменту $M_{пА}$, т. е. наибольшему значению момента, полученному экспериментально.

Рассчитанное по (6.3) значение момента должно быть равно или мало отличаться от значения момента $M_{пв}$ т.е. момента, полученного экстраполяцией графика $M_{п} = f(U_1)$, что будет свидетельствовать о правильно выполненной экстраполяции.

Этот график используют для определения пусковых моментов при различных методах пуска двигателя: при пуске двигателя непосредственным включением в сеть - момент $M_{п}$, соответствующий номинальному фазному напряжению на обмотке статора $U_{1ном}$; при методах пуска двигателя при пониженном напряжении сети $U'_п$ (переключением обмотки статора со звезды на треугольник и с включением реакторов в цепь статора) - момент $M_{п}$.

Затем для каждого метода пуска определяют кратность пускового момента $M_{п}/M_{2ном}$, где

$$M_{2ном} = 9,55 \frac{P_{2ном}}{n_{2ном}} \quad (6.4)$$

$M_{2ном}$ - номинальное значение момента на валу двигателя, Н·м;

$P_{2ном}$ - номинальная мощность двигателя, Вт;

$n_{2ном}$ - номинальная частота вращения, об/мин.

Полученные значения величин пускового момента и его кратности для метода пуска двигателя непосредственным включением в сеть заносят в таблицу 6.1, а для методов пуска при пониженном напряжении в таблицу 6.2.

Таблица 6.3 – Результаты вычислений

Номер измерения	1	2	3	4	5	6
$U_{1к}, В$						
$M_{п}, Н·м$						

Контрольные вопросы

- 1) Какие показатели определяют пусковые свойства асинхронных двигателей?
- 2) Каковы достоинства и недостатки метода пуска асинхронных двигателей непосредственным включением в сеть?
- 3) На чем основаны методы уменьшения пускового тока асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором? Перечислите эти методы.
- 4) Каков общий недостаток методов пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?
- 5) На сколько уменьшается пусковой ток асинхронного двигателя при его пуске методом переключения обмотки статора со звезды на треугольник? Как при этом изменяется пусковой момент?
- 6) Какова зависимость пускового момента асинхронного двигателя от напряжения, подводимого к обмотке статора?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схемы включения асинхронного двигателя (Рисунки 6.1, 6.2, 6.3).
- 3) Ход работы.
- 4) Паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 5) Результаты измерений и расчетов (Таблицы 6.1, 6.2, и 6.3).
- 6) График зависимости пускового момента асинхронного двигателя от напряжения сети (рисунок 6.4).
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Тема: Исследование принципа работы трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме.

Цель: Приобрести практические навыки в сборке схем включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть; получить экспериментальное подтверждение сведений о свойствах трехфазного асинхронного двигателя, работающего в однофазном и конденсаторном режимах.

Студент должен *знать*:

- свойства трехфазного асинхронного двигателя в однофазном и конденсаторном режимах;

уметь:

- производить сборку схем включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть

Теоретическое обоснование

Для исследования асинхронного двигателя во всех трех режимах используют трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором общепромышленного назначения мощностью не более 600 Вт. Это целесообразно, во-первых, потому, что на практике обычно возникает потребность применения трехфазного двигателя в однофазном или конденсаторном режимах именно такой мощности, во-вторых, при небольшой мощности двигателя емкость рабочего конденсатора невелика и обычно

составляет 5...20 мкф (в зависимости от мощности двигателя и напряжения питания) и, наконец, в-третьих, при такой мощности двигателя схема соединений не усложняется измерительными трансформаторами тока.

Если в трехфазном режиме работы обмотки статора двигателя должны соединяться в треугольник, то следует воспользоваться схемой, представленной на рисунке 7.1, а. Здесь для измерения активной мощности P_1 потребляемой двигателем, служат два ваттметра $W1$ и $W2$. В трехфазном режиме мощность P_1 равна сумме показаний ваттметров ($P_1 = P'_1 + P''_1$). В однофазном и конденсаторном режимах ваттметр $W2$ оказывается отключенным и мощность P_1 определяется показанием ваттметра $W1$, т. е. $P_1 = P'_1$. В рассматриваемой схеме применены два амперметра: $A1$ для измерения линейного тока I_1 и $A2$ для измерения тока в фазной обмотке двигателя $I_{\phi 1}$.

Если же в трехфазном режиме двигателя обмотки статора должны соединяться звездой, то применяется схема соединений обмотки статора, представленная на рисунке 7.1, б, в которой использован такой же комплект измерительных приборов, как и в схеме, показанной на рисунке 7.1, но с одним амперметром.

Ход работы

Исследование двигателя в трехфазном режиме. Собирают схему соединений по рисунку 7.1 и после проверки ее преподавателем ставят переключатель Π в положение 1, при котором двигатель становится трехфазным, и замыкают рубильник, подключающий двигатель к сети. После этого постепенно нагружая двигатель электромагнитным тормозом (ЭМТ), доводят нагрузочный момент до значения, при котором ток в фазной обмотке двигателя достигнет значения $I_{\phi 1} = 1,2 I_{1ном}$, где $2 I_{1ном}$ - номинальное значение фазного тока двигателя. При этом через примерно одинаковые интервалы тока нагрузки $I_{\phi 1}$, например $I_{\phi 1} = I_{\phi 10}$, $I_{\phi 1} = 0,5 I_{1ном}$; $I_{\phi 1} = 0,75 I_{1ном}$; $I_{\phi 1} = I_{1ном}$; $I_{\phi 1} = 1,2 I_{1ном}$, снимают показания приборов и заносят их в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты измерений и вычислений

Режим работы	Номер измерения и вычисления	Измерения							Вычисления			
		U_1 В	I_1 А	$I_{\phi 1}$ А	P_1 Вт	P''_1 Вт	n_2 об/мин	M_2 Нм	P_1 Вт	P_2 Вт	$\cos\varphi$	η %
трехфазный	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
однофазный	1...											
	5											
конденсаторный	1...											
	5											

Затем выполняют расчеты: коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{3U_1 I_{\phi 1}} \quad (7.1)$$

полезная мощность двигателя (Вт)

$$P_2 = 0,105 M_2 n_2 \quad (7.2)$$

КПД двигателя (%)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (7.3)$$

Здесь M_2 - нагрузочный момент, Нм.

Однофазный и конденсаторный режимы двигателя. Для исследования двигателя в однофазном режиме необходимо поставить переключатель Π в положение 2, включить

двигатель в сеть и по окончании процесса пуска перевести переключатель Π в нейтральное положение. При этом двигатель будет работать как однофазный.

Для получения данных, необходимых для построения рабочих характеристик, двигатель нагружают посредством ЭМТ до тока нагрузки в фазной обмотке $I_{\phi 1} = 1,2 I_{\text{ном}}$. При этом через определенные интервалы тока $I_{\phi 1}$ снимают показания приборов, делают необходимые вычисления и полученные значения величин заносят в таблицу 7.1. При этом коэффициент мощности двигателя

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_{\phi 1}} \quad (7.4)$$

где P_1 - мощность, потребляемая двигателем в однофазном режиме, Вт, определяется по показанию ваттметра $W1$, т. е. $P_1 = P'_1$; I_1 - ток в линейном проводе, А.

Полезную мощность двигателя определяют по (7.2), а КПД по (7.3).

Для исследования двигателя в конденсаторном режиме необходимо переключатель Π поставить в положение 2 и после пуска двигателя оставить его в том же положении. Порядок проведения опыта такой же, что и в однофазном режиме.

Построение рабочих характеристик. Рабочие характеристики двигателя для всех трех режимов работы строят по данным таблицы 7.1. При этом графики, предназначенные для сравнения между собой величин P_2 , $\cos \varphi$, n_2 и η , строят в функции фазного тока $I_{\phi 1}$. Для удобства графики одноименных (сравниваемых) величин всех трех режимов работы асинхронного двигателя строят в одних осях координат. На каждом их графиков проводят ординату при $I_{\phi 1} = I_{\text{ном}}$ отмечают на характеристиках номинальные значения величин.

Анализируя результаты лабораторной работы, в первую очередь сравнивают номинальные значения полезной мощности, коэффициента мощности и КПД двигателя в трехфазном режиме с его паспортными данными и делают заключение о соответствии результатов исследования паспортным данным двигателя.

Потом сравнивают одноименные рабочие характеристики двигателя во всех трех режимах работы и дают объяснение причинам, вызвавшим расхождение этих характеристик; определяют относительную величину того или иного параметра двигателя в однофазном и конденсаторном режимах по сравнению с соответствующим параметром в трехфазном режиме работы двигателя. Например, определяют в процентах величины активной мощности в однофазном и конденсаторном режимах двигателя по сравнению с номинальной мощностью двигателя $P_{\text{ном}}$ в трехфазном режиме,

$$P'_{2\text{одн}} = \frac{P_{2\text{одн}}}{P_{\text{ном}}} \cdot 100\% ; P'_{2\text{кон}} = \frac{P_{2\text{кон}}}{P_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (7.5)$$

Затем объясняют причины расхождения одноименных параметров двигателя в однофазном и конденсаторном режиме.

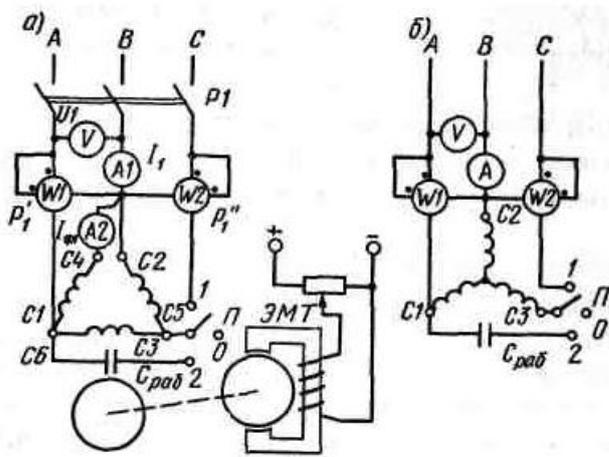


Рисунок 7.1 – Схемы включения трехфазного асинхронного двигателя в однофазную сеть

Контрольные вопросы

- 1) Объясните принцип работы однофазной асинхронного двигателя.
- 2) Почему в однофазном двигателе пусковой момент равен нулю?
- 3) Каковы условия возникновения вращающегося магнитного поля статора в двигателе с двухфазной обмоткой на статоре?
- 4) В каких случаях вращающееся поле статора является круговым, а в каких - эллиптическим?

- 5) Когда в качестве фазосдвигающего элемента используют активное сопротивление, а когда - емкость?
- 6) В чем конструктивная разница между однофазным и конденсаторным двигателями?
- 7) С какой целью в цепь конденсаторного двигателя включают пусковую емкость и как ее включают?
- 8) В каком из режимов, однофазном или конденсаторном, лучше рабочие свойства асинхронного двигателя?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схема опыта (рисунок 7.2).
- 3) Ход работы.
- 4) Паспортные данные трехфазного двигателя.
- 5) Таблица результатов измерения и вычисления (таблица 7.1).
- 6) Ответы на контрольные вопросы.
- 7) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Тема: Исследование трехфазного синхронного генератора.

Цель: Изучить устройство синхронного генератора и приобрести практические навыки в сборке схем и снятии характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах синхронного генератора.

Студент должен *знать*:

- типы синхронных генераторов, их устройство и способы возбуждения реакции якоря синхронного генератора при активной, индуктивной емкостной и смешанной нагрузках;
- характеристики холостого хода, короткого замыкания внешние и регулировочные;
- номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки и номинальное изменение тока возбуждения;
- отношение короткой замыкания синхронного генератора;
- потери и КПД синхронной машины;

уметь:

- собирать схему, производить пробный пуск генератора и проверять возможность регулирования параметров генератора.

Теоретическое обоснование

Внешняя характеристика - это зависимость напряжения на выходе генератора U_1 от тока нагрузки I_1 , при неизменной частоте вращения ($n_2 = n_1$), токе возбуждения $I_e = const$ и коэффициенте мощности $\cos \varphi_1 = const$.

Характеристика холостого хода - эта характеристика представляет собой зависимость ЭДС генератора в режиме х. х. от тока возбуждения I_B при номинальной частоте вращения $n_2 = n_1$. Характеристику х. х. принято строить в относительных величинах ЭДС E_0^* и тока возбуждения I_{B^*} : $E_0 = f(I_{B^*})$, где

$E_0^* = E_0 / U_{1ном}$ и $I_{B^*} = I_B / I_{B.0ном}$. За базовые величины при определении относительных значений ЭДС и тока возбуждения принимают соответственно номинальное значение напряжения на выходе генератора $U_{1ном}$ и ток возбуждения $I_{B.0ном}$ соответствующий ЭДС х. х., равной номинальному напряжению генератора $U_{1ном}$.

Регулировочная характеристика - это зависимость тока возбуждения генератора I_B от тока нагрузки I_1 при неизменной частоте вращения $n_2 = n_1$ и напряжении $U_1 = U_{1ном}$.

Характеристика короткого замыкания - это зависимость тока статора при опыте к. з. $I_{1к}$ от тока возбуждения I_B при неизменной частоте вращения $n_2 = n_1$. Характеристику к. з. принято строить в относительных единицах: $I_{*1к} = f(I_{B^*})$, где $I_{*1к} = I_{1к} / I_{1ном}$, $I_{B^*} = I_B / I_{B.0ном}$.

Анализируя результаты лабораторной работы, дают заключение о соответствии характеристик генератора, полученных опытным путем, типовым характеристикам, веденным в учебнике. При этом объясняют физические процессы, уловившие форму того или иного графика. Например, объясняют, почему характеристика х.х. имеет криволинейный вид, а ее ветви при намагничивании и размагничивании не совпадают. При сравнении опытной характеристики х. х. с нормальной следует дать количественную оценку.

Расхождению этих характеристик, рассчитав наибольшую величину этого расхождения (%):

$$E_{0.\text{наиб}} = (E^*_{0.\text{оп}} - E^*_{0.\text{нор}}) \quad (8.1)$$

где $E^*_{0.\text{оп}}$ и $E^*_{0.\text{нор}}$ - относительные значения напряжений х. х., взятых по опытной и нормальной характеристикам х. х. соответственно при токе возбуждения I_b , соответствующем наибольшему расхождению этих характеристик.

При анализе внешних и регулировочных характеристик генератора следует объяснить причины, вызвавшие их расхождение при активной и активно-реактивной видах нагрузки. Анализируя свойства генератора, целесообразно воспользоваться понятиями номинального изменения напряжения при сбросе нагрузки (8.2) и номинального изменения тока возбуждения (8.3).

Анализируя результат опыта к. з., необходимо объяснить прямолинейный вид характеристики к. з. Показания приборов, снятые при увеличении тока возбуждения (при намагничивании), соответствуют восходящей ветви характеристики х. х., а показания, снятые при уменьшении тока возбуждения (при размагничивании), - нисходящей ветви этой характеристики.

За характеристику х. х. принимают среднюю линию, проведенную между восходящей и нисходящей ветвями. При снятии данных восходящей ветви характеристики х. х. необходимо, чтобы изменение тока возбуждения I_b происходило только в направлении нарастания, а при снятии данных нисходящей ветви - только в направлении убывания. Для сравнения характеристики х. х., полученной опытным путем, с нормальной характеристикой х. х. синхронной машины следует обе характеристики строить в одних осях координат.

Ниже приведены данные нормальной характеристики х. х. синхронной машины:

I^*_b	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	5
E^*_{0}	0,58	1,0	1,21	1,33	1,40	1,46	1,51	

Ход работы

Пуск двигателя выполняется следующим образом: поставить рукоятку пускового реостата PP в положение «Пуск», а движок регулировочного реостата $r_{рг}$ в положение, соответствующее минимальному сопротивлению; затем включить рубильник $P1$ и рычаг PP медленно перевести в положение «Работа». Затем движок реостата $r_{рз}$ поставить в положение, соответствующее синхронной частоте вращения. После включения цепи возбуждения генератора рубильником $P2$ контроль за частотой вращения удобно вести по показанию частотомера PP , показание которого не должно отличаться от номинальной частоты тока в обмотке статора, например, 50 Гц.

Для остановки двигателя необходимо разомкнуть рубильник $P1$ поставить рычаг PP в положение «Пуск».

После сборки схемы (рисунок 8.1) и проверки ее преподавателем выполняют пробный пуск генератора. Для этого пускают приводной двигатель и, замкнув рубильник $P2$, постепенно увеличивают ток в обмотке возбуждения генератора I_b , наблюдая за показаниями вольтметра V и частотомера Hz . Затем, увеличивая сопротивление реостата $r_{рг}$ в цепи возбуждения приводного двигателя, устанавливают синхронную частоту вращения. После этого, регулируя величину тока возбуждения генератора I_b потенциометром R_n устанавливают на выходе генератора номинальное напряжение $U_{1ном}$.

После пуска приводного двигателя и установки номинальной частоты вращения доводят величину тока возбуждения генератора I_b до значения, при котором ЭДС х. х. E_0

$= 1,3U_{1ном}$, а затем постепенно уменьшают ток возбуждения до нуля. При этом через приблизительно одинаковые интервалы ЭДС E_0 , снимают показания приборов (амперметра $A2$ и вольтметра V) и заносят их в таблицу 8.1.

