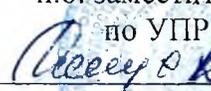


Министерство образования и науки Забайкальского края  
Государственное профессиональное образовательное учреждение  
«Приаргунский государственный колледж»

Утверждаю  
и.о. заместителя директора  
по УПР ГПОУ «ПГК»  
  
Козухина К. Н.  
« 13 » 01 2025 года



### **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для обучающихся по выполнению практических работ  
по дисциплине

ОП.07 «Электрические машины, электропривод и системы управления электроснабжением»  
по профессии

13.01.10 «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования  
(по отраслям)»

п. Приаргунск, 2025

Методические указания предназначены для организации работы обучающихся при выполнении практических работ по ОП.07 «Электрические машины, электропривод и системы управления электроснабжением». Содержат рекомендации и задания согласно рабочей программе, разработанной в соответствии с ФГОС СПО по профессии 13.01.10 «Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)», утвержденного приказом Минпросвещения России от 28.04.2023 N 316.

**Организация-разработчик:** ГПОУ «Приаргунский государственный колледж»

**Авторы:**

Лончакова О.В. – преподаватель профессионального цикла ГПОУ «ПГК»

Вторушина И.А. – заместитель по НМР ГПОУ «ПГК»

Рассмотрено на ПЦК

Протокол № 5 от «15» 01 2025 г.

Председатель ПЦК Лончакова Лончакова О.В.

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка.....	4
Общие указания по выполнению практических работ.....	4
Порядок составления отчета о практической работе.....	5
Тематическое планирование практических работ.....	6
Задания для практических работ.....	7
Литература .....	30

## 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Электрические машины, электропривод и системы управления электроснабжением» входит в цикл общепрофессиональных дисциплин по профессии 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям). Данные методические рекомендации предназначены для обучающихся, изучающие данную дисциплину и включает десять практических работ.

Данные методические рекомендации входят в состав учебно-методического комплекса по дисциплине и предполагают формирование у обучающихся знаний и умений в области электротехники с основами электроники.

### *Критерии оценки практических работ*

Практические работы оцениваются по следующим критериям:

«**отлично**» – работа выполнена полностью в соответствии с заданием;

«**хорошо**» – работа выполнена полностью, но с недочетами: конечный результат выполнения работы не полностью совпадает с образцом; ошибки в расчетах, недочеты в оформлении;

«**удовлетворительно**» – работа выполнена на 60 – 70 %;

«**неудовлетворительно**» – работа не выполнена или обучающийся отказывается выполнять практическую работу.

## 2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

1. Практические работы выполняются в соответствии с графиком учебного процесса, который доводится до студентов в начале каждого семестра.

2. К выполнению практических работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по правилам техники безопасности.

3. Формы организации обучающихся при проведении практических работ: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все обучающиеся выполняют одновременно одну и ту же работу. При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек. При индивидуальной форме организации занятий каждый обучающийся выполняет индивидуальное задание.

Практические работы выполняются с использованием предоставленных преподавателем технических средств и программного обеспечения.

4. Каждый обучающийся должен заранее подготовиться к очередной практической работе: изучить или повторить теоретический материал, рассмотреть требуемые схемы, повторить необходимые формулы, таблицы и пояснения по выполнению практической работы необходимо занести в тетрадь или оформить их в электронном варианте на ПК. Неподготовленные студенты к выполнению практических работ могут быть не допущены.

5. Перед выполнением работы старший в бригаде (или каждый обучающийся) получает у преподавателя комплект наборных элементов и необходимую электроизмерительную аппаратуру, за которую несет полную ответственность, и после окончания работы сдает их преподавателю.

Преподаватель выдает инструкционные карты обучающимся и проводит вводный инструктаж с пояснением всего процесса выполнения практической работы. Обучающиеся могут задавать вопросы по процессу выполнения практических работ. Только после отсутствия вопросов обучающиеся могут приступать к выполнению практической работы.

6. Во время занятий в учебном кабинете (лаборатории) должны поддерживаться надлежащий порядок и деловая обстановка. Не разрешается перемещение обучающихся по учебному классу (лаборатории) и подключение используемой аппаратуры или компьютеров без разрешения преподавателя. Ответственность за поддержание порядка несет преподаватель, староста группы и дежурный студент.

7. При выполнении практических работ требуется неукоснительное выполнение правил техники безопасности.

8. По окончании работы в черновой тетради каждого обучающегося преподаватель делает отметку о правильном и полном выполнении работы. В случае неправильности полученных результатов работа повторяется.

9. По выполненным практическим работам каждый обучающийся оформляет и защищает отчет. Эта работа планируется в конце текущего практического занятия. Однако если подготовка обучающегося к занятию недостаточна и практическая работа потребовала слишком много времени, то защита отчета о выполненной работе переносится на следующее практическое занятие или на консультацию. Отчет по выполненной практической работе может быть выполнен как в электронном, так и в рукописном варианте.

10. Пропущенные практические работы отрабатываются во внеурочное время согласно установленному графику.

11. Правила техники безопасности.

Практически все напряжения, с которыми приходится иметь дело в учебном кабинете (лаборатории) электротехники, являются опасными для жизни человека, поэтому при выполнении практических работ необходимо строго выполнять следующие правила безопасности.

1. Электрические цепи должны собираться только при отключенном источнике питания.

2. Собранный схема должна быть проверена преподавателем. Включать схему можно только с разрешения преподавателя.

3. Перед включением электрической цепи все её элементы (реостаты, регулируемые источники, реактивные катушки и т.д.) должны находиться в таком положении, чтобы ток при включении схемы был наименьшим.

4. Все обучающиеся должны быть ознакомлены с системой аварийного отключения источников питания.

5. В учебном кабинете (лаборатории) запрещается:

5.1. Включать схему или персональные компьютеры с программным обеспечением без предупреждения. Перед включением необходимо громко сказать: «Подую напряжение!».

5.2. Прикасаться к незащищенным частям установки, находящейся под напряжением.

5.3. Производить присоединения в электрической цепи, находящейся под напряжением.

Всякие присоединения выполняются при отключенном питании и после каждого присоединения схема вновь должна быть проверена преподавателем.

5.4. Загромождать лабораторные столы посторонними предметами: приборами и аппаратами, не предназначенными для выполнения данной работы, лишними соединительными проводами, сумками, книгами и т.д.

5.5. Оставлять без наблюдения установку, находящуюся под напряжением.

5.6. Разбирать самостоятельно без преподавателя электрическую цепь или персональный компьютер.

5.7. Включать электрическую цепь в случае, когда один из концов монтажных проводов остается свободным.

5.8. Самому ремонтировать приборы, аппараты и другое электрооборудование.

5.9. Работать одному без преподавателя с электроустановками.

6. В случае аварии на рабочем месте (повреждение приборов, перегорание предохранителей и т.п.) обучающийся обязан немедленно отключить питание на рабочем месте и сообщить преподавателю о случившемся.