Опыт проводят следующим образом. Включают приводной двигатель, устанавливают синхронную частоту вращения $n_2 = n_1$ и поддерживают ее неизменной в течение всего опыта. Затем подключают активную нагрузку (включением рубильника $P3$) и регулируют сопротивление нагрузки R_n величину тока возбуждения таким образом, чтобы при номинальном напряжении ($U_1 = U_{1ном}$) ток нагрузки генератора был номинальным ($I_1 = I_{1ном}$). Потом постепенно разгружают генератор до х. х. ($I_1 = 0$) и получают данные внешней характеристики при активной нагрузке ($\cos \varphi_1 = 1$). После этого опыт повторяют при активно-индуктивной нагрузке ($P3$ разомкнут, $P4$ замкнут). Показания амперметра $A1$ и вольтметра V заносят в таблицу 8.2 и строят две внешние характеристики генератора в одних осях координат.

При $\cos \varphi_1 = 1$ и $\cos \varphi_1 < 1$ номинальное изменение напряжения генератора (%) при сбросе нагрузки

$$\Delta U_{ном} = \frac{U_0 - U_{1ном}}{U_{1ном}} \cdot 100\% \quad (8.2)$$

где $U_0 = E_0$ - напряжение генератора в режиме х. х., В.

Генератор постепенно нагружают на активную нагрузку ($P3$ замкнут) и регулируют ток возбуждения I_b таким образом, чтобы напряжение на выходе генератора в течение всего опыта оставалось неизменным и равным номинальному. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока нагрузки (амперметр $A1$) измеряют ток возбуждения генератора (амперметр $A2$). Показания приборов заносят в таблицу 8.3. Опыт повторяют при активно - индуктивной нагрузке ($P3$ отключен, $P4$ включен).

По регулировочным характеристикам определяют номинальное изменение тока возбуждения (%)

$$\Delta I_{\sigma} = \frac{I_{в.ном} - I_{в.0.ном}}{I_{в.0.ном}} \cdot 100\% \quad (8.3)$$

где $I_{в.ном}$ и $I_{в.0.ном}$ - значения токов возбуждения, соответствующие номинальному напряжению генератора $U_{ном}$ при номинальной нагрузке и в режиме х. х. соответственно, А.

Собирают схему опыта трехфазного к. з. синхронного генератора (рисунок 8.2) и после проверки ее преподавателем включают приводной двигатель при отключенном возбуждении генератора ($P2$ разомкнут). Установив номинальную частоту вращения ($n_2 = n_1$) и поддерживая ее в течение всего опыта неизменной, включают рубильник $P2$ и потенциометром R_a постепенно увеличивают ток возбуждения генератора до значения, при котором ток к. з. $I_{1к} = 1,2I_{1ном}$.

При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока $I_{1к}$ (амперметр $A1$) измеряют ток возбуждения I_b (амперметр $A2$). Одно измерение должно соответствовать току $I_{1к} = I_{1ном}$. Показания приборов заносят в таблицу 8.4.

Затем показания приборов пересчитывают на относительные значения и строят характеристику к. з. Отношение короткого замыкания

$$OKЗ = \frac{I_{к.0.ном}}{I_{в.к.ном}} \quad (8.4)$$

где $I_{в.к.ном}$ - ток возбуждения генератора при опыте к. з., соответствующий номинальному току статора ($I_{1к} = I_{1ном}$), А.

Для явнополюсных синхронных машин $OKЗ = 0,9 \div 1,9$.

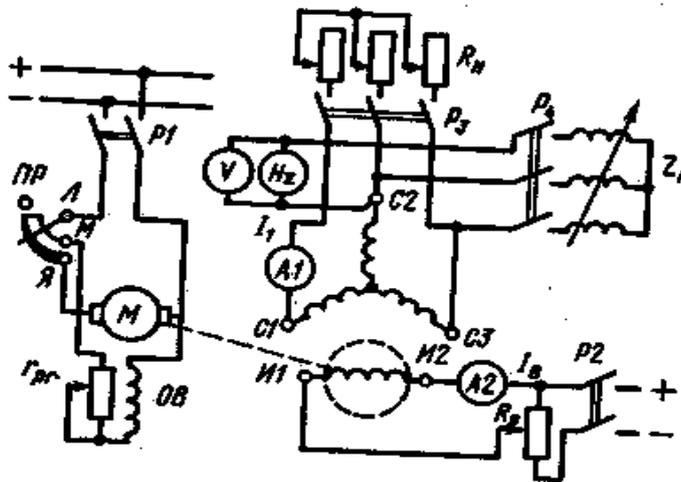


Рисунок 8.1 - Схема включения трехфазного синхронного генератора

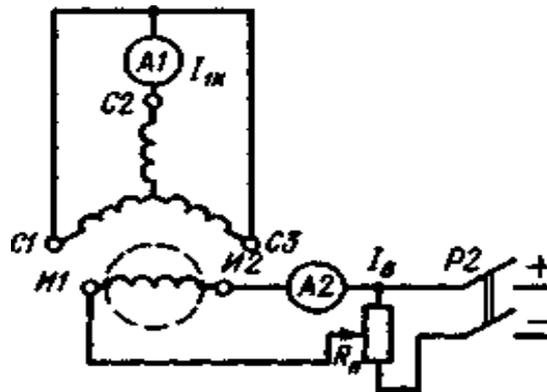


Рисунок 8.2 - Схема включения трехфазного синхронного генератора при опыте трехфазного к. з.

Таблица 8.1 - Результаты измерений

Намагничивание					Размагничивание				
Номер измерения	I_6, A	E_0, B	I_{6}^*, A	E_0^*	Номер измерения	I_6, A	E_0, B	I_{6}^*, A	E_0^*

Таблица 8.2- Результаты измерений

Номер измерения	$\cos\varphi_1 = 1$		Номер измерения	$\cos\varphi_1 < 1$	
	I_1, A	U_1, B		I_1, A	U_1, B

Таблица 8.3- Результаты измерений

Номер измерения	$\cos\varphi_1 = 1$		Номер измерения	$\cos\varphi_1 < 1$	
	I_1, A	I_6, A		I_1, A	I_6, A

Таблица 8.4 – Расчетные величины

I_{1k}, A						
I_6, A						
I_{1k}^*						
I_6^*						

Контрольные вопросы

- 1) Какова конструкция синхронных машин с явнополюсным и неявнополюсным роторами?
- 2) Какие способы возбуждения применяются в синхронных генераторах?
- 3) Можно ли регулировать напряжение синхронного генератора изменением частоты вращения ротора?
- 4) Почему характеристики x_c синхронного генератора при намагничивании и размагничивании не совпадают?
- 5) Почему внешние и регулировочные характеристики синхронного генератора, снятые при разных видах нагрузки, не совпадают?
- 6) Чем объясняется прямолинейный вид характеристики k_z синхронного генератора?
- 7) Что такое отношение короткого замыкания синхронного генератора и как влияет его величина на свойства генератора?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 3) Рисунок 8.1 - Схема включения трехфазного синхронного генератора.
- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов - таблицы 8.1 - 8.4.
- 6) Внешняя, регулировочная и характеристика холостого хода.
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Тема: Исследование трехфазного синхронного генератора, включенного на параллельную работу с сетью.

Цель: Приобрести практические навыки в сборке схемы и включении синхронного генератора на параллельную работу с сетью методом точной синхронизации; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах синхронного генератора, включенного на параллельную работу.

Студент должен *знать*:

- условные характеристики синхронных генераторов,
- средства повышения устойчивости параллельной работы генераторов,
- способы уменьшения колебания ротора,
- условия перехода синхронного генератора в асинхронный режим;

уметь:

- собирать схемы и включать синхронный генератор на параллельную работу с сетью методом точной синхронизации.

Теоретическое обоснование

Схема включения. В качестве приводного двигателя синхронного генератора (рисунок 9.1) используют двигатель постоянного тока параллельного возбуждения. Для измерения активной мощности генератора в схеме применен трехфазный двухэлементный ваттметр W , токовые обмотки которого включены в линейные провода через трансформаторы тока.

Для точной синхронизации генератора использован ламповый синхроскоп (возможно включение стрелочного синхроскопа). Лампы этого синхроскопа соединены по схеме «на погасание». Возможно включение ламп синхроскопа и по схеме «на вращение света».

Включение генератора на параллельную работу. При включении трехфазного синхронного генератора на параллельную работу с сетью необходимо соблюдение следующих условий:

- а) ЭДС генератора должна быть равна напряжению сети;

- б) частота ЭДС генератора и частота напряжения сети должны быть равны;
- в) ЭДС генератора должна находиться в противофазе с напряжением сети;
- г) чередование фаз генератора должно соответствовать чередованию фаз сети.

Приведение генератора в состояние, удовлетворяющее перечисленным условиям, называется синхронизацией. Соблюдение условий синхронизации проверяется с помощью синхроскопа. Простейший синхроскоп - ламповый, состоящий из трех ламп накаливания, которые могут быть включены по двум схемам: «на погасание» и «на вращение света».

При использовании синхроскопа по схеме «на погасание» каждая лампа включается в разрыв определенной фазы (рисунок 9.1). В этом случае момент синхронизации соответствует одновременному погасанию всех трех ламп. При несоблюдении условий синхронизации лампы часто вспыхивают и гаснут. Однако по мере приближения генератора к условиям синхронизации вспыхивание ламп становится все реже. Когда вспыхивания ламп становятся настолько редкими, что пауза между ними продолжается не менее 5...7 с, следует в момент погасания ламп замкнуть рубильник $P2$, подключающий генератор к сети на параллельную работу.

При включении ламп по схеме «на вращение света» (рисунок 9.2) соблюдению условий по синхронизации соответствует погасание лампы 2 и горение с одинаковой яркостью ламп 1 и 3. При несоблюдении условий синхронизации лампы вспыхивают поочередно, создавая эффект вращения света. По мере приближения к соблюдению условий синхронизации частота «вращения света» замедляется.

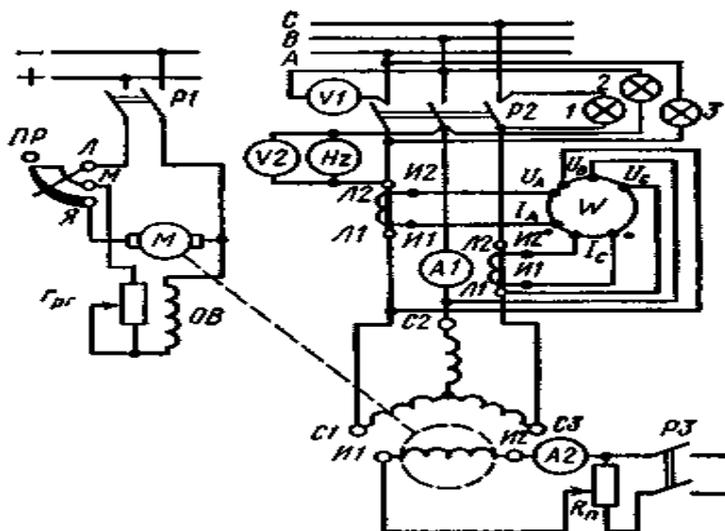


Рисунок 9.1 – Схема включения трехфазного синхронного генератора на параллельную работу с сетью

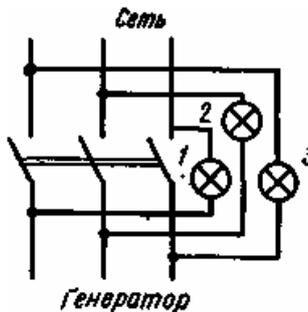


Рисунок 9.2 – Соединение ламп синхроскопа по схеме «вращение света»

Возможен случай, когда лампы, включенные по схеме «на погасание», создают эффект вращения света, и наоборот, включенные по схеме «на вращение света» одновременно гаснут и загораются. Такое явление обусловлено несоответствием

чередования фаз на генераторе чередованию фаз сети. В этом случае следует поменять местами провода, соединяющие генератор с зажимами рубильника $P2$ (см. рисунок 9.1).

После пуска приводного двигателя генератор возбуждают включением $P3$ и затем по показанию частотомера $Hз$ устанавливают синхронную частоту вращения ($n_2 = n_1$). С помощью потенциометра $R_{п}$ устанавливают ЭДС генератора $E_0 = U_{1ном}$, равную напряжению сети U_c . После этого, медленно перемещая движок регулировочного реостата $r_{рг}$ в цепи обмотки возбуждения приводного двигателя, наблюдают за поведением ламп синхроскопа, добиваясь их состояния, соответствующего соблюдению условий синхронизации. Добившись этого, включают рубильник $P2$.

U - образные характеристики генератора. Эти характеристики представляют собой зависимость тока статора I_x от тока возбуждения I_b при неизменной полезной мощности генератора P_2 . U - образные кривые снимают для трех значений полезной мощности генератора: $P_2 = 0$ (режим х. х.), $P_2 = 0,25P_{2ном}$, $P_2 = 0,5P_{2ном}$.

Включив генератор на параллельную работу с сетью, увеличивают ток возбуждения генератора I_b до тех пор, пока ток в цепи статора генератора не достигнет приблизительно номинального значения ($I_1 \approx I_{1ном}$). При этом приблизительно через одинаковые интервалы тока возбуждения I_b измеряют ток статора I_1 показания приборов $A1$ и $A2$ заносят в таблицу 9.1. Затем постепенно уменьшают ток возбуждения I_b до тех пор, пока ток статора I_1 , пройдя через минимум, не возрастет опять до номинального значения. После этого восстанавливают прежнее значение тока возбуждения I_b , то при котором ток статора имеет минимальное значение и, воздействуя на регулировочный реостат в цепи обмотки возбуждения приводного двигателя, доводят активную нагрузку генератора до значения $P_2 = 0,25P_{2ном}$. Данные U -образной характеристики для этой нагрузки генератора снимают в изложенном выше порядке и заносят их в таблицу 9.1. Опыт повторяют для нагрузки генератора $P_2 = 0,5 P_{2ном}$. Особо внимательно измеряют ток статора в зоне его минимальных значений.

На построенном графике следует указать зоны работы генератора с опережающим и отстающим токами статора. Точки на кривых, соответствующие минимальному току статора, соединяют пунктирной линией (рисунок 9.3):

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_2}{\sqrt{3}U_1I_1} \quad (9.1)$$

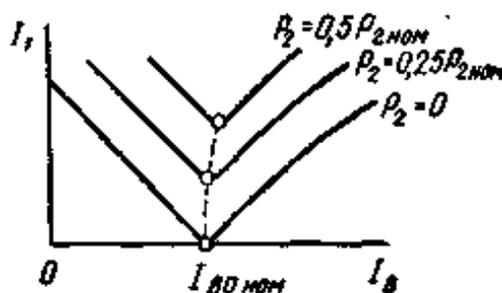


Рисунок 9.3 - U - образные характеристики синхронного генератора

Ход работы

- 1) Ознакомиться с конструкцией синхронного генератора и приводного двигателя; записать их паспортные данные и данные измерительных приборов.
- 2) Собрать схему по рисунку 9.1 и после проверки ее преподавателем произвести пуск генератора, проверить возможность регулировки параметров генератора.
- 3) Включить синхронный генератор на параллельную работу с сетью методом точной синхронизации.
- 4) Снять данные и построить U -образные характеристики синхронного генератора.

Таблица 9.1 – Результаты измерений и вычислений

Номер измерения	$P_2 = 0$			Номер измерения	$P_2 = 0,25P_{2ном}$			Номер измерения	$P_2 = 0,5P_{2ном}$		
	$I_B,$ А	$I_1,$ А	$\cos\varphi_1$		$I_B,$ А	$I_1,$ А	$\cos\varphi_1$		$I_B,$ А	$I_1,$ А	$\cos\varphi_1$

Контрольные вопросы

- 1) Какие условия необходимо соблюдать, прежде чем включить синхронный генератор на параллельную работу?
- 2) Каким прибором контролируется соблюдение условий синхронизации?
- 3) Как нагрузить синхронный генератор, подключенный на параллельную работу с сетью?
- 4) Изложите порядок действий при снятии данных для построения U -образных характеристик синхронного генератора.
- 5) Как определить, при какой величине тока возбуждения синхронный генератор, включенный на параллельную работу с сетью, будет работать с коэффициентом мощности $\cos\varphi_1 = 1$?
- 6) Если изменится активная нагрузка этого генератора, то потребуется ли изменить ток возбуждения, чтобы $\cos\varphi_1$ остался равным единице.

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Паспортные данные трехфазного двигателя.
- 3) Схема опыта (рисунок 9.1).
- 4) Ход работы.
- 5) Таблица результатов измерения и вычисления (таблица 9.1).
- 6) U -образные характеристики синхронного генератора.
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

Тема: Исследование работы сельсинов.

Цель: Ознакомиться с устройством и принципом работы сельсинов.

Изучить системы дистанционной передачи показаний при работе сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах.