7. Обо всех неисправностях срочно сообщать преподавателю.

### **3. ПОРЯДОК СОСТАВЛЕНИЯ ОТЧЕТА О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ**

Составление отчета о практической работе имеет своей целью выработать у обучающегося навыки четкого и грамотного изложения результатов любого технического исследования. Отчет о выполненной практической работе составляется обучающимся на

основе записей, сделанных в личной черновой тетради в процессе подготовки и выполнения работы. Отчет оформляется на скрепленных листах формата А4 или в виде брошюры формата А5. Допускается оформление отчета на развернутых листах ученических тетрадей в клетку.

Отчет должен содержать:

- титульный лист, на котором будет записано наименование практической работы, фамилия и инициалы обучающегося, дата проведения практической работы;
- изложение цели работы и её реализации в данной практической работе, включая исследуемые схемы, таблицы результатов экспериментов, требуемые расчеты, графики и диаграммы;
- заключение или краткие выводы по итогам работы.

Цель работы и её реализация должны быть изложены кратко, последовательно, с разбивкой на завершённые в смысловом отношении части, соответствующие выполненным в работе экспериментам или решённым задачам.

Пояснения к работе, имеющиеся в методических указаниях, в отчете приводить не следует. Отчет должен быть составлен именно по выполнению работы. Рабочие схемы, таблицы результатов, графики и диаграммы должны иметь наименования и краткие пояснения типа: “по данным табл. 2 построена зависимость  $U_{\text{вых}}(I_{\text{н}})$  - см. рис. 2” и т.д. Особое внимание следует уделить графической части отчета. Схемы, графики, диаграммы рекомендуется выполнять карандашом, применяя чертежные принадлежности и соблюдая требования ГОСТ и ЕСКД. Изображение элементов на схемах, как правило, должно быть вертикальным или горизонтальным. Размеры схем и графиков не следует чрезмерно растягивать или, напротив, выполнять их слишком мелкими. Вполне удобны и достаточны для наглядности рисунки размером 8\*10 см, т.е. в четверть тетрадного листа. В некоторых случаях графики можно выполнять на отдельных листах миллиметровой бумаги стандартных форматов. Рекомендуемые по ГОСТ масштабы: 1:1, 1:2, 1:5, 1:10. Так же схемы, графики и другие чертежи могут быть выданы преподавателем или выполнены с помощью компьютерных программ для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья.

Итоги проделанной работы могут быть изложены в форме заключения по работе или в виде кратких выводов, которые бы конкретно, со ссылками на таблицы или графики, отвечали пунктам цели работы. Отчет должен быть подписан обучающимся.

#### 4. ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

№ п/п	Название лабораторных/практических работ	Количество часов
1-3.	Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Естественная механическая характеристика. Искусственная механическая характеристика при изменении напряжения статора. Рабочие характеристики	6
2.	Исследование ДПТ независимого возбуждения. Естественная механическая характеристика. Регулировочные характеристики. Рабочие характеристики	3
3.	Исследование ДПТ параллельного возбуждения. Естественная механическая характеристика. Регулировочные характеристики. Рабочие характеристики	3
4.	Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения. Характеристика холостого хода. Характеристика тока короткого замыкания. Внешняя характеристика. Регулировочные характеристики	3
5.	Исследование генератора постоянного тока параллельного возбуждения. Внешняя характеристика	3
6.	Исследование однофазного трансформатора. Внешняя характеристика	2
ИТОГО		20

## 5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

### Раздел 1. Электрические машины

#### Тема 1.2. Электрические машины переменного тока

#### Практическая работа № 1-3

**Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Естественная механическая характеристика. Искусственная механическая характеристика при изменении напряжения статора. Рабочие характеристики**

Формируемые:

З1, З2, З3

У1, У2, У3.

ОК1, ОК2, ОК4, ОК7,

ПК 2.1

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

1. Изучение конструкции асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором
2. Изучение типовых схем управления асинхронными электродвигателями
3. Исследование характеристик электродвигателя. Приобретение навыков экспериментального исследования электромеханических свойств асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

**УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

### **1. Изучение конструкции асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором**

*Устройство трехфазного асинхронного двигателя.* Асинхронный электродвигатель переменного тока состоит из двух основных частей:

- - неподвижной части - статора;
- - подвижной части - ротора;

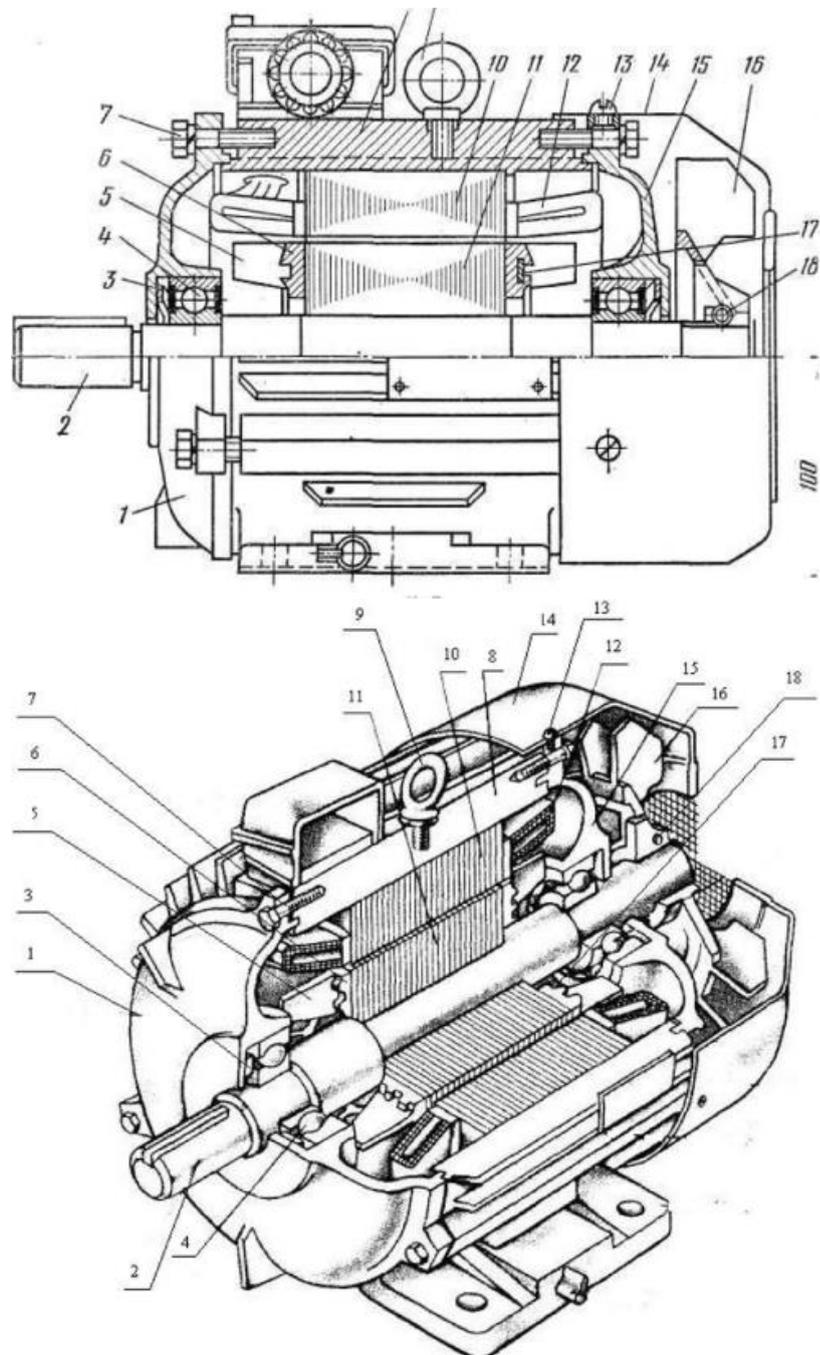
Подвижный ротор установлен внутри неподвижного статора с помощью подшипниковых щитов.

Устройство асинхронного двигателя представлено на рисунке 1.1.

На рисунке 1.1 обозначены:

- 1 - передний подшипниковый щит;
- 2 - выходной конец вала;
- 3 - уплотнение подшипника;
- 4 - шарикоподшипник;
- 5 - лопасти вентилятора ротора;
- 6 - короткозамыкающее кольцо;
- 7 - болт;
- 8 - станина;
- 9 - рым-болт;
- 10 - сердечник статора;
- 11 - сердечник ротора;
- 12 - обмотка статора;
- 13 - винт крепления кожуха вентилятора;
- 14 - кожух вентилятора;
- 15 - задний подшипниковый щит;
- 16 - вентилятор;
- 17 - стопорное кольцо;
- 18 - стопорный винт крыльчатки вентилятора.

Рис. 1.1



1.1 Устройство асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором  
 Для разборки двигателя необходимо вывернуть болты, крепящие подшипниковые щиты и вынуть ротор из статора, сняв предварительно передний подшипниковый щит.  
 На рисунке 1.2 отображены основные детали асинхронного двигателя.

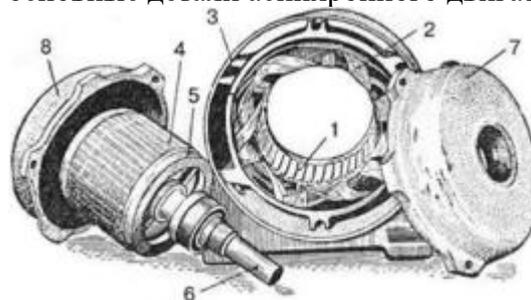


Рис. 1.2. Основные детали асинхронного двигателя:

- 1 - сердечник статора, 2 - обмотка статора, 3 - станина, 4 - сердечник ротора
- 5 - короткозамыкающее кольцо, 6 - вал, 7 - передний подшипниковый щит,
- 8 - задний подшипниковый щит

*Статор* состоит из станины и сердечника с обмоткой.

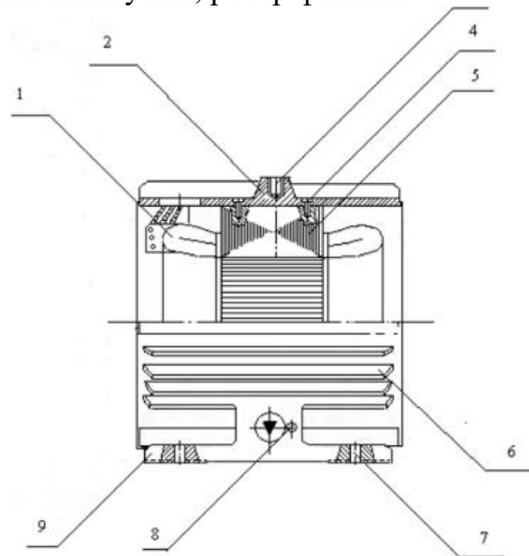
*Станина* выполняется из стали, чугуна или алюминиевых сплавов.

*Сердечник* набирают из штампованных листов электротехнической стали, изолированных между собой бумагой, лаком или слоем окиси. Изоляция необходима для ограничения величины вихревых токов и уменьшения нагрева сердечника.

*Обмотка* статора выполняется из медной изолированной проволоки круглого или прямоугольного сечения, которая укладывается в пазы сердечника.

*Подшипниковые щиты* - представляют собой крышки, закрывающие станину с двух сторон. В подшипниковые щиты встраиваются подшипники качения или скольжения которые обеспечивают механическую связь между неподвижным статором и подвижным ротором.

*Ротор* состоит из стального вала, сердечника и обмотки. В зависимости от конструкции роторы бывают: ротор короткозамкнутый; ротор фазный.



**Рис. 1.3. Устройство статора:**

- 1 - обмотка статора; 2 - станина; 3 - резьбовое отверстие под рым-болт;
- 4 - болты крепления сердечника; 5 - сердечник статора; 6 - ребра охлаждения;
- 7 - отверстия для анкерных крепежных болтов; 8 - болт заземления; 9 - лапа

*Короткозамкнутый ротор* (рисунок 1.4) представляет собой сердечник, набранный из листов электротехнической стали и напрессованный на вал. В пазы сердечника заливается расплавленный алюминий, который при застывании образует алюминиевую обмотку, состоящую из стержней замкнутых накоротко алюминиевыми кольцами. Такая обмотка называется «беличье колесо», а ротор - короткозамкнутым.

Асинхронные двигатели, как правило, питаются трехфазным переменным током и при подключении в сеть внутри статора возникает вращающееся магнитное поле, которое при взаимодействии с ротором обеспечивает его вращение. Частота вращения ротора зависит от числа пар полюсов статора.

Двигатели изготавливаются на синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 и 500 об/мин.

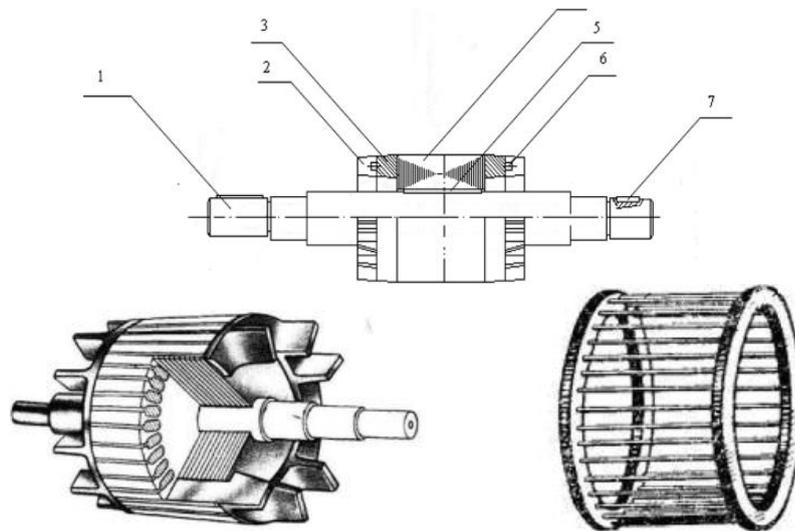


Рис. 1.4. Короткозамкнутый ротор:

- 1 - вал; 2 - лопатки вентилятора ротора; 3 - короткозамыкающее кольцо;
- 4 - сердечник ротора; 5 - шпонка сердечника; 6 - стяжная шпилька; 7 - шпонка вентилятора двигателя

В промышленности наиболее распространена серия трехфазных асинхронных двигателей 4А, охватывающая диапазон мощностей от 0,06 до 400 кВт.