Теоретическое обоснование

Сельсины представляют собой малогабаритные индукционные машины переменного тока. Наиболее широкое применение получили сельсины с одной однофазной обмоткой, другой – трёхфазной, которые могут быть выполнены в двух конструктивных вариантах:

1. Однофазная обмотка (обмотка возбуждения) укладывается на статоре с явно выраженными полюсами, а трёхфазная обмотка – на роторе, имеющем цилиндрическую форму; этот вариант исполнения применяется в сравнительно мощных сельсинах.

2. Однофазная обмотка укладывается на роторе с явно выраженными полюсами, а трёхфазная обмотка – в пазах статора; в этом случае ротор получается легче и проще и, кроме того, уменьшается момент трения вследствие уменьшения количества токоподводящих колец до двух (вместо трёх). Такие сельсины используются преимущественно в маломощных дистанционных передачах.

Напряжение питания в обоих вариантах сельсинов подводится обычно к однофазной обмотке, поэтому процессы, происходящие в них, совершенно одинаковы.

В зависимости от выполняемых функций различают:

1. Сельсин – датчик, вал сельсина датчика приводится в движение от механизма, угловое перемещение которого требуется передать дистанционно.

2. Сельсин – приёмник, ротор которого воспроизводит угловое перемещение ротора сельсин – датчика.

Сельсины работают всегда в паре (датчик – приёмник), при этом между ними существует только электрическая часть. Электрическую связь между датчиком и приёмником называют линией связи.

В системах автоматики сельсины работают в индикаторном или трансформаторном режимах.

Индикаторный режим.

Принципиальная схема включения сельсинной пары в индикаторном режиме приведена на рисунке 10.1. под индикаторным режимом работы сельсинов принимают режим дистанционной передачи углового перемещения ротора сельсина – датчика при работе на стрелку, закреплённую на роторе сельсин – датчика (система с нулевым нагрузочным моментом на валу приёмника).

Обмотки возбуждения сельсинов подключаются к однофазной сети переменного тока (обычно 110 В). Концы трёхфазных обмоток сельсин – датчика СД соединяются трёхпроводной линией связи с концами соответствующих обмоток сельсин – приёмника СП.

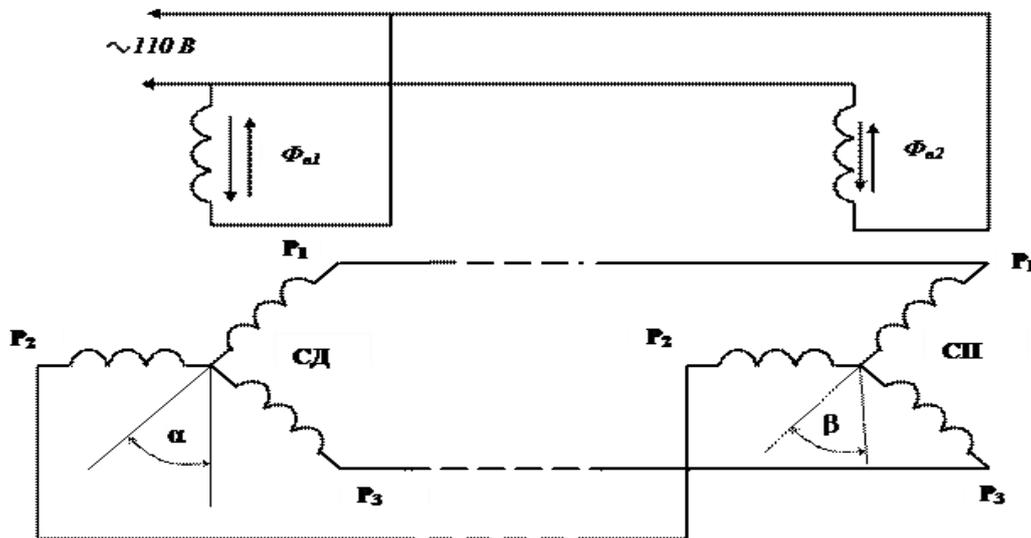


Рисунок 10.1.

Обмотки возбуждения сельсин – датчика и сельсин – приёмника создают пульсирующие потоки ФВ. Пересекая трёхфазные обмотки датчика и приёмника, они индуцируют в них ЭДС.

Система уравнений ЭДС:

а) для датчика:

$$E_{1Д} = E_{\max} \cos \alpha$$

$$E_{2Д} = E_{\max} \cos(\alpha + 120^\circ)$$

$$E_{3Д} = E_{\max} \cos(\alpha + 240^\circ)$$

б) для приёмника:

$$E_{1П} = E_{\max} \cos \beta$$

$$E_{2П} = E_{\max} \cos(\beta + 120^\circ)$$

$$E_{3П} = E_{\max} \cos(\beta + 240^\circ)$$

где ЕД; ЕП – фазные ЭДС;

E_{\max} – максимальные значения ЭДС в фазной обмотке датчика и приёмника при совпадении магнитной оси одной из фаз трёхфазной обмотки с осью однофазной обмотки;

α – угол отклонения ротора датчика от начального положения, при котором магнитная ось однофазной обмотки совпадает с первой фазой трёхфазной обмотки;

β – угол отклонения ротора приёмника от начального положения.

Если роторы сельсин – датчика и сельсин – приёмника расположены одинаково по отношению к осям статорных обмоток ($\alpha=\beta$), то в соответствующих фазовых обмотках ЭДС будут равны и направлены противоположно. Поэтому результирующие ЭДС каждой пары фазовых обмоток ($E1=E1Д - E1П$ и т.д.) равны нулю и уравнивающие токи в фазах трёхфазных обмоток сельсин – датчика будут отсутствовать.

Если ротор сельсин – датчика перевести в другое положение (изменить α), а затем затормозить, то угол рассогласования $\Theta=\alpha - \beta$ будет неравен нулю. В этом случае по линейным проводам трёхфазных обмоток потекут уравнивающие токи, т.к. $E1Д \neq E2Д \neq E3Д$. При взаимодействии потоков, создаваемых уравнивающими токами, с магнитными потоками ФВ, возникают синхронизирующие моменты на валах ротора сельсин – датчика и сельсин – приёмника. Т.к. ротор сельсин – приёмника не заторможен, то он будет стремиться повернуться в синфазное положение с ротором сельсин – датчика (т.е. в положение, когда $\Theta=\alpha - \beta=0$). Величина синхронизирующего момента зависит от величины угла рассогласования Θ и не зависит от положения роторов сельсин – датчика и сельсин – приёмника по отношению к начальному положению и определяется выражением: $M_{\text{синх}}=M_{\text{max}}\sin\Theta$.

Трансформаторный режим.

Сельсины, работающие в трансформаторном режиме, применяются для дистанционного измерения рассогласования положений между задающей и исполнительной осями. Принципиальная схема соединения сельсинов в трансформаторном режиме показана на рисунке 8.2. От сети переменного тока получает питание только обмотка возбуждения сельсин – датчика. Обмотки ротора сельсин – датчика соединены с соответствующими обмотками ротора сельсин – приёмника.

Пульсирующий магнитный поток обмотки возбуждения сельсин – датчика ФВ индуцирует в его фазовых обмотках ЭДС $E1Д, E2Д, E3Д$. В фазовых обмотках сельсин – приёмника, ввиду отсутствия потока возбуждения, не возникает никаких дополнительных ЭДС. Если пренебречь сопротивлением линий связи и считать, что величины сопротивлений фазовых обмоток обоих сельсинов одинаковы, то под действием ЭДС, индуцируемых в роторных обмотках сельсин – датчика, в цепи линий связи и роторных обмотках сельсин – приёмника будут протекать уравнивающие токи $I1, I2, I3$. Эти токи создают переменные магнитные потоки в трёхфазной обмотке сельсин приёмника, которые индуцируют ЭДС $E1', E2', E3'$ в однофазной обмотке статора сельсин – приёмника. Суммарная ЭДС определяется как $U_{\text{вых}}=E1'+E2'+E3'$. Напряжение на клеммах однофазной обмотки статора сельсин – приёмника не зависит от углового положения роторов, а зависит только от величины угла рассогласования между ними. Если ротор сельсин – приёмника затормозить в любом положении, то по величине напряжения $U_{\text{вых}}$ можно судить о величине угла поворота ротора сельсин – датчика относительно заторможенного ротора сельсин – приёмника. Когда угол рассогласования $\Theta=0$, то $U_{\text{вых}}=U_{\text{max}}\cos\Theta$ будет максимальным; при $\Theta=90^\circ$, $U_{\text{вых}}=0$. Практически за начальное положение принимается такое, когда роторы сельсин – датчика и сельсин – приёмника сдвинуты на угол 90° ; в этом случае: $\Theta'=90^\circ+\Theta$ и $U_{\text{вых}}=U_{\text{max}}\cos(90^\circ+\Theta) = U_{\text{max}}\sin\Theta'$

Обмотка возбуждения сельсин – приёмника предназначена для выработки выходного сигнала (напряжения), зависящего от угла рассогласования Θ и может быть подключена к измерительному прибору (в нашем случае – вольтметру), а также фазочувствительному усилителю, который управляет работой исполнительного двигателя. Усилитель следящей системы выполнен так, что он реагирует на изменение величины и фазы напряжения, подаваемого на его вход и заставляет двигатель поворачивать ось сельсин – приёмника в сторону уменьшения рассогласования между роторами сельсинов. Одновременно двигатель приводит в действие исполнительный механизм.

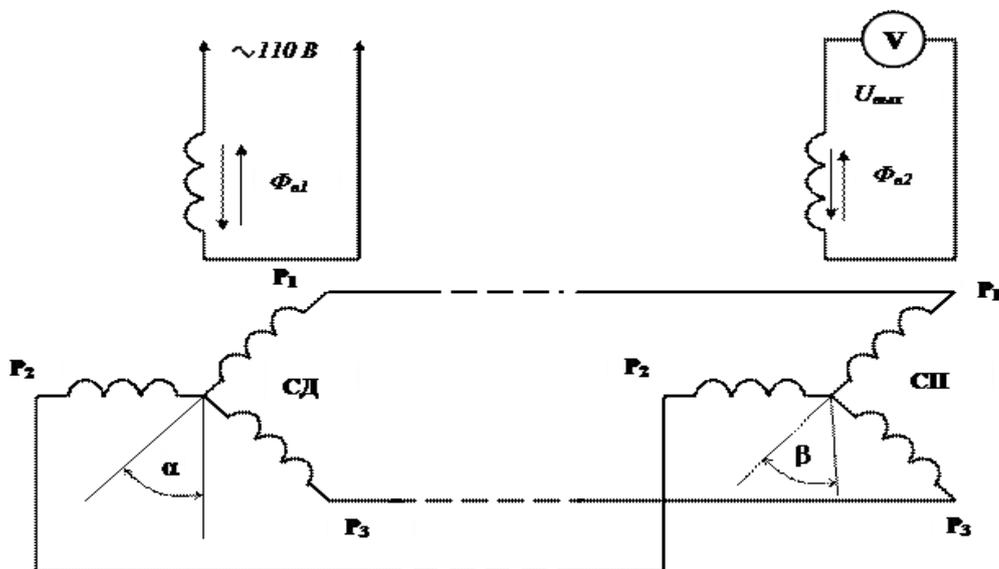


Рисунок 10.2.

Рассмотренные режимы работы сельсинов применяются при автоматизации технологических процессов в строительной индустрии (дозаторы, весовые головки), в водопроводно – канализационных сооружениях и гидромелиоративных системах (уровнемеры), для передачи на расстояния различных физических величин, преобразованных в линейное или угловое перемещение, а также как следящие системы.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы сельсинов.
2. Подключить обмотку возбуждения сельсин – датчика к сети переменного тока напряжения 110 В и измеряя напряжения U_{12} , U_{23} , U_{31} снять кривые зависимостей $U_{12}=f(\alpha)$, $U_{23}=f(\alpha)$, $U_{31}=f(\alpha)$ при повороте ротора от 0° до 180° .

Результаты измерений свести в таблицу 7.1.

Напряжение роторных обмоток сельсина 0° 30° 60° 90° 120° 150° 180°

U_{12} , [В]

U_{23} , [В]

U_{31} , [В]

3. Собрать схему исследования сельсинной пары в индикаторном режиме (рис.8.1) и снять зависимость угла поворота ротора сельсин – датчика от угла поворота сельсин – приёмника.

Результаты измерений свести в таблицу 7.2.

Положение ротора сельсин – датчика 0° 30° 60° 90° 120° 150° 180°

Положение ротора сельсин – приёмника

Погрешность абсолютная.

4. Собрать схему исследования сельсинов в трансформаторном режиме (рис.8.2) и снять зависимость напряжения сельсин – приёмника от угла рассогласования $U_{вых}=f(\Theta')$ при заторможенном роторе сельсин приёмника. Напряжение питания в процессе опыта поддерживать постоянным с помощью ЛАТРа.

Результаты измерений свести в таблицу 7.3.

Угол рассогласования Θ' 0° 30° 60° 90° 120° 150° 180°

Напряжение сельсин – приёмника $U_{вых}$

Содержание отчёта

1. Наименование и цель работы.
2. Краткое описание принципа работы сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах.

3. Схемы исследования сельсинов и таблицы измеренных и вычисленных величин, графики зависимостей $U_{12}=f(\alpha)$, $U_{23}=f(\alpha)$, $U_{31}=f(\alpha)$, $\beta=f(\alpha)$, $U_{\text{вых}}=f(\Theta)$.

Контрольные вопросы

1. Назначение и устройство сельсинов.
2. Принцип работы сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах.
3. Применение сельсинов при автоматизации технологических процессов строительного производства, водопроводно-канализационных сооружений, гидромелиоративных систем (пояснить рисунками).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Тема: Исследование трехфазного синхронного двигателя.

Цель: Изучить устройство синхронного двигателя и приобрести практические навыки в сборке схемы, пуске и снятии данных для построения характеристик двигателя; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах трехфазных синхронных двигателей.

Студент должен *знать*:

- принцип работы синхронного двигателя;
- конструктивные особенности синхронного двигателя и способы его пуска;
- работу синхронного двигателя при изменении тока возбуждения и при изменении нагрузочного момента на валу двигателя;

уметь:

- рассчитывать электромагнитную мощность, электромагнитный момент, перегрузочную способность и построить рабочие характеристики синхронного двигателя.

Теоретическое обоснование

Известно, что частота вращения ротора синхронного двигателя при изменениях нагрузки остается неизменной, равной синхронной частоте вращения. Однако при перегрузке двигателя или же при резком уменьшении напряжения в сети возможно «выпадение» двигателя из синхронизма. Поэтому при выполнении экспериментов необходимо, контролировать синхронную частоту вращения двигателя. Это удобнее всего делать стробоскопическим способом: либо с помощью строботактометра, либо с помощью стробоскопических меток, нанесенных в виде чередующихся черных и белых полос на поверхность муфты, соединяющей валы двигателя и нагрузочного устройства. Число этих полос должно быть равно числу полюсов $2p$ двигателя. Так, при частоте тока 50 Гц, если $2p = 2$ ($n_1 = 3000$ об/мин), то должна быть одна белая и одна черная полосы, а если $2p = 2$ ($n_1 = 1500$ об/мин), то должны быть две белые и две черные полосы и т. д.

Вращающаяся поверхность с нанесенными полосами должна освещаться лампой, включенной в сеть переменного тока (50 Гц). Если в процессе работы двигателя полосы кажутся неподвижными, то ротор двигателя вращается с синхронной частотой вращения, если же они кажутся вращающимися в сторону противоположную фактическому вращению муфты, то это свидетельствует о «выпадении» двигателя из синхронизма.

Рабочие характеристики синхронного двигателя представляют собой зависимость тока статора I_1 , потребляемой мощности P_1 нагрузочного момента M_2 и КПД η от полезной мощности двигателя при токе возбуждения $I_B = I_{1\text{ном}}$, соответствующем $\cos\varphi_1 = 1$.

Анализируя результаты лабораторной работы, в первую очередь устанавливают, соответствуют ли номинальные параметры двигателя, полученные опытным путем тем, паспортным данным двигателя. Затем, используя U -образные характеристики двигателя, определяют зоны работы двигателя с отстающим и опережающим током статора. Необходимо определить при каком значении тока возбуждения работа двигателя наиболее экономична. При этом необходимо также иметь в виду влияние индуктивного характера нагрузки, создаваемой потребителями электроэнергии, включенными в общую сеть с синхронным двигателем. Анализируя рабочие характеристики двигателя, следует дать заключение о соответствии формы полученных графиков типовым, приведенным в учебнике.

Ход работы

- 1) Ознакомиться с конструкцией синхронного двигателя и устройством для его нагрузки, записать паспортные данные двигателя и данные измерительных приборов.
- 2) Собрать схему по рисунку 11.1.