*Контрольные вопросы*

- 1. Назначение асинхронного трёхфазного двигателя.
- 2. Перечислите основные характеристики двигателя.
- 3. Как изменить направление вращения ротора?
- 4. Чем обеспечивается защита электродвигателя при включении его в сеть?
- 5. Способы крепления электродвигателя.

*Содержание отчета*

- 1. Номер, тема и цель работы.
- 2. Технические данные асинхронного трёхфазного двигателя.
- 3. Назначение и устройство двигателя.
- 4. Ответы на контрольные вопросы.

**2. Изучение типовых схем управления асинхронными электродвигателями**

Типовые схемы релейно-контакторного управления АД строятся по тем же принципам, что и ДПТ. Двигатели этого типа малой и средней мощности обычно пускаются прямым подключением к сети без ограничения пусковых токов. В этих случаях они управляются с помощью магнитных пускателей, которые одновременно обеспечивают и некоторые виды их защиты.

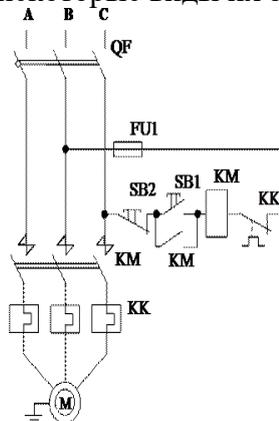


Рисунок 2.1 - Схема управления короткозамкнутым АД с магнитным пускателем  
Схема управления асинхронным двигателем с использованием магнитного пускателя (рис.2.1) включает в себя магнитный пускатель, состоящий из

контактора КМ и трех встроенных в него тепловых реле защиты КК. Схема обеспечивает прямой (без ограничения тока и момента) пуск АД, отключение его от сети, а также защиту цепей управления от коротких замыканий (предохранители FU), а электродвигателя от коротких замыканий (автоматический выключатель QF) и перегрузки (тепловые реле КК). Для пуска АД замыкают выключатель QF и нажимают кнопку пуска SB1. Получает питание катушка магнитного пускателя КМ и силовыми контактами в цепи статора АД подключает его к источнику питания, а вспомогательным контактом шунтирует кнопку SB1. Происходит разбег АД по его естественной характеристике. Для отключения АД нажимается кнопка остановки SB2, контактор КМ теряет питание и отключает АД от сети. Начинается процесс торможения АД выбегом под действием момента нагрузки на его валу.

Реверсивная схема управления асинхронным двигателем. Основным элементом этой схемы является реверсивный магнитный пускатель, который включает в себя два линейных контактора КМ1 и КМ2 и тепловое реле КК (рисунок 2.2).

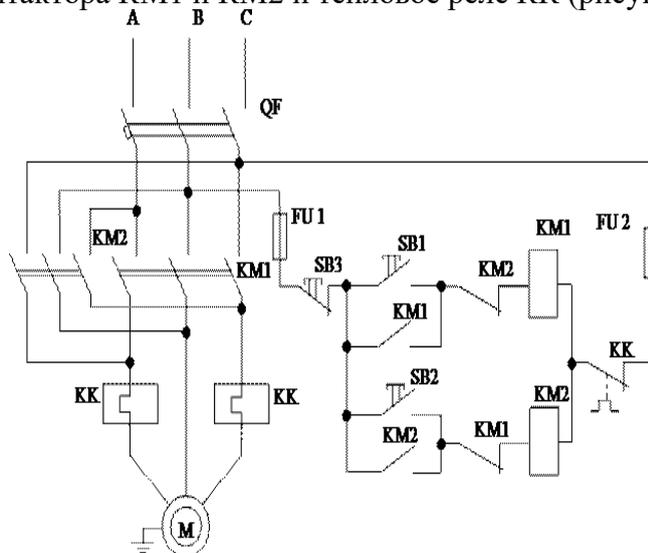


Рисунок 2.2 - Схема управления короткозамкнутым АД с реверсивным магнитным пускателем

Схема обеспечивает прямой пуск и реверс АД, а также торможение противовключением при ручном (неавтоматическом) управлении. В схеме предусмотрена защита от перегрузок АД (реле КК) и коротких замыканий в цепях статора (автоматический выключатель QF) и управления (предохранители FU). Кроме того, схема управления осуществляет нулевую защиту от исчезновения напряжения сети (контакторы КМ1 и КМ2).

Пуск двигателя в условных направлениях «Вперед» или «Назад» осуществляется нажатием соответственно кнопок SB1 или SB2. Это приводит к срабатыванию контактора КМ1 или КМ2 и подключению АД к сети (при включенном автоматическом выключателе QF).

Для реверса или торможения АД вначале нажимается кнопка SB3, что приводит к отключению включенного до сих пор контактора (например, КМ1), после чего нажимается кнопка SB2. Это приводит к включению контактора КМ2 и подаче на АД напряжения источника питания с другим порядком чередования фаз. Магнитное поле АД изменяет свое направление вращения и начинается процесс реверса, состоящий из двух этапов—торможения противовключением и разбега в противоположную сторону.

В случае необходимости только затормозить АД, должна быть нажата кнопка SB3, что приведет к отключению АД от сети и возвращению схемы в исходное положение.

Во избежание короткого замыкания в цепи статора, которое может возникнуть в

результате одновременного ошибочного нажатия кнопок SB1 и SB2, в реверсивных магнитных пускателях иногда предусматривается специальная механическая блокировка. Она представляет собой рычажную систему, которая предотвращает втягивание одного контактора, если включен другой. В дополнение к механической блокировке в схеме используется типовая электрическая блокировка, применяемая в реверсивных схемах управления. Она предусматривает перекрестное включение размыкающих контактов аппарата КМ1 в цепи катушки аппарата КМ2 и наоборот. Отметим, что повышению надежности и удобства в эксплуатации способствует использование в схеме воздушного автоматического выключателя QF. Его наличие исключает возможность работы привода при обрыве одной фазы, при однофазном коротком замыкании, как это имеет место при установке предохранителей, а также он не требует замены элементов (как в предохранителях при сгорании их плавкой вставки).