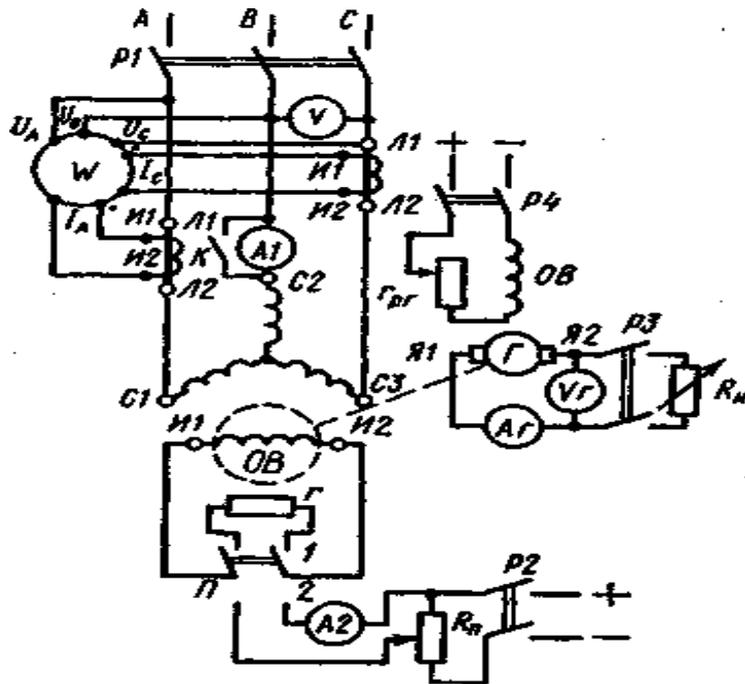


Рисунок 11.1 – Схема включения трехфазного синхронного двигателя

- 3) Произвести пуск двигателя, снять данные для построения характеристик двигателя.

Схема соединений и пуск двигателя. Для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети, в схеме (рисунок 11.1) предусмотрен трехфазный двухэлементный ваттметр W , токовые катушки которого включены через трансформаторы тока. В цепь обмотки возбуждения включен переключатель Π , позволяющий на время пуска двигателя замкнуть обмотку возбуждения OB на активное сопротивление r (положение 1), а по окончании пуска подключить эту обмотку к источнику постоянного тока (положение 2), т. е. возбудить двигатель.

В качестве нагрузочного устройства синхронного двигателя в схеме предусмотрен генератор постоянного тока независимого возбуждения. Величина нагрузочного момента на валу двигателя M_2 регулируется электрическим сопротивлением нагрузочного реостата $r_{нг}$, включенного на выводы обмотки якоря генератора, и изменением тока возбуждения генератора (регулирующим реостатом $r_{рг}$). Для увеличения нагрузочного момента уменьшают либо нагрузочное сопротивление $R_{нг}$, либо сопротивление реостата $r_{г}$ в цепи возбуждения генератора.

Нагрузочный момент на валу двигателя (Н·м)

$$M_2 = \frac{9,55 P_2}{n_1 \eta_2} \quad (11.1)$$

Мощность на выходе нагрузочного генератора (Вт)

$$P_Г = U_Г I_Г \quad (11.2)$$

где n_1 - синхронная частота вращения, об/мин;

$\eta_Г = f(P_Г)$ - КПД генератора (в долях единицы), задается в виде графика;

$U_Г$ и $I_Г$ - напряжение (В) и ток (А) в цепи якоря генератора, измеряются вольтметром $V_Г$ и амперметром $A_Г$.

При включении двигателя в сеть возникает значительный пусковой ток в обмотке статора.

Для предохранения амперметра $A1$ от разрушения большим пусковым током в схеме предусмотрен шунтирующий ключ K . Амперметр $A2$ в цепи OB синхронного двигателя должен иметь двустороннюю шкалу (ноль посередине).

После сборки схемы и проверки ее преподавателем осуществляют асинхронный пуск синхронного двигателя. Для этого ключ K , замыкают, а переключатель Π ставят в положение 1, т. е. замыкают обмотку возбуждения двигателя на активное сопротивление r . Затем включают рубильник $P1$, подключающий к сети обмотку статора. Ротор двигателя начинает вращаться, и, разгоняясь, приближается к синхронной частоте вращения. При этом стрелка амперметра $A2$ отклоняется влево и вправо от нуля. Когда нарастание частоты вращения ротора прекратится, то в момент отклонения стрелки $A2$ в какую-либо сторону следует возбудить двигатель, т. е. быстро перевести переключатель Π в положение 2, подав напряжение в цепь OB . После этого двигатель втягивается в синхронизм и процесс заканчивается. Далее следует разомкнуть ключ K и потенциометром R_{Π} установить такую величину тока возбуждения $I_B = I_{B.н.ом}$, при которой ток статора имеет минимальное значение.

U -образные характеристики синхронного двигателя представляют собой зависимость тока статора I_1 , и коэффициента мощности $\cos\varphi_1$ от тока возбуждения двигателя I_B при неизменной полезной мощности двигателя ($P_2 = const$) (рисунок 11.2).

Данные для построения U -образных характеристик получают следующим образом. После пуска синхронного двигателя подключают к генератору нагрузочный реостат R_{Π} (замыкают $P3$) и увеличивают t возбуждения генератора до значения, при котором ток статора достигнет величины $I_1 = 0,5I_{1.ном}$.

Одновременно корректируют величину тока возбуждения двигателя, отыскав такое его значение $I_B = I_{B.ном}$, при котором ток статора имеет минимальное при заданной нагрузке значение, представляющее собой активный ток статора $I_1 = I_{1a}$.

Затем потенциометром R_{Π} увеличивают ток возбуждения I_B до значения, при котором ток статора достигнет номинального значения. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I_1 снимают показания амперметров $A1$ и $A2$ и ваттметра W и заносят и в таблицу 11.1. Всего снимают пять показаний. Потом восстанавливают прежнее значение тока возбуждения $I_{B.ном}$ и постепенно уменьшают его до величины, при которой ток статора вновь достигнет номинального значения. Показания приборов заносят в таблицу 11.1.

Затем потенциометром R_{Π} увеличивают ток возбуждения I_B до значения, при котором ток статора I_1 достигает номинального значения. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока снимают показания амперметров $A1$ и $A2$ и ваттметра W и заносят их в таблицу 11.1. Всего снимают пять показаний. Потом восстанавливают прежнее значение тока возбуждения $I_{B.ном}$ и постепенно уменьшают до величины, при котором ток статора вновь достигнет номинального значения. Показания приборов заносят в таблицу 11.1.

Мощность, потребляемая двигателем из сети (Вт):

$$P_1 = P'_1 k_{\text{тр}} C_w, \quad (11.3)$$

где $k_{\text{тр}}$ - коэффициент трансформации трансформатора тока;

C_w - цена деления ваттметра, Вт/дел.

Коэффициент мощности двигателя

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}I_1 U_1} \quad (11.4)$$

где U_1 - напряжение сети, В.

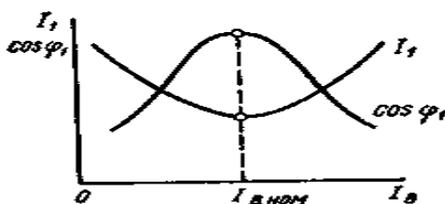


Рисунок 11.2 – U – образные характеристики синхронного двигателя

Рабочие характеристики. После пуска двигателя устанавливают ток возбуждения $I_{в.0.ном}$. Затем замыкают $P3$ и $P4$ (см. рисунок 11.1) и нагружают генератор, постепенно доводя ток статора до значения $I_1 = I_{1ном}$. Приблизительно через одинаковые интервалы этого тока снимают показания приборов и заносят их в таблицу 11.2. При каждом снятии показаний приборов следует изменить ток возбуждения двигателя и установить величину $I_{в.ном}$, соответствующую минимальному значению тока статора при данном нагрузочном моменте M_2 .

Затем выполняют расчеты: подводимая к двигателю мощность (11.3) (Вт); мощность на выходе генератора по (11.2) (Вт); момент вала двигателя по (11.1) (Нм); полезная мощность двигателя (Вт)

$$P_2 = P_r / \eta_r, \quad (11.5)$$

коэффициент мощности двигателя по (10.4) КПД (%)

$$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100 \quad (11.6)$$

По данным таблицы 11.2 строят рабочие характеристики синхронного двигателя в одних осях координат.

Таблица 11.1 – Результаты измерения и вычисления

Номер измерения	Измерения			Вычисления	
	$I_{в}, A$	I_1, A	$P'_1, \text{дел.}$	$P_1, \text{Вт}$	$\cos \varphi$

Таблица 11.2 – Результаты измерения и вычисления

Номер измерения и вычисления	Измерения						Вычисления					
	$I_{в}, A$	$I_{в1}, A$	$P'_1, \text{дел.}$	U_1, B	U_r, B	I_r, A	$P_1, \text{Вт}$	$P_r, \text{Вт}$	$M_2, \text{Н}\cdot\text{м}$	$P_2, \text{Вт}$	$\cos \varphi$	$\eta, \%$

Контрольные вопросы

- 1) Объясните принцип работы синхронного двигателя.
- 2) Какие существуют способы пуска синхронных двигателей
- 3) С какой целью при асинхронном пуске синхронного двигателя обмотку возбуждения замыкают на активное сопротивление?
- 4) Почему при регулировке тока возбуждения меняется величин тока статора синхронного двигателя?
- 5) При каких условиях синхронный двигатель работает с отстающим током статора, а при каких с опережающим?
- 6) Что такое выпадение синхронного двигателя из синхронизма, и при каких условиях оно происходит?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схема опыта – рисунок 11.1
- 3) Паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов - 11.1 и 11.2.
- 6) График U – образных и рабочих характеристик.
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Тема: Исследование синхронного реактивного конденсаторного двигателя.

Цель: Изучить устройство синхронного реактивного конденсаторного двигателя и приобрести практические навыки в сборке схем соединения и опытным исследованием двигателя для определения его основных параметров; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах реактивных синхронных двигателей.

Студент должен *знать*:

- устройство и принцип действия синхронного реактивного и конденсаторного двигателя;

уметь:

- рассчитать реактивный момент и угловую характеристику двигателя, моменты входа и выхода из синхронизма.

Теоретическое обоснование

Схема соединений. Синхронный реактивный двигатель (рисунок 12.1) в отличие от обычного синхронного двигателя не имеет обмотки возбуждения. Его ротор представляет собой явнополюсную шихтованную конструкцию из тонколистовой электротехнической стали с короткозамкнутой пусковой клеткой.

Исследуемый двигатель является конденсаторным, т. е. на его статоре имеются две однофазные обмотки A и B , оси которых сдвинуты в пространстве относительно друг друга на 90 эл. град. В цепь обмотки B включен фазосдвигающий элемент - конденсатор $C_{\text{раб}}$. Емкость этого конденсатора выбрана таким образом, чтобы обеспечить в двигателе круговое вращающееся поле при номинальной нагрузке.

Для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети, в схеме применен однофазный ваттметр. Для предохранения амперметра A от повреждения большим пусковым током в схему включен ключ $K2$. Подводимое к двигателю напряжение регулируют с помощью *РНО*.

Предполагается, что исследуемый двигатель имеет небольшую мощность (не более 50 Вт) и для его нагрузки используют ленточный тормоз маятникового типа МТ.

Для контроля за синхронной частотой вращения ротора двигателя на шкиве, насаженном на вал двигателя, нанесены стробоскопические метки.

Момент входа в синхронизм и момент выхода из синхронизма. Момент входа в синхронизм представляет собой наибольший момент сопротивления на валу двигателя, при котором ротор еще втягивается в синхронизм. Момент входа в синхронизм M_M - это асинхронный момент и при заданном напряжении питания U_1 его величина определяется параметрами короткозамкнутой пусковой клетки на роторе.

Момент выхода из синхронизма $M_{\text{вых}}$ - это максимальный реактивный момент. Дело в том, что если нагрузочный момент на валу двигателя достигнет значения, равного максимальному реактивному моменту, то работа двигателя становится неустойчивой, так как даже при незначительном увеличении нагрузки происходит разрыв магнитной связи между полюсами вращающегося магнитного поля статора и выступающими частями ротора. В этом случае ротор двигателя либо остановится, либо будет продолжать вращение под действием асинхронного момента с частотой вращения $n_2 < n_1$.

Ход работы

Пуск двигателя выполняют следующим образом. Собирают схему по рисунку 12.1 и после проверки ее преподавателем, замкнув ключ $K2$ при разомкнутом ключе $K1$, включают рубильник $P1$ и с помощью *РНО* устанавливают номинальное напряжение ($U_1 = U_{1\text{ном}}$). Затем, замкнув ключ $K1$, запускают двигатель. Окончание процесса пуска и вхождение двигателя в синхронизм фиксируются по стробоскопическим меткам на шкиве двигателя, которые при синхронной частоте вращения кажутся неподвижными. После этого ключ $K2$ размыкают.

Рабочие характеристики. Посредством тормоза MT постепенно увеличивают нагрузочный момент двигателя M_2 до значения, при котором ток $I_1 = 1,2 I_{\text{ном}}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I_1 снимают показания приборов. Всего делают не менее пяти измерений и показания приборов заносят в таблицу 12.1. Затем выполняют расчеты: полезная мощность двигателя (Вт)

$$P_2 = 0,105M_2n_1 \quad (12.1)$$

коэффициент мощности

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1I_1} \quad (12.2)$$

КПД двигателя

$$\eta = (P_2/P_1) \cdot 100 \quad (12.3)$$

По данным таблицы 12.1 в одних осях координат строят рабочие характеристики двигателя: зависимости тока I_1 потребляемой мощности P_1 , нагрузочного момента (момента на валу) M_2 , коэффициента мощности $\cos\varphi_1$ и КПД двигателя от полезной мощности P_2 .

Для экспериментального определения моментов $M_{\text{вх}}$ и $M_{\text{вых}}$ поступают следующим образом. Регулятором напряжения PHO устанавливают номинальное напряжение $U_1 = U_{1\text{ном}}$. Затем включают двигатель и с помощью тормозного устройства постепенно увеличивают нагрузку на валу двигателя до значения, при котором нарушится синхронное вращение ротора (стробоскопические метки на шкиве перестанут казаться неподвижными). Это значение момента и представляет собой момент выхода двигателя из синхронизма $M_{\text{вых}}$.

После этого плавно уменьшают величину нагрузочного момента M_2 до тех пор, пока двигатель не втянется в синхронизм (стробоскопические метки вновь будут казаться неподвижными). Соответствующий этому нагрузочный момент на валу двигателя представляет собой момент входа в синхронизм $M_{\text{вх}}$. Опыт повторяют при пониженном напряжении $0,85U_{1\text{ном}}$ и при повышенном напряжении $1,15U_{1\text{ном}}$.

Результаты измерений заносят в таблицу 12.2 и определяют кратности моментов по отношению к номинальному моменту двигателя $M_{2\text{ном}}$ (см. таблицу 12.1): $M_{\text{вх}}/M_{2\text{ном}}$ и $M_{\text{вых}}/M_{2\text{ном}}$.

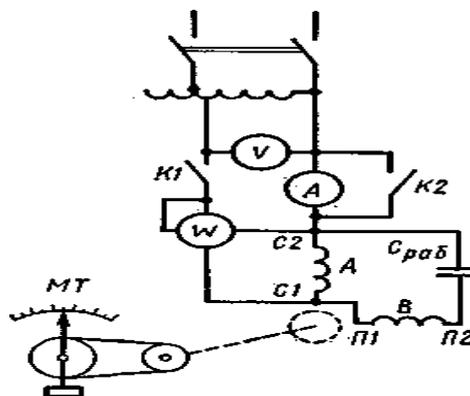


Рисунок 12.1 - Схема включения синхронного реактивного конденсаторного двигателя

Таблица 12.1 - Результаты измерения и вычисления

Номер измерения и вычисления	Измерения				Вычисления		
	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , Вт	M_2 , Нм	P_2 , Вт	$\cos\varphi_1$	η , %

Таблица 12.2 - Результаты измерения и вычисления

U_1 , В	$M_{\text{вых}}$, Нм	$M_{\text{вх}}$, Нм	$M_{\text{вых}}/M_{2\text{ном}}$, Нм	$M_{\text{вх}}/M_{2\text{ном}}$, Нм

$U_{1ном}$			
$0,85 U_{1ном}$			
$1,15 U_{1ном}$			

Анализ полученных в лабораторной работе результатов начинают с определения соответствия паспортных данных двигателя номинальным параметрам, полученным опытным путем.

Анализируя форму графиков рабочих характеристик, необходимо иметь в виду, что исследуемый двигатель относится к категории микродвигателей и поэтому некоторые из его графиков имеют несколько необычную форму. Например, величина тока двигателя в режиме х. х. незначительно отличается от тока в режиме номинальной нагрузки, а КПД двигателя весьма небольшой. Одной из причин, объясняющих это, является значительный намагничивающий ток двигателя, обусловленный отсутствием на роторе обмотки возбуждения и сравнительно большим средним значением воздушного зазора.

Анализируя результаты по определению моментов входа и выхода из синхронизма, удобно пользоваться для сравнения кратностями этих моментов. Следует указать, какое из отношений моментов представляет собой перегрузочную способность синхронного реактивного двигателя. Обобщая данные таблицы 12.2, следует сделать вывод о характере влияния напряжения сети на величину рассматриваемых моментов $M_{вх}$ и $M_{вых}$.

Контрольные вопросы

- 1) Какова физическая сущность возникновения реактивного момента?
- 2) Какие применяются конструкции роторов в синхронных реактивных двигателях?
- 3) Чем объясняется значительная величина тока х. х. у реактивного двигателя?
- 4) Что такое момент входа в синхронизм и момент выхода из синхронизма?
- 5) От каких параметров зависит величина этих моментов?
- 6) Что такое перегрузочная способность реактивного двигателя и как ее определить экспериментально?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схема опыта – рисунок 12.1
- 3) Паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов - 12.1 и 12.2.
- 6) Рабочие характеристики.
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе

Лабораторная работа № 13

Тема: Исследование генератора постоянного тока параллельного возбуждения

Цель: Изучить устройство генератора постоянного тока параллельного возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы и опытном исследовании генератора по определению его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах генераторов постоянного тока параллельного возбуждения.

Студент должен *знать*:

- конструкцию генератора и приводного двигателя,
- условия самовозбуждения генераторов постоянного тока;
- генератор параллельного возбуждения - схема соединений, основные характеристики (самовозбуждения, внешняя, регулировочная).

уметь:

- строить характеристику самовозбуждения, внешнюю характеристику генератора;
- определять номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки.

Теоретическое обоснование

Внешняя характеристика. Эта характеристика представляет собой зависимость напряжения на выходе U от тока нагрузки I при неизменной частоте вращения $n = n_{\text{ном}}$ и сопротивлении цепи возбуждения $r_{\text{пр}} = \text{const}$.

Характеристика самовозбуждения. Характеристика самовозбуждения представляет собой зависимость напряжения на зажимах генератора в режиме х.х. $U_0 = E_0$ от частоты вращения n при неизменном сопротивлении цепи возбуждения ($r_{\text{пр}} = \text{const}$).

Анализируя результаты лабораторной работы, устанавливают, соответствуют ли номинальные данные генератора, полученные опытным путем, его паспортным данным. При анализе характеристики самовозбуждения необходимо указать полученное значение критической частоты вращения. Для внешней характеристики генератора нужно перечислить причины, вызывающие уменьшение напряжения на выходе генератора при росте его нагрузки.

Ход работы

1) Ознакомиться с конструкцией генератора и приводного двигателя, записать их паспортные данные и данные измерительных приборов.

2) Собрать схему по рисунку 13.1, после проверки ее преподавателем выполнить пробный пуск генератора. Проверить соблюдение условий самовозбуждения, возможность регулировки и нагрузки генератора.

Представленная на рисунке 13.1 схема соединений предусматривает применение двигателя постоянного тока параллельного возбуждения в качестве приводного двигателя.

Обмотка возбуждения исследуемого генератора включена параллельно обмотке якоря, а для регулировки тока возбуждения в цепи этой обмотки имеется регулировочный реостат $r_{\text{пр}}$. Работа генератора основана на принципе самовозбуждения.

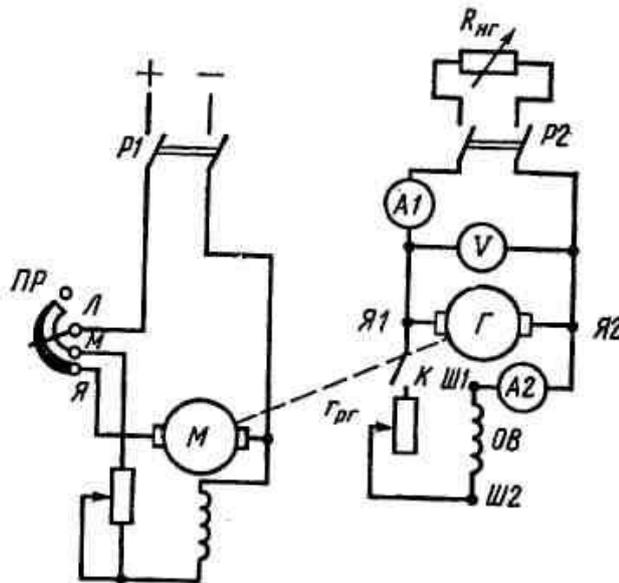


Рисунок 13.1 – Схема включения генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

После сборки схемы и проверки ее преподавателем включают приводной двигатель (замыкают $P1$) и устанавливают номинальную частоту вращения. Затем приступают к проверке условий самовозбуждения. При разомкнутых рубильнике $P2$ и ключе K вольтметром V измеряют напряжение на выходе генератора. Если вольтметр V показывает небольшое напряжение (ЭДС остаточного магнетизма), то это свидетельствует о соблюдении первого условия самовозбуждения – магнитная система генератора обладает

остаточным магнетизмом. Если же магнитная система размагнитилась, то ее можно намагнитить, подключив обмотку возбуждения на некоторое время к источнику постоянного тока.

Затем устанавливают на реостате $r_{рг}$ наибольшее сопротивление, замыкают ключ K и, постепенно уменьшая сопротивление $r_{рг}$, наблюдают за показаниями вольтметра V . При этом возможны три случая:

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

б) напряжение генератора уменьшается, что указывает на неправильное подключение обмотки возбуждения к цепи обмотки якоря, при котором МДС обмотки возбуждения действует встречно магнитному потоку остаточного магнетизма и размагничивает машину; устранить этот дефект можно, изменив направление тока в обмотке возбуждения (поменять местами провода, подключенные к зажимам обмотки $III1$ и $III2$);

в) напряжение генератора увеличивается - начинается процесс самовозбуждения.

3) Снять данные и построить характеристику самовозбуждения генератора. Для чего установив номинальное напряжение генератора при отключенном рубильнике $P2$ и номинальной частоте вращения, повышают частоту вращения до $n = 1,2n_{ном}$. Затем постепенно уменьшают частоту вращения и снимают пять показаний вольтметра V и тахометра (либо другого измерителя частоты вращения). По этим показаниям строят характеристику самовозбуждения (рисунок 13.2).

Для уменьшения частоты вращения до весьма малых значений необходимо на время этого опыта подключить приводной двигатель к источнику постоянного тока с регулируемым напряжением. На некотором участке характеристики самовозбуждения, соответствующем небольшой частоте вращения, показания вольтметра V не зависят от частоты вращения. Соответствующая этому явлению частота вращения называется критической $n_{кр}$. Самовозбуждение генератора возможно лишь при частоте вращения, превышающей критическую. Величина $n_{кр}$ зависит от сопротивления цепи возбуждения: с увеличением сопротивления $r_{рг}$ величина $n_{кр}$ возрастает. В этом можно убедиться при выполнении опыта.

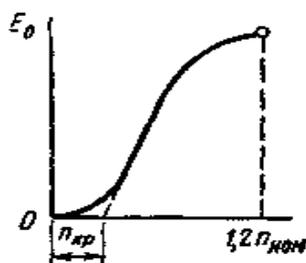


Рисунок 13.2 – Характеристики самовозбуждения генератора постоянного тока.

4) Снять данные и построить внешнюю характеристику генератора и определить номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки.

Включив приводной двигатель, подключают нагрузку (замыкают $P2$) и замыкают цепь возбуждения (включают K). Регулируя сопротивление $R_{нг}$ и сопротивление регулировочного реостата $r_{рг}$, устанавливают номинальный режим работы генератора (частота вращения при этом должна быть номинальной и оставаться такой в течение всего опыта). Сняв показания вольтметра V и амперметра $A1$, уменьшают нагрузку (увеличивают сопротивление $R_{нг}$), сопротивление $r_{рг}$ должно оставаться при этом неизменным. Разгружая генератор вплоть до режима х. х., снимают не менее пяти показаний приборов и заносят их в таблицу 13.1, а затем строят внешнюю характеристику генератора.

Номинальное изменение напряжения генератора при сбросе нагрузки определяется выражением:

$$\Delta U_{\text{ном}} = \frac{E_0 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} 100, \quad (13.1)$$

4) Составить отчет и сделать вывод о проделанной работе.

Таблица 13.1 – Результаты измерений и расчетов

$I_B / I_{\text{НОМ}}$	1,0	0,85	0,75	0,50	0
I_a, A					
U, B					
I_B, A					

Контрольные вопросы

- 1) Каковы условия, необходимые для процесса самовозбуждения генератора постоянного тока?
- 2) Какое условие самовозбуждения нарушено, если при замыкании цепи возбуждения ЭДС генератора уменьшается до нуля?
- 3) Что представляет собой характеристика самовозбуждения? что такое критическая частота вращения?
- 4) Почему внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения имеет более падающий вид, чем внешняя характеристика генератора независимого возбуждения?

Содержание отчета

- 1) Номер, название и цель работы.
- 2) Рисунок 13.1.
- 3) Паспортные данные измерительных приборов.
- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов таблицы 13.1.
- 6) Характеристики самовозбуждения, внешняя характеристика.
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод по лабораторной работе.
- 9)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Тема: Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения.

Цель: Изучить конструкцию генератора постоянного тока независимого возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схем и опытном исследовании генератора при снятии данных и построении основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о генераторах постоянного тока независимого возбуждения.

Студент должен *знать*:

- реакцию якоря машины постоянного тока, учет размагничивающего действия реакции якоря;
- конструкцию генератора и приводного двигателя, процесс работы и основные характеристики генератора независимого возбуждения;

уметь:

- рассчитать реакцию якоря машины постоянного тока, произвести учет размагничивающего действия реакции якоря.

Теоретическое обоснование

В качестве приводного двигателя в схеме приведен двигатель постоянного тока параллельного возбуждения.

Генератор постоянного тока имеет независимое возбуждение, т. е. его обмотка возбуждения OB электрически не соединена с обмоткой якоря и подключена к постороннему источнику постоянного тока через потенциометр $R_{п}$.

Характеристика холостого хода. Характеристика х. х. представляет собой зависимость ЭДС генератора в режиме х. х. E_0 от тока возбуждения I_b при номинальной частоте вращения $n = n_{ном}$.

Нагрузочная характеристика. Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость напряжения генератора U от тока возбуждения I_b при неизменных значениях тока нагрузки $I_a = const$ и частоты вращения $n = n_{ном} = const$.

Внешняя характеристика. Внешняя характеристика генератора представляет собой зависимость напряжения на выходе генератора U от тока нагрузки I_a при номинальной частоте вращения $n = n_{ном} = const$ и неизменном токе возбуждения $I_b = const$.

Регулировочная характеристика. Регулировочная характеристика генератора - это зависимость тока возбуждения I_b от тока нагрузки I_a при номинальном напряжении $U_{ном}$ и номинальной частоте вращения $n_{ном}$.

Ход работы

1) Ознакомиться с конструкцией генератора и приводного двигателя, записать их паспортные данные и данные измерительных приборов и регулирующих устройств.

2) Собрать схему по рисунку 14.1, после проверки ее преподавателем замыкают рубильник P_1 и пускают приводной двигатель. При этом P_2 и P_3 должны быть разомкнуты. Затем, установив номинальную частоту вращения, замыкают P_3 и потенциометром $R_{п}$ устанавливают такую величину тока возбуждения I_b , при которой напряжение на выходе генератора равно номинальному. После этого замыкают P_2 и проверяют возможность нагрузки генератора.

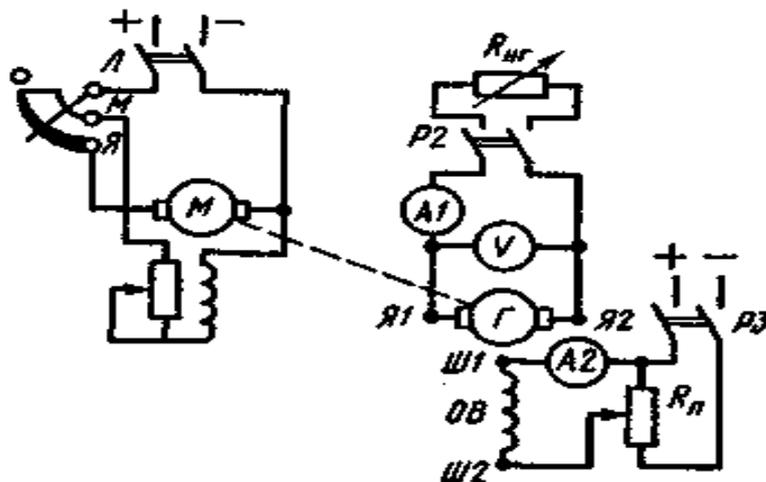


Рисунок 14.1 – Схема включения генератора постоянного тока независимого возбуждения

3) Снять данные для построения характеристики холостого хода. Данные для построения этой характеристики получают следующим образом. При разомкнутых P_2 и P_3 устанавливают номинальную частоту вращения и в течение всего опыта поддерживают ее неизменной. Затем измеряют ЭДС генератора $E_{ост}$ (ЭДС остаточного магнетизма) и, включив P_3 , потенциометром $R_{п}$ постепенно увеличивают ток возбуждения I_b до величины, при которой ЭДС генератора достигнет значения $E_0 = 1,15U_{ном}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы ЭДС E_0 снимают показания вольтметра V и амперметра A_2 и заносят их в таблицу 14.1. Так получают данные для построения восходящей (намагничивающей) ветви характеристики х. х. При этом необходимо следить за тем, чтобы изменения тока возбуждения происходили только в направлении его нарастания. Затем с помощью потенциометра постепенно уменьшают ток возбуждения до $I_b = 0$ и вновь снимают показания вольтметра V и амперметра A_2 и заносят их в таблицу 9.1. Так получают данные нисходящей (размагничивающей) ветви характеристики х. х. В этом случае необходимо, чтобы изменения тока возбуждения происходили только в

направлении его убывания. Построив обе ветви характеристики, проводят между ними среднюю линию, которую и принимают за характеристику $x. x.$ (рисунок 14.2, а). Затем к характеристике $x. x.$ проводят касательную, а из точки, a (рисунок 14.2, б), соответствующей номинальному напряжению ($E_0 = n_{ном}$), проводят прямую ac . Коэффициент магнитного насыщения

$$k_{\mu} = \overline{ac} / \overline{ab} \quad (14.1)$$

Для машин постоянного тока $k_{\mu} = 1,20 \dots 1,75$.

Таблица 14.1 – Результаты измерений и расчетов

Номер измерения	Намагничивание		Номер измерения	Размагничивание	
	E_0, B	I_0, A		E_0, B	I_0, A

4) Снять данные для построения нагрузочной характеристики. Установив номинальную частоту вращения, возбуждают и нагружают генератор (рубильник $P2$ и $P3$ замкнуты) таким образом, чтобы при напряжении $U = 1,15U_{ном}$ ток нагрузки имел номинальное значение ($I_a = I_{ном}$). Далее потенциометром $R_{п}$ уменьшают ток возбуждения до такого минимального значения, при котором ток нагрузки сохраняет номинальное значение (при $n = n_{ном}$). Приблизительно через равные интервалы тока возбуждения снимают показания вольтметра V и амперметра $A2$, заносят их в таблицу 14.2.

Таблица 14.2 – Результаты измерений и расчетов

$U/U_{ном}$	1,15	1,0	0,85	0,75	0,5
U, B					
$I_a = I_{ном}, A$					
I_b, A					

Затем строят нагрузочную характеристику. При снятии данных нагрузочной характеристики допускается изменять величину тока возбуждения только в направлении убывания. Вместе с нагрузочной характеристикой строят и характеристику $x. x.$ (рисунок 14.3). Для построения характеристического треугольника на нагрузочной характеристике (кривая 1) отмечают точку, a , соответствующую номинальному напряжению генератора. Затем откладывают вертикальный отрезок ab , равный падению напряжения в цепи якоря при номинальной нагрузке ($I_{ном} \Sigma r_{75}$), и проводят горизонтальный отрезок $b\bar{c}$ до пересечения с характеристикой $x. x.$ (кривая 2). Сторона полученного треугольника abc $c\bar{b} = I_{b1} - I_{b2}$ представляет величину, эквивалентную МДС реакции якоря при номинальном режиме работы генератора. Построив ряд характеристических треугольников для различных напряжений, можно выяснить влияние реакции якоря при различных степенях магнитного насыщения магнитной системы машины ($c_1 b_1 < c b < c_2 b_2$).

5) Снять данные для построения внешней характеристики. Для получения данных внешней характеристики генератора поступают следующим образом. Устанавливают номинальную частоту вращения и, замкнув рубильник $P2$ и $P3$ (см. рисунок 14.1), увеличивают ток возбуждения I_b и ток нагрузки I_a до тех пор, пока генератор не окажется в режиме номинальной нагрузки $U = U_{ном}$ и $I_a = I_{a,ном}$. После этого постепенно разгружают генератор, не изменяя величины тока возбуждения ($I_a = const$) и поддерживая неизменной частоту вращения ($n = const$). При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока нагрузки снимают показания амперметра $A1$ и вольтметра V . Показания приборов заносят в таблицу 14.3.

Таблица 14.3 – Результаты измерений и расчетов

$I_a / I_{в ном}$	1,0	0,85	0,75	0,50	0
-------------------	-----	------	------	------	---

I_a, A					
U, B					
I_b, A					

Затем строят внешнюю характеристику генератора.