Под рабочими характеристиками двигателя понимают зависимости мощности, потребляемой двигателем  $P_1 = P_d$ , потребляемого тока обмотки статора  $I_1 = I_d$ , коэффициента мощности  $\cos\phi_1$ , частоты вращения двигателя  $n_2$ , КПД  $\eta$  и вращающего момента  $M$  от полезной мощности двигателя, отдаваемой на валу  $P_2$ . Эти характеристики определяют основные эксплуатационные свойства асинхронного двигателя и снимаются при номинальных частоте сети  $f = f_{ном}$  и напряжении на зажимах статора  $U_1 = U_{ном}$ .

*Содержание отчета*

- 1. Номер, тема и цель работы.
- 2. Описание и начертание схемы нереверсивного пуска асинхронного электродвигателя через магнитный пускатель
- 4. Ответы на контрольные вопросы.

### **3. Исследование характеристик асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором**

**Наименование работы:** Расчет и построение механических характеристик асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

#### **Задание**

Для подключенного к сети 380/220В асинхронного трёхфазного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, каталожные данные которого приведены в таблице 1, рассчитать и построить естественные механические характеристики, используя упрощенную формулу Клосса.

Таблица 1 – Исходные данные к заданию

№ варианта	Тип электродвигателя	При номинальной нагрузке					Кратность пускового тока	Кратность моментов		
		Мощность, кВт	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Сила тока статора, А	КПД, %	cos φ		пусковой	максимального	минимального
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	АИР80А4 У3	1,1	1395	2,75	75,0	0,81	5,5	2,2	2,2	1,6
2	АИР80В4 У3	1,5	1395	3,52	78,0	0,83	5,5	2,2	2,2	1,6
3	АИР90L4 У3	2,2	1400	5,0	81,0	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6
4	АИР100S 4У3	3,0	1410	6,7	82,0	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
5	АИР100L 4У3	4,0	1410	8,5	85,0	0,83	7,0	2,0	2,2	1,6
6	АИР112М 4У3	5,5	1430	11,4	85,5	0,86	7,0	2,0	2,2	1,6

7	АИР132S 4У3	7,5	1440	15,1	87,5	0,86	7,5	2,0	2,2	1,6
8	АИР132М 4У3	11,0	1450	22,0	87,5	0,87	7,5	2,0	2,2	1,6
9	АИР160S 4У3	15,0	1455	28,5	90,0	0,89	7,0	1,9	2,9	1,8
10	АИР160М 4У3	18,5	1455	34,9	90,5	0,89	7,0	1,9	2,9	1,8
11	АИР180S 4У3	22,0	1460	42,9	90,5	0,87	7,0	1,7	2,4	1,5
12	АИР180М 4У3	30,0	1470	56,9	92,0	0,87	7,0	1,7	2,7	1,5
13	АИР200М 4У3	37,0	1470	68,3	92,5	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6
14	АИР200L 4У3	45,0	1470	83,0	92,2	0,89	7,5	1,7	2,7	1,6
15	АИР225М 4У3	55,0	1470	101,0	93,0	0,89	7,0	1,7	2,6	1,6
16	АИР100L 6У3	2,2	945	5,6	81,0	0,74	6,0	2,0	2,2	1,6
17	АИР112М А6У3	3,0	950	7,1	81,0	0,76	6,0	2,0	2,2	1,6
18	АИР112М В6У3	4,0	950	9,2	82,0	0,81	6,0	2,0	2,2	1,6
19	АИР132S 6У3	5,5	960	12,3	85,0	0,80	7,0	2,0	2,2	1,6

Продолжение таблицы 1

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	АИР132М6У3	7,5	960	16,5	85,5	0,81	7,0	2,0	2,2	1,6
21	АИР160S6У3	11,0	970	22,9	89,5	0,83	6,5	2,0	2,7	1,6
22	АИР160М6У3	15,0	970	30,1	88,0	0,85	6,5	2,0	2,7	1,6
23	АИР180М6У3	18,5	980	37,0	88,0	0,85	6,5	1,8	2,4	1,6
24	АИР200М6У3	22,0	980	44,7	90,0	0,83	6,5	1,6	2,4	1,4
25	АИР200L6У3	30,0	975	59,6	90,0	0,85	6,5	1,6	2,4	1,4

### Пример выполнения задания

*Исходные данные:* мощность электродвигателя  $P_{\text{ном}} = 17$  кВт; частота вращения  $n_{\text{ном}} = 2900$  мин<sup>-1</sup>; КПД  $\eta_{\text{ном}} = 88\%$ ;  $\cos \varphi = 0,88$ ; кратность максимального момента  $k_{\text{max}} = 2,2$ ; кратность пускового тока  $k_i = 7$ ; фазное напряжение  $U_{\text{ном}} = 220$  В; частота тока  $f = 50$  Гц; схема соединения обмоток статора «звезда».

#### Решение

1. Номинальный ток электродвигателя:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{3U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{17 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,88} = 33 \text{ А.}$$

2. Пусковой ток:

$$I_{\text{п}} = k_i \cdot I_{\text{ном}}, \quad (2)$$

$$I_{\text{п}} = 7 \cdot 33 = 231 \text{ А.}$$

3. Частота вращения поля статора:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (3)$$

где  $p$  – число пар полюсов,  $p = 1$ .

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ мин}^{-1}.$$

4. Номинальное скольжение:

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_{\text{ном}}}{n_1}, \quad (4)$$

$$s_{\text{ном}} = \frac{3000 - 2900}{3000} = 0,033 \text{ или } 3,3\%.$$

5. Критическое скольжение:

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} \cdot (k_{\text{max}} + \sqrt{k_{\text{max}}^2 - 1}), \quad (5)$$

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,137 \text{ или } 13,7\%.$$

6. Номинальный момент на валу:

$$M_{\text{ном}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}}, \quad (6)$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{60}{2 \cdot 3,14} \cdot \frac{17 \cdot 10^3}{2900} = 56 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

7. Максимальный момент на валу:

$$M_{\text{max}} = M_{\text{ном}} \cdot k_{\text{max}}, \quad (7)$$

$$M_{\text{max}} = 56 \cdot 2,2 = 123,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

8. Частота вращения ротора определяется по формуле:

$$n = n_1(1 - s). \quad (8)$$

9. Момент на валу определяется по формуле:

$$M = \frac{2M_{\text{max}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}}, \quad (9)$$

$$M = \frac{246,4}{\frac{s}{0,137} + \frac{0,137}{s}}.$$

10. Результаты вычислений  $n$  и  $M$  для заданного ряда значений  $s$  приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты вычислений частоты вращения и момента на валу

$s$	0	0,033	0,137	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$n$ , мин <sup>-1</sup>	3000	2901	2589	2400	1800	1200	600	0
$M$ , Н·м	0	56,1	123,2	114,9	75,53	53,47	40,99	33,13

Из таблицы определяется пусковой момент:

$$M_{\text{п}} = 33,13 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

График зависимости  $M = f(s)$  приведён на рисунке 1.