Номинальное изменение напряжения генератора при сбросе нагрузки (%)

$$\Delta U = \frac{E_0 - U_{ном}}{U_{ном}} 100 \quad (14.2)$$

б) Снять данные для построения регулировочной характеристики. Данные для построения регулировочной характеристики получают следующим образом. Устанавливают номинальную частоту вращения и возбуждают генератор до номинального напряжения. Затем подключают нагрузку (замыкают $P2$) и постепенно увеличивают ток нагрузки до номинального значения $I_{ном}$. При этом ток возбуждения увеличивают так, чтобы напряжение на выходе генератора оставалось равным номинальному. Через приблизительно одинаковые интервалы тока нагрузки снимают показания амперметров $A1$ и $A2$ и заносят их в таблицу 14.4. После этого процесс ведут в обратном направлении, т. е. уменьшают ток нагрузки вплоть до режима х. х. и ток возбуждения так, чтобы напряжение на выходе генератора оставалось равным номинальному.

При этом необходимо в первой части опыта ток возбуждения менять только в сторону увеличения, а во второй части опыта - только в сторону уменьшения. Полученные в этом случае две ветви характеристики не совпадают, что объясняется явлением гистерезиса (рисунку 14.4).

Таблица 14.4 – Результаты измерений и расчетов

Номер измерения	Увеличение тока нагрузки		Уменьшение тока нагрузки	
	I_a, A	I_b, A	I_a, A	I_b, A

По данным таблицы строят две ветви регулировочной характеристики. За регулировочную характеристику генератора принимают среднюю кривую, проведенную между двумя ветвями.

7) Обобщить результаты лабораторной работы, где следует проанализировать форму полученных графиков, сопровождая это необходимыми пояснениями и основываясь на физической сущности явлений, происходящих в рассматриваемом генераторе. Так, например, рассматривая характеристику х. х., следует объяснить причину расхождения ветвей этой характеристики при намагничивании и размагничивании генератора. Это же относится и к регулировочной характеристике.

При анализе внешней характеристики необходимо указать причины, вызывающие уменьшение напряжения на выходе генератора при росте нагрузки.

В заключение следует отметить, соответствуют ли номинальные параметры генератора, полученные опытным путем, его паспортным данным.

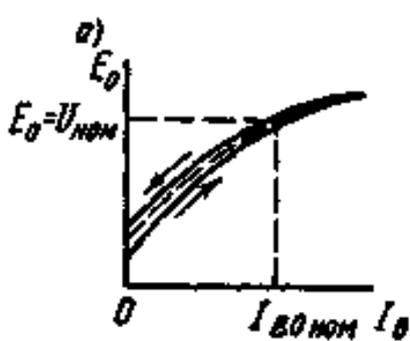


Рисунок 14.2 - Характеристика х. х. генератора постоянного тока независимого возбуждения

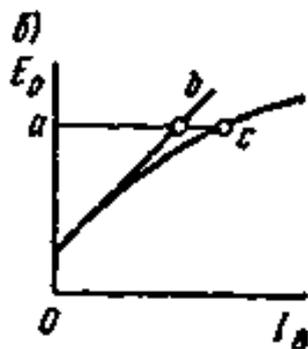


Рисунок 14.3 – Построение характеристического треугольника генератора постоянного тока

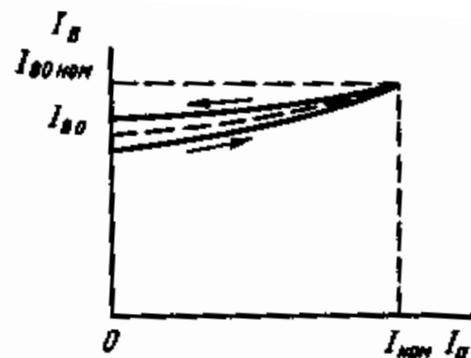
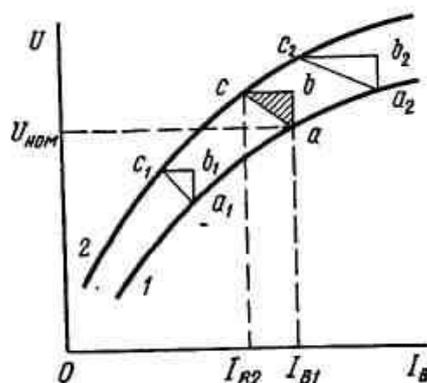


Рисунок 14.4 – Регулировочная характеристика генератора постоянного тока независимого возбуждения



Контрольные вопросы.

- 1) Какие способы возбуждения применяют в генераторах постоянного тока?
- 2) Дайте определение основным характеристикам генератора: холостого хода, нагрузочной, внешней и регулировочной. При каких условиях снимают данные для построения каждой из них?
- 3) Какими исходными данными необходимо располагать для построения характеристического треугольника?
- 4) Почему нагрузочная характеристика располагается ниже характеристики х. х.?
- 5) Почему ветви регулировочной характеристики, снятые при намагничивании и размагничивании генератора, не совпадают? какая из них располагается выше?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схема опыта – рисунок 14.2.
- 3) Паспортные данные генератора, приводного двигателя и измерительных приборов.
- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов - таблицы 14.1- 14.4.
- 6) Характеристика х. х. генератора постоянного тока независимого возбуждения – рисунок 14.2.
- 7) Регулировочная характеристика генератора постоянного тока независимого возбуждения - рисунок 14.4.
- 8) Ответы на контрольные вопросы.
- 9) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

Тема: Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

Цель: Изучить устройство двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и приобрести практические навыки в сбор схемы при опытном исследовании двигателя для получения данные его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах двигателей постоянного тока параллельного возбуждения.

Студент должен *знать*:

- принцип действия и устройство двигателя постоянного тока, способы пуска и регулировки постоянного тока параллельного возбуждения;

уметь:

- рассчитывать и строить рабочие и регулировочные характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

Теоретические обоснования

Регулировочная характеристика. Регулировочная характеристика двигателя постоянного тока параллельного возбуждения представляет собой зависимость частоты вращения n от тока в обмотке возбуждения I_v при неизменном напряжении питания U и нагрузке. В данной работе регулировочную характеристику снимают в режиме х.х.

Рабочие характеристики. Рабочие характеристики двигателя представляют собой зависимость частоты вращения n , потребляемого тока I , полезного (нагрузочного) момента M_2 и КПД η от полезной мощности P_2 при неизменных значениях напряжения U и тока возбуждения I_v .

При анализе следует объяснить криволинейный вид регулировочной характеристики двигателя, а также форму рабочих характеристик двигателя. При анализе скоростной характеристики $n = f(M_2)$ необходимо, кроме того, дать количественную оценку этой характеристике, рассчитав номинальное изменение частоты вращения двигателя при сбросе нагрузки (%):

$$\Delta n_{\text{ном}} = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} \cdot 100 \quad (15.1)$$

Ход работы

1) Ознакомиться с конструкцией двигателя и нагрузочного устройства, записать паспортные данные двигателя и данные измерительных приборов.

2) Собрать схему по рисунку 15.1, после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск двигателя.

Схема соединений и пробный пуск двигателя. Схема соединений (рисунок 15.1) включает в себя вольтметр V для контроля за напряжением в сети и два амперметра: $A1$ - для измерения рабочего тока, потребляемого двигателем из сети, и $A2$ - для измерения тока в обмотке возбуждения I_v . Кроме того, в схеме имеется два реостата: $ПП$ - пусковой реостат для ограничения пускового тока и $r_{\text{рг}}$ - регулировочный реостат для регулирования величины тока в обмотке возбуждения I_v . В качестве нагрузочного устройства в схеме предусмотрен электромагнитный тормоз ЭМТ. Возможно применение и других видов нагрузочных устройств для создания на валу двигателя тормозного момента.

Прежде чем включить двигатель в сеть, необходимо поставить рычаг пускового реостата $ПП$ в положение «Пуск», соответствующее наибольшему сопротивлению реостата, а движок (рычаг) регулировочного реостата $r_{\text{рг}}$ поставить в положение минимального сопротивления (в этом случае ток возбуждения, а, следовательно, и магнитный поток будут наибольшим, что будет способствовать увеличению электромагнитного момента двигателя).

После замыкания рубильника PI рычаг $ПП$ переводят на первую ступень и якорь двигателя приходит во вращение. Постепенно рычаг реостата переводят в положение

«Работа», а затем с помощью регулировочного реостата устанавливают требуемую частоту вращения.

При сборке схемы необходимо обратить особое внимание на надежность всех соединений в цепи обмотки возбуждения, а при работе двигателя и его регулировке следует следить, чтобы эти соединения не нарушались. Такая предосторожность вызвана опасностью «разноса» двигателя при обрыве в цепи возбуждения.

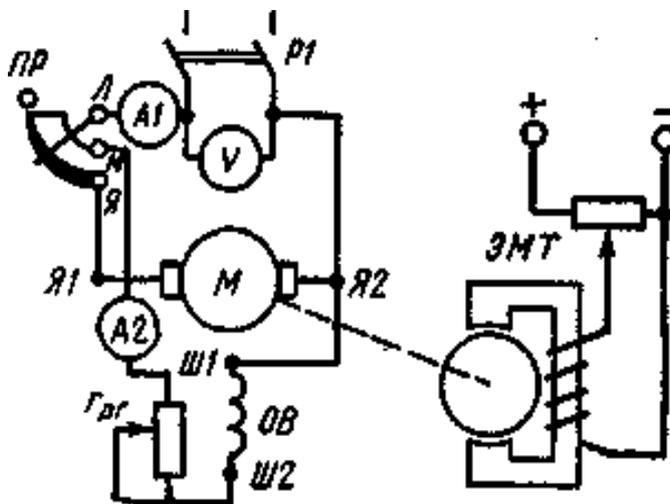


Рисунок 15.1 - Схема включения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

3) Проверить возможность регулировки частоты вращения и реверсирования. Для реверса (изменения направления вращения) двигателя необходимо изменить направление тока либо в обмотке возбуждения, либо в обмотке якоря. Если же одновременно изменить направление тока обеих обмотках, то реверса не произойдет. В этом можно убедиться поменяв местами провода, присоединенные к рубильнику $P1$.

4) Снять данные для построения регулировочной характеристики в режиме х.х.

Регулировочная характеристика. После пуска двигателя при минимальном сопротивлении реостата $r_{гр}$ двигатель работает без какой-либо нагрузки. Затем постепенно увеличивают сопротивление $r_{гр}$ до значения, при котором $n = 1,2n_{ном}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы частоты вращения снимают показания измерителя частоты вращения двигателя, например, тахогенератора, и амперметра $A2$ и заносят их в таблицу 16.1.

По данным таблицы 15.1 строят регулировочную характеристику двигателя $n = f(I_B)$.

Таблица 15.1 – Результаты измерений

$n/n_{ном}$	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2
n , об /мин					
I_B , А					

5) Снять данные для построения рабочих характеристик.

Для получения данных, необходимых для построения рабочих характеристик, включают двигатель и нагружают его до номинального тока нагрузки при номинальной частоте вращения. При этом снимают показания амперметров $A1$ и $A2$, вольтметра V и ЭМТ. Затем постепенно разгружают двигатель до х. х. и через приблизительно одинаковые интервалы тока нагрузки снимают показания перечисленных приборов и заносят их в таблицу 16.2. Всего снимают не менее пяти показаний.

Таблица 15.2 – Результаты измерений и вычислений

Номер измерения и вычисления	Измерения					Вычисления		
	$U, В$	$I, А$	$I_b, А$	$n, \text{об/мин}$	$M, Нм$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$\eta, \%$

Рассчитав значение потребляемой мощности (Вт)

$$P_1 = UI \quad (15.2)$$

полезной мощности

$$P_2 = 1,105M_2n \quad (15.3)$$

КПД двигателя (%)

$$\eta = (P_2/P_1) \cdot 100 \quad (15.4)$$

строят рабочие характеристики двигателя в одних осях координат.

б) Составить отчет и сделать вывод о проделанной работе. Определив номинальные данные двигателя по его рабочим характеристикам, их следует сравнить с паспортными данными двигателя и сделать вывод об их соответствии.

Контрольные вопросы

- 1) С какой целью при пуске двигателя параллельного возбуждения на регулировочном реостате устанавливают минимальное сопротивление?
- 2) Какие способы регулировки частоты вращения возможны в двигателях параллельного возбуждения?
- 3) Почему регулировочная характеристика двигателя параллельного возбуждения криволинейна?
- 4) Какие характеристики двигателя параллельного возбуждения называют рабочими?
- 5) Почему при увеличении нагрузки двигателя параллельного возбуждения уменьшается частота вращения?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схема опыта – рисунок 15.1.
- 3) Паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов – таблицы 15.1, 15.2.
- 6) Рабочие и регулировочные характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
- 7) Ответы на контрольные вопросы.
- 8) Вывод о проделанной работе.

Лабораторная работа № 16

Тема: Исследование двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.

Цель: Изучить устройство двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и приобрести практические навыки в сборке схемы соединений, включений и регулировке двигателя, а также опытным исследованием двигателя для получения данных его основных характеристик; получить экспериментальное подтверждение теоретическим сведениям о свойствах двигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия и характеристики двигателя возбуждения;

уметь:

- производить пуск двигателя постоянного тока последовательного возбуждения;
- изменять направление вращения;
- регулировать скорость двигателей;
- снимать рабочие и регулировочные характеристики.

Теоретическое обоснование

Схема соединений и пробный пуск двигателя. Схема соединений двигателя последовательного возбуждения (рисунок 16.1) включает в себя двухзажимный пусковой реостат PP , регулировочный реостат $r_{\text{рГ}}$, шунтирующий обмотку возбуждения (подключается к обмотке возбуждения ключом K) и два амперметра: $A1$ - для измерения тока якоря I_a и $A2$ для измерения тока в обмотке возбуждения (при разомкнутом ключе K оба амперметра дают одинаковые показания). Напряжение сети контролирует вольтметр V .

В качестве нагрузочного устройства в схеме предусмотрен электромагнитный тормоз $ЭМТ$. Возможно применение и других нагрузочных устройств. Особенностью пуска двигателей последовательного возбуждения является необходимость пуска их под нагрузкой не менее 25% от номинальной. Объясняется это тем, что частота вращения якоря двигателя обратно пропорциональна магнитному потоку Φ , который при ненасыщенной магнитной цепи пропорционален току в обмотке возбуждения I_b , т. е. току якоря I_a , так как в рассматриваемом двигателе (при разомкнутом K) $I_b = I_a$. Поэтому при отсутствии нагрузки на валу двигателя или при недостаточной ее величине, когда ток в якоре составляет небольшую величину, частота вращения достигает недопустимо больших значений и возникает опасность «разноса» двигателя. Учитывая это обстоятельство, необходимо следить за тем, чтобы двигатель постоянно находился под нагрузкой не менее 25% от номинальной.

Создав нагрузку на двигатель, замыкают рубильник PI и постепенно выводят сопротивление PP (ключ K при этом должен быть разомкнут). Затем, установив на регулировочном реостате $r_{\text{рГ}}$ максимальное сопротивление, замыкают ключ K и медленно перемещают движок (рычаг) $r_{\text{рГ}}$, наблюдая за изменением частоты вращения двигателя.

Рабочие характеристики. Эти характеристики представляют собой зависимость частоты вращения n , момента на валу M_2 и полезной мощности P_2 от тока в обмотке якоря (тока нагрузки) I_a при номинальном напряжении питания $U = U_{\text{ном}}$ и при разомкнутом ключе K .

Включив двигатель, увеличивают нагрузку на его валу до значения, на котором $I_a = 1,2 I_{\text{ном}}$. Затем двигатель постепенно разгружают до значения тока нагрузки $I_a = 0,25 I_{\text{ном}}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I_a снимают показания приборов (не менее пяти показаний) и заносят их в таблицу 16.1.

Полезная мощность двигателя (Вт)

$$P_2 = 0,105 M_2 n, \quad (16.1)$$

По данным таблицы строят рабочие характеристики двигателя в одних осях координат.

Характеристика $n = f(I_b)$. После пуска двигателя увеличивают нагрузку на его валу до значения, при котором ток якоря $I_a = 0,75 I_{\text{ном}}$. Измерив частоту вращения, замыкают ключ K , предварительно установив на $r_{\text{рГ}}$ наибольшее сопротивление. Затем постепенно уменьшают сопротивление $r_{\text{рГ}}$ до тех пор, пока ток в обмотке возбуждения не достигнет значения $I_b = 0,5 I_a$, что соответствует коэффициенту регулирования $k_{\text{рГ}} = I_b / I_a = 0,5$. После этого, не меняя величины сопротивления $r_{\text{рГ}}$, постепенно разгружают двигатель. При этом измеряют частоту вращения и ток возбуждения I_b и заносят их в таблицу 16.2. Затем строят график зависимости $n = f(I_b)$.

Анализируя результаты лабораторной работы, необходимо, в первую очередь, установить соответствие номинальных данных исследуемого двигателя, полученных опытным путем, его паспортным данным. Далее следует проанализировать рабочие характеристики двигателя.

Из теории известно, что в зоне небольших нагрузок, соответствующих ненасыщенному состоянию магнитной системы двигателя, скоростная характеристика $n = f(I_a)$ представляет собой график обратной пропорциональности:

$$n = n_{0,25} / (I_a / I_{0,25}) \quad (16.2)$$

а характеристика полезного момента $M_a = f(I_a)$ - график квадратичной зависимости

$$M_2 = M_{0,25}(I_a/I_{0,25})^2 \quad (16.3)$$

В этих выражениях $I_{0,25}$ и $M_{0,25}$ - частота вращения и полезный момент при нагрузке двигателя, соответствующей току якоря $I_{0,25} = 0,25I_{ном}$.

Задавшись рядом значений отношения $I_a/I_{0,25}$, например 1,0; 1,6; 2,4; 3,2; 4,0, определяют соответствующие им значения n' и M_2 и заносят их в таблицу 16.3.

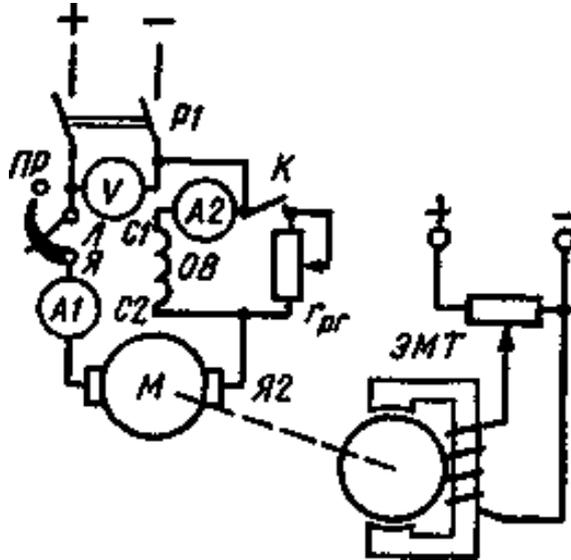


Рисунок 16.1 – Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Ход работы

- 1) Ознакомиться с конструкцией двигателя и нагрузочного устройства; записать паспортные данные двигателя измерительных приборов.
- 2) Собрать схему по рисунку 16.1, и после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск двигателя, предварительно нагрузив его.
- 3) При разомкнутом ключе K , снять данные и построить рабочие характеристики двигателя.
- 4) При замкнутом ключе K , (шунтирующем обмотку возбуждения) снять данные и построить график зависимости частоты вращения от тока в обмотке возбуждения I_b .

Таблица 16.1 – Результаты измерений

Номер измерения	U , В	I_a , А	n , об/мин	M_2 , Нм	P_2 , Вт

Таблица 16.2– Результаты измерений

n , об/мин					
I_b , А					

Таблица 16.3– Результаты измерений

$I_a/I_{0,25}$	1,0	1,6	2,4	3,2	4,0
I_a , А					
n' , об/мин					
M_2 , Нм					

По полученным данным строят графики $n' = f(I_0)$ и $M_2 = f(I_a)$ в одних осях координат с рабочими характеристиками (тонкими линиями). Сравнив эти графики с рабочими характеристиками, делают заключение, насколько опытные кривые отличаются от теоретических и при какой нагрузке это отличие становится наиболее значительным.

5) Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1) Почему не допускается включение двигателя последовательного возбуждения с нагрузкой менее 25% от номинальной?
- 2) Что представляют собой рабочие характеристики двигателя последовательного возбуждения?
- 3) Какие способы регулирования частоты вращения возможны в двигателях последовательного возбуждения?
- 4) Чем объясняются особые свойства двигателей последовательного возбуждения по сравнению с двигателями параллельного возбуждения?
- 5) Для привода, каких механизмов в основном применяются двигатели последовательного возбуждения?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения - рисунок 16.1.
- 3) Паспортные данные двигателя и измерительных приборов.
- 4) Ход работы.
- 5) Результаты измерений и расчетов - таблицы 16.1 – 16.3.
- 6) Рабочие характеристики двигателя,
- 7) Графики зависимостей $n = f(I_b)$; $n' = f(I_0)$ и $M_2 = f(I_a)$.
- 8) Контрольные вопросы.
- 9) Вывод о проделанной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17

Тема: Исследование работы контактора постоянного тока

Цель: Изучение конструкции, назначения и принципа работы контактора, исследование характеристик электромагнитного контактора.

Приборы и оборудование:

Контактор постоянного тока сер. КП602.

– номинальное напряжение $U_N = 220$ В;

– номинальное напряжение катушки $U_N = 110$ В;

– номинальный ток $I_N = 20$ А.

Вольтметр Э515, $U_N = 150, 300$ В.

Амперметр АСТ, $I_N = 1, 2$ А.

Электросекундомер типа ПВ-53.

Ламповый индикатор НЛ.

Теоретическое обоснование

Особенности конструкции контактора и принцип его действия рассмотрим на примере контактора постоянного тока КПВ-600 (рис. 17.1). Неподвижный контакт 1 механически и электрически соединен со скобой 2 – дугогасительным рогом (направляющей для дуги). К скобе 2 присоединен один конец дугогасительной катушки 3, второй конец которой с выводом 4 закреплен в электроизоляционном основании 5 и является одним из двух токоподводов контактора. Основание 5 жестко укреплено на стальной скобе 6, являющейся основной несущей деталью для электромагнитного привода и подвижной контактной системы. Подвижный контакт 7 может поворачиваться относительно опорной точки 8. Вывод 9, являющийся вторым токоподводом, соединен с подвижным контактом 7 гибкой связью 10, с подвижным контактом 7 электрически связан другой дугогасительный рог 11. Контактное нажатие создается пружиной 12, а возвратная

пружина 13 предназначена для размыкания контактов и возврата привода в исходное положение. При размыкании контактов на них появляется электрическая дуга 14, которая попадает в магнитное поле между пластинами 15 магнитопровода системы магнитного дутья, создаваемого катушкой 3 и охватывающего камеру с обеих сторон. Под воздействием этого поля дуга перемещается в камеру, ее опорные точки переходят на дугогасительные рога, дуга растягивается, охлаждается и гаснет. В данном контактно-дугогасительном устройстве применена система последовательного магнитного дутья. Электромагнитный привод контактора включает в себя обмотку 20 с магнитопроводом и якорь 17. Последний может поворачиваться на призме 19, прижимаемый к скобе 18 пружиной 16. При подаче напряжения на катушку 20 якорь 17, преодолевая противодействие возвратной пружины 13, начинает притягиваться к магнитопроводу. При определенном зазоре между якорем и магнитопроводом происходит соприкосновение контактов 7 и 4. Дальнейшее сближение якоря и магнитопровода влечет за собой поворот контакта 7 относительно опорной точки 8 (в направлении по часовой стрелке) и сжатие контактной пружины 12. Этим обеспечивается создание так называемого провала контактов – расстояния, на которое переместился бы подвижный контакт (при уже полностью замкнутых контактах и включенном электромагните), если убрать неподвижный. Наличие провала контактов обеспечивает контактору заданную коммутационную износостойкость.

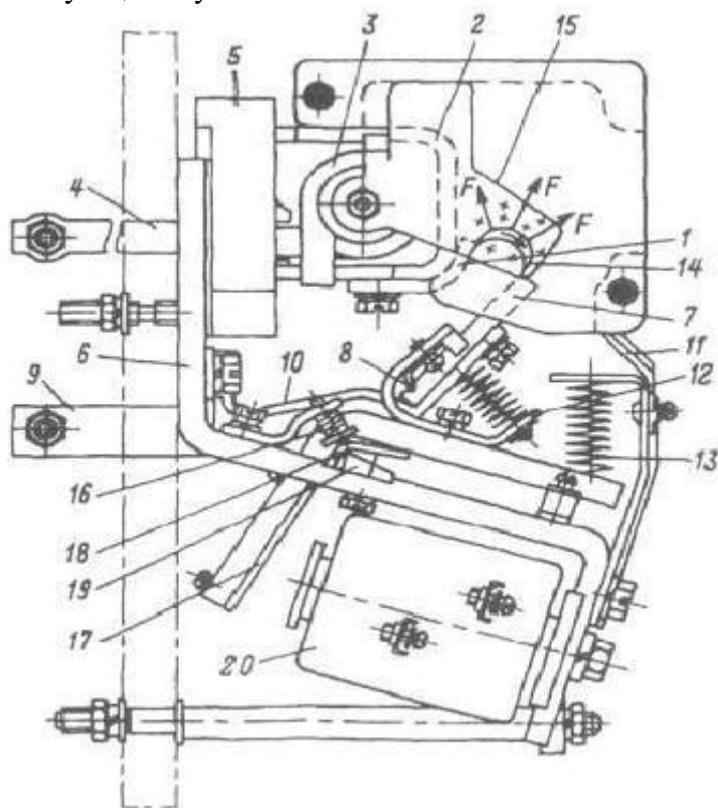


Рис. 17.1. Контактёр постоянного тока серии КПВ

Ход работы

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия контактора постоянного тока. Зарисовать эскиз контактора.
2. Собрать электрические схемы для исследования контактора (рис. 17.2 а, б).

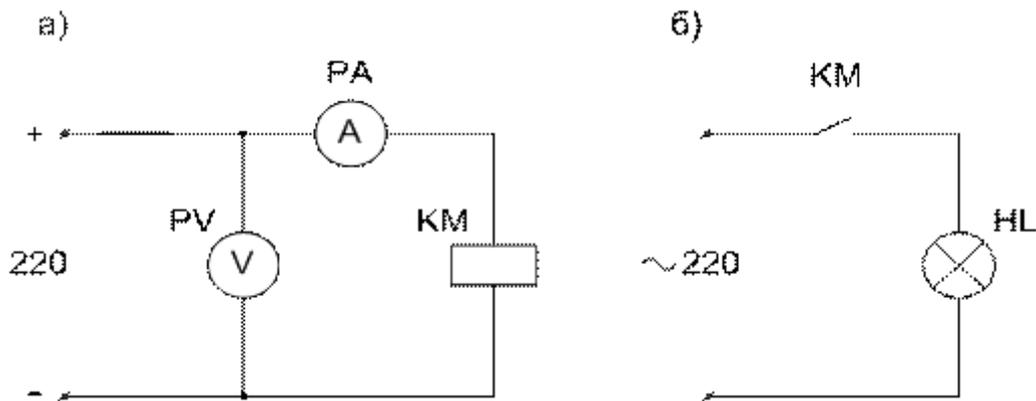


Рис. 17.2. Схема исследования характеристик контактора постоянного тока: а – включение катушки контактора; б – включение индикатора

3. Подключить катушку KM к источнику постоянного напряжения и определить напряжение $U_{срб}$ и ток $I_{срб}$ срабатывания, повышая напряжение до момента притяжения якоря к электромагниту. Данные занести в табл. 17.1.

Таблица 17.1

Тип аппарата	Напряжение, В	Коэффициент возврата, K_B	Ток в обмотке, А	$t_{вкл.}, c$
$U_{срб}$	$U_{воз}$	$I_{срб}$	I_p	$I_{пуск}$

4. Определить напряжение отпускания $U_{воз}$ путём снижения напряжения до момента «отпадания» якоря от электромагнита.

5. Установить номинальное напряжение на катушке 110 В и зафиксировать значение рабочего тока I_p катушки электромагнита.

6. Определить значение пускового тока $I_{пуск}$ при $U_n = 110$ В, заклинив предварительно якорь, кратковременно на 5–7 с подать напряжение.

7. Определить время включения $t_{вкл}$ и отключения $t_{откл}$ контактора, собрав схемы (рис. 17.3 а, б).

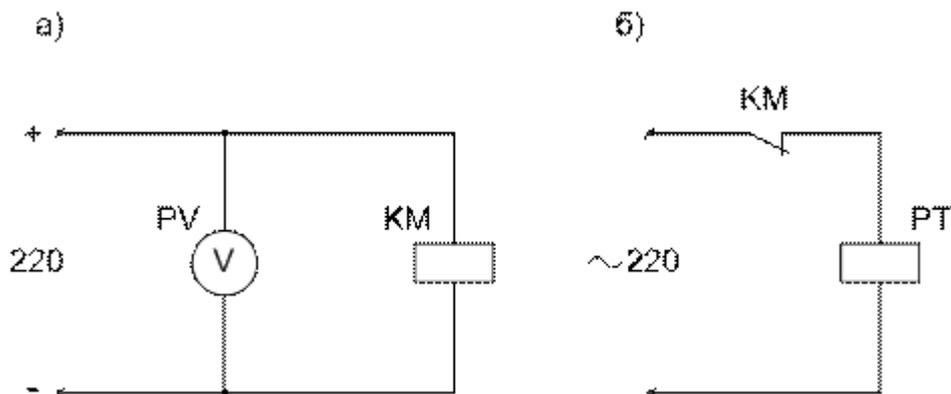


Рис. 17.3. Схема определения времени включения контактора: а – включения катушки; б – включение секундомера

Контрольные вопросы

1. Назначение контакторов постоянного и переменного тока.
2. Основные технические данные контакторов.
3. Перечислить основные элементы контакторов и их назначение.
4. Условия выбора контакторов.
5. Как осуществляется дугогашение в контакторах постоянного и переменного тока?

Содержание отчета

- 1)Цель работы.

- 2) Паспортные данные КТП.
- 3) Эскиз кинематических связей подвижных элементов контактора КМ.
- 4) Электрические схемы исследования контактора постоянного тока.
- 5) Результаты экспериментальных исследований.
- 6) Выводы по работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

Тема: Исследование работы магнитного пускателя

Цель: Ознакомление с конструкцией и принципом работы основных узлов магнитного пускателя, исследование характеристик электромагнитного пускателя, изучение и получение навыков в сборке схем управления нереверсивных коммутационных аппаратов.

Приборы и оборудование:

Вольтметр Э533, $U_H = 75,300 \text{ В}$.

Амперметр Э513, $I_H = 0,25,1 \text{ А}$.

Магнитный пускатель серии ПМЕ 211

– номинальное напряжение $U_H = 380 \text{ В}$,

– номинальное напряжение катушки $U_H = 220 \text{ В}$,

– номинальный ток $I_H = 25 \text{ А}$.

Ламповый индикатор.

Теоретическое обоснование

Магнитным пускателем (МП) называется трехполюсный контактор, предназначенный для коммутационных операций в цепях реверсивных и нереверсивных потребителей и защиты их от перегрузок при рабочих напряжениях до 500 В и рабочих токах до 150 А. Управление работой главных контактов МП осуществляется электромагнитной катушкой КМ, контакты которой КМ1, КМ2, КМ3, и блокировочные контакты КМ управляются ее электромагнетизмом. Двухкнопочная станция состоит из кнопки «ПУСК», имеющей нормально разомкнутые, замыкающиеся при нажатии кнопки контакты, и кнопки СТОП, имеющей нормально замкнутые, размыкающиеся при нажатии кнопки контакты.

Схема управления нереверсивным двигателем с помощью двухкнопочной станции приведена на рис. 18.1. В силовую цепь двигателя последовательно в каждую фазу включены силовые контакты пускателя (КМ1, КМ2, КМ3), подающие напряжение в обмотки двигателя.

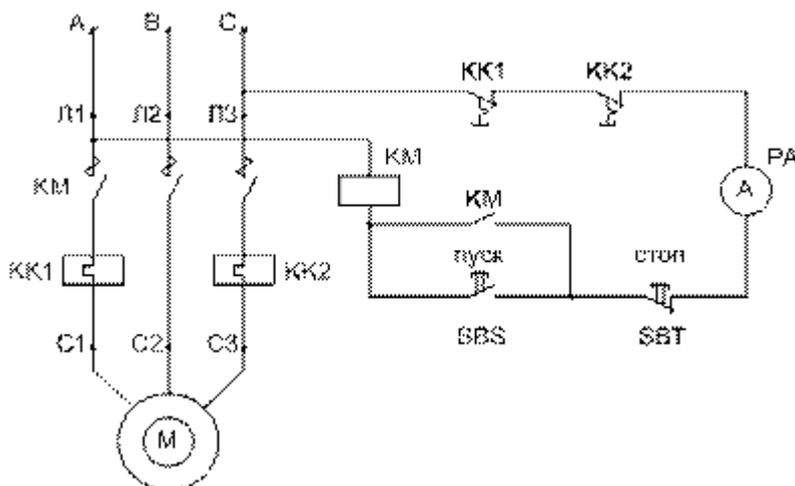


Рис. 18.1. Схема управления нереверсивного асинхронного двигателя

В цепь управления, подключенную на линейное напряжение питающей сети, последовательно включены: обмотка контактора электромагнита КМ, кнопки SBS «ПУСК», SBT «СТОП». При нажатии кнопки «ПУСК» образуется цепь управления: фаза А–обмотка КМ–контакты кнопки SBS «ПУСК»–контакты кнопки SBT «СТОП»–фаза С. Главные контакты КМ1, КМ2, КМ3 замыкаются, и в обмотки двигателя подается трехфазное напряжение, чтобы при отпускании кнопки «ПУСК» (её

контакты возвращаются в разомкнутое состояние) двигатель не остановился, параллельно ей подключены блокировочные контакты КМ. Остановка двигателя осуществляется нажатием кнопки «СТОП», размыкающие контакты которой разрывают цепь управления. Для защиты двигателя от перегрузки в цепь двух фаз включены тепловые реле КК1, КК2, нагревательные элементы которых разрывают цепь катушки КМ1.

Реверсирование двигателя выполняется с помощью двух контакторов (КМ1 и КМ2) и трехкнопочной станции управления (рис. 4.2).