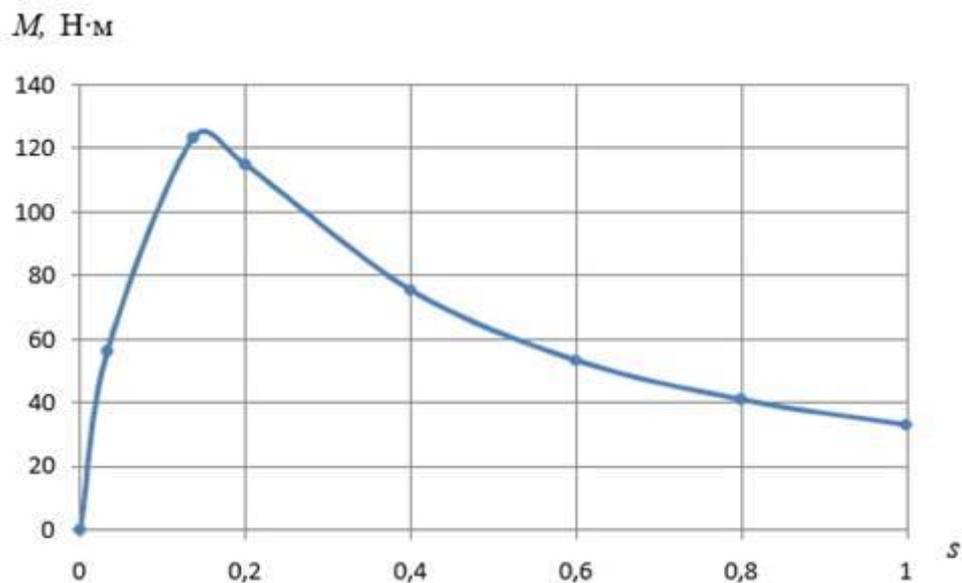


Рисунок 1 – График зависимости  $M = f(s)$

График зависимости  $n = f(M)$  приведён на рисунке 2.

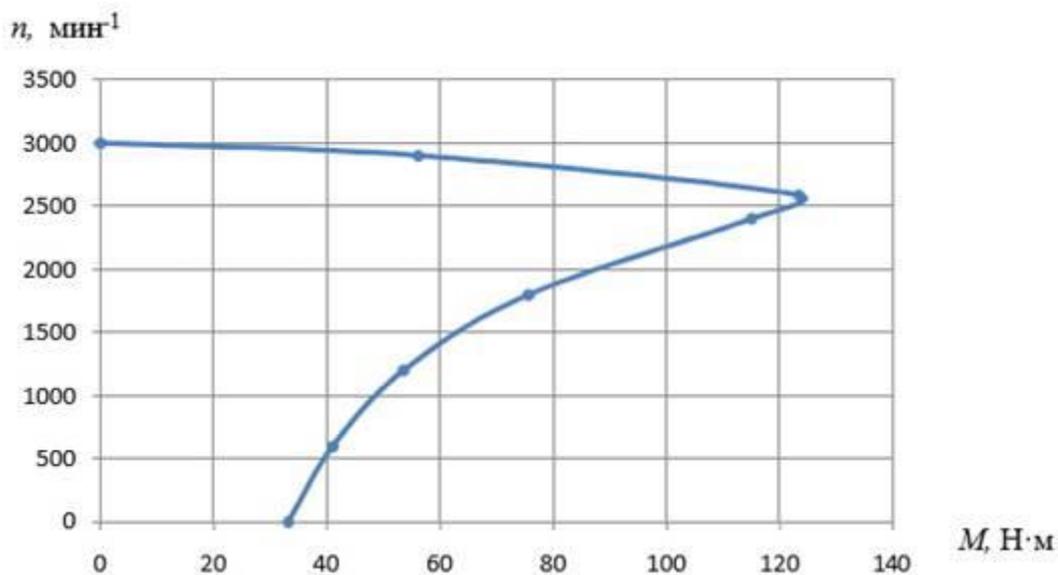


Рисунок 2 – График зависимости  $n = f(M)$

### Задание для отчёта:

1. Тема.
2. Наименование работы.
3. Цель занятия.
4. Приобретаемые умения и навыки.
5. Задание, исходные данные согласно варианту, выполнение задания.

**Примечание.** Число пар полюсов можно определить из типа электродвигателя. Например, у электродвигателя типа АИР80А4У3 число «4» означает, что он имеет четыре полюса или две пары полюсов.

**Раздел 1. Электрические машины**  
**Тема 1.3. Электрические машины постоянного тока**  
**Практическая работа № 4**  
**Исследование ДПТ последовательного возбуждения**

Формируемые:

31, 32, 33  
У1, У2, У3.  
ОК1, ОК2, ОК4, ОК7,  
ПК 2.1

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение типовых схем управления электродвигателями ДПТ независимого возбуждения.
2. Приобретение навыков исследований в области расчета параметров двигателей постоянного тока последовательного возбуждения

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

**Теоретическое обоснование**

Схема включения в сеть двигателей постоянного тока последовательного возбуждения показана на рисунке 1.1. Здесь ток якоря является в то же время и током возбуждения, и потому пусковой реостат  $R_{\text{пуск}}$  изменяет и ток в якоре, и ток в обмотке возбуждения. При холостом ходе или очень малых нагрузках ток в якоре, как мы знаем, должен быть очень мал, т. е. индуцированная э. д. с.  $E_i$  должна быть почти равна напряжению сети. Но при очень малом токе через якорь и обмотку возбуждения слабо и поле обмотки возбуждения. Поэтому при малой нагрузке необходимая э. д. с. может быть получена только за счет очень большой частоты вращения двигателя. Вследствие этого при очень малых токах (малой нагрузке) частота вращения двигателя с последовательным возбуждением становится настолько большой, что это может стать опасным с точки зрения механической прочности двигателя.

Говорят, что двигатель идет «вразнос». Это недопустимо, и поэтому двигатели с последовательным возбуждением нельзя пускать в ход без нагрузки или с малой нагрузкой (меньшей 20...25 % от нормальной мощности двигателя). По этой же причине не рекомендуется соединять эти двигатели со станками или другими машинами ременными или канатными передачами, так как обрыв или случайный сброс ремня приведет к «вразносу» двигателя. Таким образом, в двигателях с последовательным возбуждением при возрастании нагрузки увеличиваются ток в якоре и магнитное поле индуктора; поэтому частота вращения двигателя резко падает, а развиваемый им вращающий момент резко возрастает.

Эти свойства двигателей с последовательным возбуждением делают их наиболее удобными для применения на транспорте (трамваи, троллейбусы, электропоезда) и в подъемных устройствах (кранах), так как в этих случаях необходимо иметь в момент пуска при очень большой нагрузке большие вращающие моменты при малых частотах вращения, а при меньших нагрузках (на нормальном ходу) меньшие моменты и большие частоты.

Напряжение на зажимах двигателя:

$$U = E + r_{\text{я}} I_{\text{я}} \quad (1.1)$$

Для двигателя последовательного возбуждения

$$I_{\text{я}} = I_{\text{н}} = I_{\text{в}} \quad (1.2)$$

КПД двигателя равен отношению мощности отдаваемой к мощности потребляемой

$$\left[ \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \right. \quad (1.3)$$

где  $\Sigma P$  - суммарные потери мощности генератора;

$P_1$  - мощность, передаваемая генератору от привода;

$P_2$  - полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

К потерям мощности двигателя относят электрические потери в обмотках якоря  $P_a$  и возбуждения  $P_b$ , механические потери и потери в стали. Электромагнитная мощность двигателя

$$P_{эм} = I_a E \quad (1.4)$$

Мощность, подводимая к двигателю:

$$P_1 = I_n U_n, \quad (1.5)$$

где  $I_n$  - номинальный ток двигателя,

$U_n$  - номинальное напряжение сети.

Вращающий электромагнитный момент двигателя при номинальном режиме

$$M_{ном} = 9,55 \frac{P_{ном}}{n_{ном}} \quad (1.6)$$

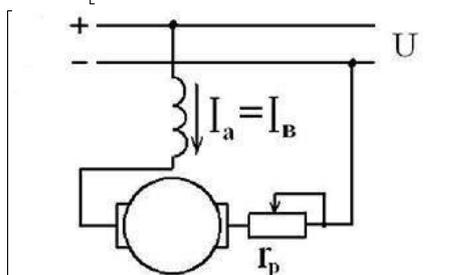


Рисунок 1.1 – Схема двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

### Ход работы

1. Начертите схему двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и запишите данные для своего варианта. При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
2. Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
3. Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
4. Используйте свойства последовательного и параллельного соединений элементов электрической цепи, законы Ома и Кирхгофа.
5. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
6. Оформите отчет по практической работе.

### Задача 1

Электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением отдает полезную мощность  $P_2$  и потребляет из сети мощность  $P_1$  при напряжении  $U_{ном}$ . Двигатель развивает полезный момент  $M$  при частоте вращения якоря  $n$ . Сила тока в цепи якоря равна  $I$ , противо-ЭДС в обмотке якоря  $E$ . Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения равны  $P_a$ . Сопротивление обмоток якоря и возбуждения  $R_a + R_{пс}$ . В момент пуска двигатель потребляет из сети пусковой ток  $I_п$ . Коэффициент полезного действия двигателя равен  $\eta_{дв}$ . Схема двигателя приведена на рисунке 1.1. Используя данные, приведенные в таблице 1.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 1.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном2}$ , кВт	44,0	-	-	21,0	-	-	-	-	5,0	10,0
$P_1$ , кВт	51,3	-	4,5	-	10	-	11	-	6,7	-
$U_{ном}$ , В	-	110	-	250	-	220	110	440	440	-
$M_{ном}$ Нм	296	35	20	310	48	-	79,5	880	-	-
$n_{ном}$ об/мин	-	-	1800	-	1600	1200	-	510	1030	1200
$I_{ном}$ , А	205	39	-	-	45,5	33	-	-	-	100
$E$ , В	-	-	-	-	208	-	-	-	417	-
$P_a$ , А	2270	300	-	-	-	-	800	-	-	-

$R_{a+}$ ОМ	$R_{пс,}$	-	-	0,55	0,13	-	0,74	-	0,054	-	0,08
$I_{п,}$ А	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-	-
$\eta_{дв}$	-	0,85	-	0,84	-	0,76	0,91	0,78	-	-	0,905

### Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к пуску ДПТ последовательного возбуждения?
2. Поясните, как осуществляется пуск ДПТ последовательного возбуждения.
3. Перечислите, какие характеристики ДПТ называются рабочими и при соблюдении каких условий они получаются.
4. Каким образом регулируют ток возбуждения в двигателе последовательного возбуждения?
5. Какие способы регулирования частоты вращения применяются в двигателях последовательного возбуждения?

### Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Данные своего варианта
3. Схема двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.
4. Решение задачи с пояснениями.
5. Ответы к решению задачи.
6. Ответы на контрольные вопросы.

## Раздел 1. Электрические машины

### Тема 1.3. Электрические машины постоянного тока

#### Практическая работа № 5

#### Исследование ДПТ параллельного возбуждения.

#### Формируемые:

31, 32, 33  
У1, У2, У3.  
ОК1, ОК2, ОК4, ОК7,  
ПК 2.1

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение типовых схем управления электродвигателями ДПТ параллельного возбуждения.
2. Приобретение навыков исследований в области расчета параметров двигателей постоянного тока параллельного возбуждения.

#### УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

##### Теоретическое обоснование

Машина постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением, подключенная к сети с постоянным напряжением, может работать как в генераторном, так и в двигательном режиме и переходить из одного режима работы в другой.

Различают три типа двигателей постоянного тока:

- с параллельным возбуждением;
- с последовательным возбуждением;
- со смешанным возбуждением.

В отличие от генераторов, в которых ток якоря образуется за счет остаточного магнитного потока, вызывающего появление остаточной ЭДС, в двигателях ток якоря создается внешним источником и направлен он против ЭДС.

Для двигателя параллельного возбуждения, схема которого приведена на рисунке 1.1, справедливы соотношения:

$$U_H = E_H = r_{я} I_{я}, \quad (1.1)$$

где  $E_H$  - противо-ЭДС, индуцируемая в обмотке якоря при номинальной скорости вращения.

$$I_H = I_{\text{я}} + I_{\text{в}}, \quad (1.2)$$

Номинальный ток якоря определяется выражением:

$$I_{\text{я}} = (U_H - E_H) / r_{\text{я}} \quad (1.3)$$

В момент пуска  $n = 0$ , следовательно и  $E = 0$ , поэтому пусковой ток якоря будет чрезмерно большим. Для его ограничения последовательно с якорем включают пусковой реостат  $r_{\text{пуск}}$ , тогда

$$I_{\text{я пуск}} = U_H / (r_{\text{я}} + r_{\text{пуск}}) \quad (1.4)$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети

$$P_1 = I_H U_H, \quad (1.5)$$

где  $I_H$  - номинальный ток двигателя,

$U_H$  - номинальное напряжение сети.

Вращающий электромагнитный момент двигателя при номинальном режиме

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}}, \quad (1.6)$$

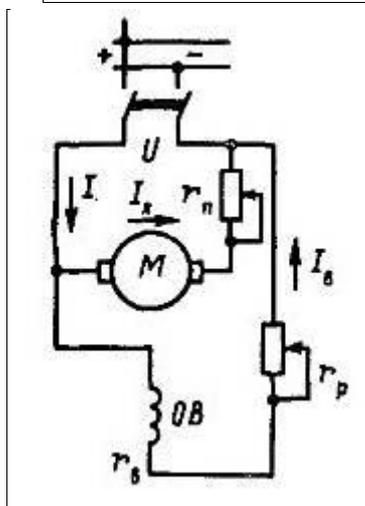


Рисунок 1.1 – Схема двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

### Ход работы

1. Начертите схему двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и запишите данные для своего варианта. При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
2. Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
3. Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
4. Используйте свойства последовательного и параллельного соединений элементов электрической цепи, законы Ома и Кирхгофа.
5. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
6. Оформите отчет по практической работе.