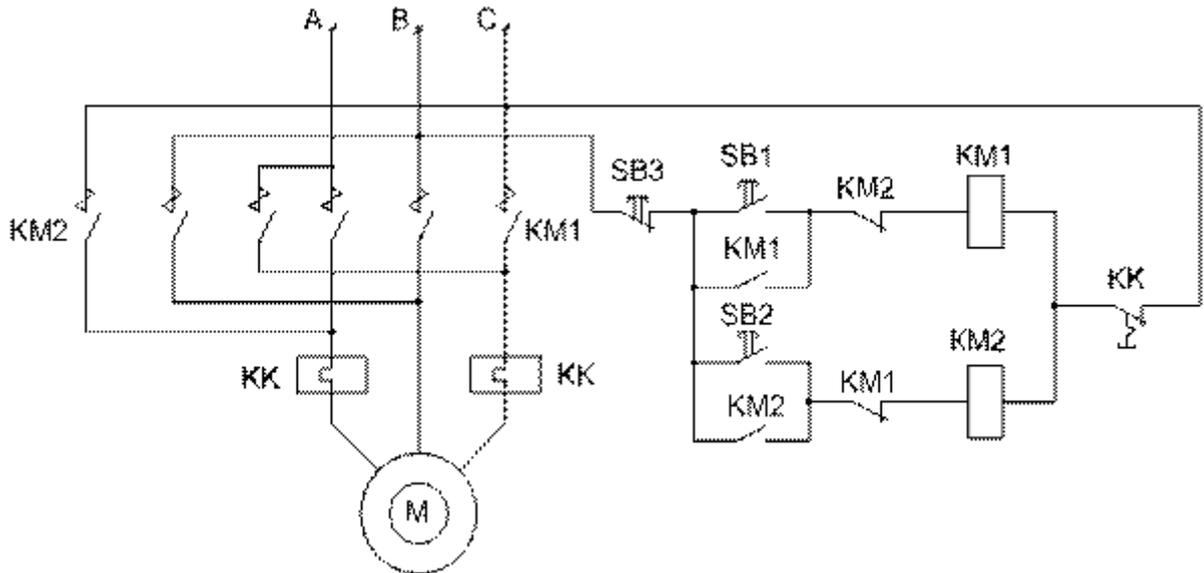


Рис. 18.2. Схема управления АД с реверсивным магнитным пускателем

При срабатывании контактора КМ1 (силовых контактов КМ1.1, КМ1.2, КМ1.3) к обмоткам двигателя подается напряжение сети с прямым порядком чередования фаз (АВС). Если срабатывает контактор КМ2 (контакты КМ2.1, КМ2.2, КМ2.3) порядок чередования фаз меняется (СВА) и двигатель изменяет направление вращения.

При одновременном срабатывании обоих контакторов КМ1 и КМ2 возникает короткое замыкание фаз А–С. Для предотвращения этого режима применяется электрическая блокировка цепи управления нормально замкнутыми контактами КМ1, КМ2 и SB1, SB2.

Пуск двигателя «Вперед» осуществляется нажатием кнопки SB1 «Вперед». При этом образуется цепь: фаза В–замкнутые контакты кнопки SB3 «СТОП»–замыкающие контакты кнопки SB1 «Вперед»–замкнутые контакты КМ2–обмотка электромагнита контактора КМ1–контакты термореле КК1, КК2–фаза А. Замыкаются силовые контакты КМ1.1, КМ1.2, КМ1.3. Двигатель получает прямой порядок чередования фаз.

Пуск двигателя «Назад» осуществляется нажатием кнопки SB2. При этом образуется цепь: фаза В–замкнутые контакты кнопки «СТОП»–замыкающие контакты SB2–замкнутые контакты КМ1–обмотка электромагнита контактора КМ2–контакты термореле КК1, КК2–фаза А.

В результате срабатывания катушки электромагнита КМ2 замыкаются силовые контакты КМ2.1, КМ2.2, КМ2.3, и в обмотку двигателя подается обратный порядок чередования фаз трехфазной системы. Двигатель начинает вращаться в обратном направлении. Одновременное нажатие кнопок SBS1 «Вперед» и SBS2 «Назад» приведет к исчезновению тока в цепях катушек обоих электромагнитов, и не один контактор не срабатывает. Защита силовой цепи двигателя от перегрузок осуществляется термореле КК1 и КК2. Короткие замыкания в цепях схемы отключаются предохранителями.

Ход работы

1. Изучить устройство магнитного пускателя.
2. Собрать электрическую схему для исследования магнитного пускателя рис. 18.3 а, б.

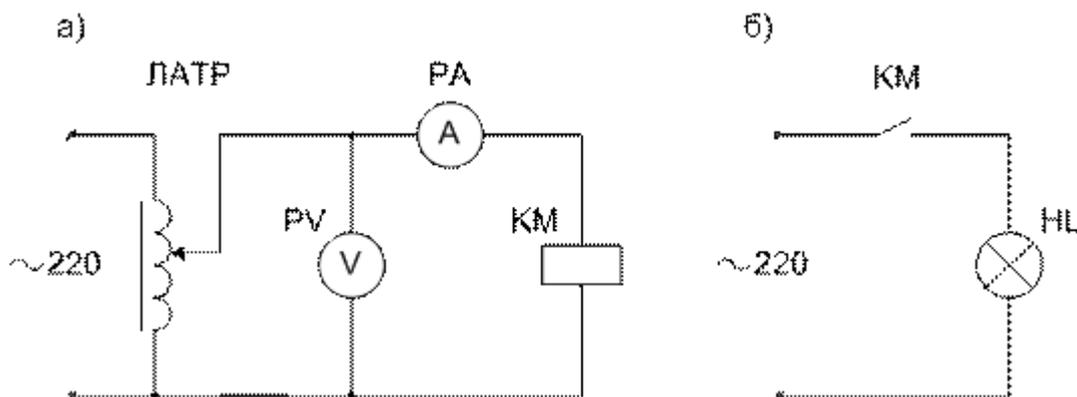


Рис. 18.3. Схема исследования магнитного пускателя: а – включение катушки пускателя; б – включение индикатора

3. Установить движок ЛАТР в нулевое положение и включить напряжение.
4. Плавным увеличением напряжения зафиксировать ток и напряжение срабатывания $U_{срб.}$ и $I_{срб}$ притяжения якоря МП (лампа индикатора загорается). Данные записать в табл. 18.1.

Таблица 18.1

Номер опыта			
Напряжения срабатывания $U_{срб.}$, В			
Ток срабатывания при невтянутом якоря $I_{срб.}$, А			
Ток при втянутом якоря $I_{вкл.}$, А			
Напряжения возврата $U_{воз.}$, В			
Ток возврата $I_{воз.}$, А			

5. Увеличить напряжение до номинального значения катушки магнитного пускателя и зафиксировать ток включения $I_{вкл.}$ (табл. 18.1).
6. Плавно уменьшить напряжение и определить величину напряжения возврата $U_{воз}$ отпадания якоря. Зафиксировать значение тока $I_{воз}$ и напряжения в этот момент (табл. 18.1).
7. Опыт повторить несколько раз с перерывом в **5-6 мин** во избежание перегрева катушки магнитного пускателя. Данные записать в табл. 18.1.
8. Вычислить параметры катушки магнитного пускателя.
 Коэффициент возврата $K_v = U_{воз}/U_{срб.}$. Кратность пускового тока $K_n = I_{срб.}/I_{вкл.}$.
 Номинальная полная мощность катушки $S_H = I_{вкл.} \cdot U_H$.
 Пусковая полная мощность катушки $S_{пуск} = I_{срб.} \cdot U_H$.
9. Собрать схему управления АД с нереверсивным МП по рис. 18.1.
10. Выполнить пуск и остановку АД, определив ток, потребляемый обмоткой контактора.

Содержание отчета

- 1)Цель работы.
- 2)Схема испытания электромагнитного пускателя.
- 3)Результаты экспериментальных исследований.
- 4)Реверсивную и нереверсивную схемы управления работой двигателя.
- 5)Объяснение принципа работы блокировки от одновременного срабатывания двух контакторов МП.
- 6)Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы магнитного пускателя.
2. Как осуществляется защита потребителей от перегрузки и токов КЗ?
3. Объясните принцип работы реверсивной схемы управления МП.
4. Способы гашения дуги в магнитных пускателях.
5. Выбор магнитных пускателей.
6. Назначение короткозамкнутых витков на сердечнике магнитного пускателя.
7. Какое исполнение имеют магнитные пускатели серии МПЕ и как расшифровываются?
8. Какова номинальная шкала токов магнитных пускателей серии ПМЛ?
9. Какие элементы содержит магнитный пускатель?
10. В чем разница между магнитным пускателем и контактором?
11. Как расшифровываются типы магнитных пускателей ПМЛ-1100 и ПМЛ-2501?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

Тема: Исследование автоматического выключателя

Цель: Изучение конструкции и принципа действия автоматического выключателя, исследование защитной характеристики автоматического выключателя.

Приборы и оборудование:

Амперметр Э365, $I_n = 100$ А.

Нагрузочный трансформатор $U_{1H} = 220$ В, $U_{2H} = 6$ В.

Автоматический выключатель АП50-3МТ, $I_n = 50$ А...

Электросекундомер ПВ-53.

Теоретическое обоснование

Автоматический воздушный выключатель (автомат) – это аппарат, предназначенный для нечастых включений и отключений электрической цепи при нормальной нагрузке, а также для автоматического отключения цепи при возникновении ненормальных режимов, перегрузки, коротких замыканий и исчезновения или снижения напряжения.

Название «воздушный» выключатель получил потому, что электрическая дуга, возникающая между его контактами при отключении цепи, гасится в среде окружающего воздуха.

Различают несколько разновидностей выключателей: универсальные (работают на постоянном и переменном токе), установочные (предназначаются для установки в общедоступных помещениях), быстродействующие постоянного тока, гашения магнитного поля мощных генераторов и др.

Структурная схема конструкции универсальных и установочных автоматов в основном одинакова. Контакты К производят замыкание и размыкание электрической цепи. Они заключены в дугогасительную камеру, назначение которой – быстро гасить дугу и предотвращать выброс ионизированных газов из дугового промежутка

Контакты К связаны с приводом П через механизм свободного расцепления МСР, на который могут воздействовать также установленные в автомате различные расцепители РЗ, РН и отключающая катушка ОК. Благодаря наличию МСР, отключение автомата происходит при возникновении аварийного режима независимо от положения рукоятки привода.

Расцепители выполняют роль защитных элементов, реагирующих на отклонение определенного параметра от своего нормального значения. Они представляют собой электромагнитные или термобиметаллические реле, измерительные органы которых включены в электрическую цепь, а исполнительные – воздействуют на отключение контактов автомата К.

Автоматы могут снабжаться блок-контактами БК. Установочные автоматы чаще всего используются для защиты электроустановок от сверхтоков перегрузки и коротких замыканий КЗ. Этот тип автоматов позволяет заменить собой в

распределительных устройствах неавтоматические выключатели и предохранители. Их применение вместо плавких предохранителей имеет следующие преимущества:

- при перегрузках или КЗ отключаются сразу три фазы, что устраняет возможность неполнофазного режима работы трехфазных двигателей;
- снижаются простои, так как на включение сработавшего автомата требуется меньше времени, чем на замену перегоревшего предохранителя,
- времятоковые характеристики защиты от перегрузок автоматов больше соответствуют параметрам защищаемого электрооборудования, чем предохранители.

Выключатели состоят из следующих основных элементов: главной контактной системы, дугогасительной системы, привода, расцепляющего устройства, расцепителей и вспомогательных контактов.

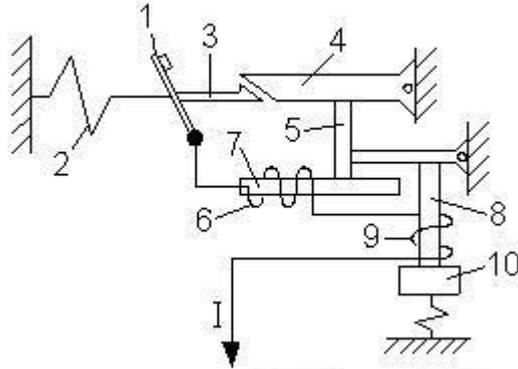


Рис.19.1. Эскиз кинематических связей

При номинальном режиме ток проходит по контактам **1**, нагревательному элементу **6** и катушке **9** электромагнитного расцепителя и далее к нагрузке (рис1). При нагрузке ток, проходя по нагревателю теплового реле, нагревает биметаллическую пластину **7**, которая изгибается и действует на рычаг **5**, который связан с защёлкой **4**, которую он приподнимает. Защёлка **3** освобождается и под действием пружины **2** контакт **1** размыкается. При КЗ электромагнит **9** расцепителя втягивает сердечник **10** и толкателем **8** воздействует на рычаг **5**, происходит автоматическое отключение.

Ход работы

1. Ознакомится с конструкцией и принципом действия автомата. Составить эскиз кинематических связей подвижных элементов автомата, паспортные характеристики которого представлены в табл. 19.1.

Таблица 19.1

Тип автомата	U_n , В	I_n , А	Число полюсов	Вид расцепителя	Ток расцепителя	Кратность тока расцепителя
АП50-3МТ				Комбинированный	6,4	$11 I_{расц.}$

2. Собрать электрическую схему рис. 19.2.

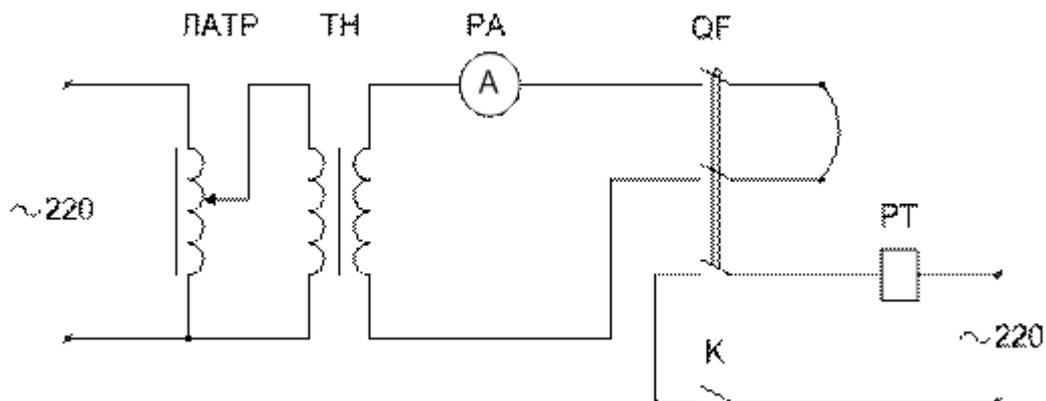


Рис. 19.2. Схема исследования автоматического выключателя

3. Автомат QF отключить, а движок ЛАТР установить в нулевое положение.
4. Включить автомат QF и замкнуть ключ К. Проверить работоспособность электросекундомера и обнулить его.
5. Разомкнуть ключ К. Регулятором напряжения ЛАТР быстро установить ток 15 А и отключить автомат.
6. Через 2 мин включить автомат QF. Одновременно замкнуть ключ К и подключить нагрузочный трансформатор ТН к источнику регулируемого напряжения.
7. В момент срабатывания автомата зафиксировать значение тока и время срабатывания по электросекундомеру. Данные записать в табл. 19.2.

Таблица 19.2

Ток I, А						
Кратность тока, $I/I_{расц.}$						
Время срабатывания, $t_{ср.}$						

Внимание. Все последующие опыты выполнять с интервалом через 3-4 мин.

8. Выполнить опыты для других значений, увеличивая ток на 5 А, начиная с п. 5, а данные записать в табл. 19.2.
9. По результатам измерений построить защитную характеристику автомата $t_{ср} = f(I/I_{расц.})$ и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Назначение и область применения автоматов.
2. Устройство электромагнитного расцепителя автоматического выключателя.
3. Понятие о рабочих и защитных характеристиках автомата.
4. Согласование защитных характеристик автомата.
5. Способы защиты коммутируемых цепей от перегрузки и коротких замыканий с помощью автоматов.
6. Принцип работы тепловых и электромагнитных расцепителей.
7. Основные узлы конструкции автомата и их назначение.
8. Основные параметры и характеристики автомата.
9. Методика снятия защитной характеристики автомата.

Содержание отчета

- 1) Цель работы.
- 2) Паспортные данные автомата.
- 3) Эскиз кинематических связей подвижных элементов автомата.
- 4) Электрическую схему испытаний.
- 5) Результаты экспериментальных исследований.
- 6) Защитную характеристику автомата.
- 7) Выводы по результатам исследований.

Список используемых учебных изданий, Интернет-ресурсов:

Основные источники:

- 1) Девочкин О.В., Лохнин В.В., Меркулов Р.В., Смолин Е.Н. Электрические аппараты – М.: Академия, 2013.
- 2) Казаков В.А. Электрические аппараты – М.: РадиоСофт, 2009.
- 3) Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам - М.: Академия, 2013.
- 4) Кацман М.М. Электрические машины - М.: Высшая школа, 2013.

Дополнительные источники:

- 5) Березкина Т.Ф., Гусев Н.Г., Масленников В.В. Задачник по общей электротехнике с основами электроники - М.: Высшая школа, 2001.