### Задача 1

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением, работая в номинальном режиме, отдает полезную мощность на валу  $P_{\text{ном2}}$ , развивая при этом номинальный момент  $M_{\text{ном}}$  при частоте вращения  $n_{\text{ном}}$ . Двигатель потребляет из сети номинальный ток  $I_{\text{ном}}$  при напряжении  $U_{\text{ном}}$ . Ток в обмотке якоря  $I_{\text{я}}$ , в обмотке возбуждения  $I_{\text{в}}$ . Потребляемая из сети мощность равна  $P_1$ . Суммарные потери мощности в двигателе составляют  $\Sigma P$ , коэффициент полезного действия  $\eta_{\text{дв}}$ . Схема двигателя приведена на рисунке 1.1. Используя данные, приведенные в таблице 1.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 1.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{НОМ2}}$ , кВт	22	-	11	30	12	-	-	-	30	3,6
$M_{\text{НОМ}}$ Нм	-	28,56	-	191	-	213	200	78,4	-	-
$n_{\text{НОМ}}$ , об/мин	985	-	1340	-	750	-	1433	-	1433	1200
$I_{\text{НОМ}}$ , А	113,6	-	-	79,5	-	-	159	56,8	-	18,8
$U_{\text{НОМ}}$ , В	-	220	220	-	220	220	-	-	220	-
$I_a$ , А	-	18	-	-	-	108	-	55,7	150	-
$I_b$ , А	5,6	-	1,1	2,5	1,5	-	9,0	-	-	0,8
$P_1$ , кВт	25,0	4,14	12,5	35,0	-	-	34,9	-	-	-
$\Sigma P$ , кВт	-	-	--	-	-	3,0	-	1,5	4,9	0,54
$\eta_{\text{дв}}$	-	0,87	-	-	0,8	0,88	-	0,88	-	-

### Контрольные вопросы

1. Перечислите способы возбуждения двигателей постоянного тока.
2. Что относится к пусковым свойствам двигателя постоянного тока? Как их улучшают?
3. От чего зависит скорость вращения двигателя постоянного тока?
4. Как определить величину вращающего момента электродвигателя?
5. Что определяют понятия «кратность пускового тока», «кратность пускового момента»? Как рассчитываются эти величины?
6. Как определить мощность потерь двигателя постоянного тока?
7. Как рассчитывается КПД двигателя постоянного тока?
8. Изобразите энергетическую диаграмму двигателя постоянного тока.

### Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Данные своего варианта
3. Схема двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
4. Решение задачи с пояснениями.
5. Ответы к решению задачи.
6. Ответы на контрольные вопросы.

## Раздел 1. Электрические машины

### Тема 1.3. Электрические машины постоянного тока

#### Практическая работа № 6

#### Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения

##### Формируемые:

31, 32, 33  
У1, У2, У3.  
ОК1, ОК2, ОК4, ОК7,  
ПК 2.1

##### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение типовых схем управления генератора ГПТ независимого возбуждения.
2. Приобретение навыков исследований в области расчета параметров генератора постоянного тока независимого возбуждения

##### УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

### Теоретическое обоснование

В зависимости от схемы включения обмотки возбуждения различают генераторы параллельного, последовательного, смешанного и независимого возбуждения.

В генераторе постоянного тока с независимым возбуждением обмотка возбуждения не связана электрически с якорной обмоткой. Она питается постоянным током от внешнего источника электрической энергии, например от аккумуляторной батареи; мощные генераторы имеют на общем валу небольшой генератор-возбудитель. Ток возбуждения  $I_B$  не зависит от тока якоря  $I_A$ , который равен току нагрузки  $I_n$ . Обычно ток возбуждения невелик и составляет 1...3 % от номинального тока якоря. Последовательно с обмоткой возбуждения подключен регулировочный реостат (реостат возбуждения). Он изменяет величину тока возбуждения  $I_B$ , тем самым регулируется электродвижущая сила  $E$ .

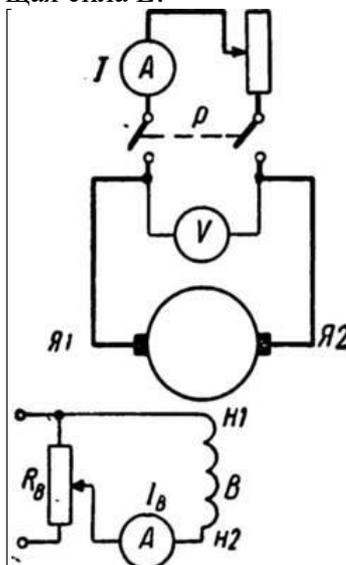


Рисунок 1.1 – Схема генератора постоянного тока независимого возбуждения  
Для генератора независимого возбуждения, схема которого показана на рисунке 1.1,

ЭДС

$$E = U + r_A I_A \quad (1.1)$$

При номинальном режиме

$$I_A = I_n \text{ и } U = U_n \quad (1.2)$$

КПД генератора равен отношению мощности отдаваемой к мощности потребляемой

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1}$$

(1.3)

где  $\Sigma P$  - суммарные потери мощности генератора;

$P_1$  - мощность, передаваемая генератору от привода;

$P_2$  - полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

К потерям мощности генератора относят электрические потери в обмотках якоря  $P_a$  и возбуждения  $P_v$ , механические потери и потери в стали. Электromагнитная мощность генератора

$$P_{эм} = I_A E \quad (1.4)$$

#### Ход работы

1. Изобразите схему генератора постоянного тока независимого возбуждения (Рисунок 1.1) и запишите данные для своего варианта (Таблица 1.1).
2. При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
3. Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
4. Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
5. При расчете параметров генератора применяйте законы Кирхгофа, Ома, свойства последовательного и параллельного соединения элементов цепи, используя схему включения генератора (рисунок 1.1).

6. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

7. Оформите отчет по практической работе.

### Задача

Генератор постоянного тока с независимым возбуждением используется для питания цепей автоматики станка с программным управлением, которые требуют постоянного напряжения. Генератор работает в номинальном режиме и отдает полезную мощность  $P_{ном2}$  при напряжении на зажимах  $U_{ном}$ , развивая ЭДС  $E$ . Мощность первичного двигателя, вращающего генератор, равна  $P_1$ . Генератор отдает во внешнюю цепь ток нагрузки, равный току якоря  $I_{ном} = I_a$ ; ток в обмотке возбуждения  $I_b$ . Сопротивление нагрузки равно  $R_n$ . Сопротивление обмотки якоря  $R_a$ , обмотки возбуждения  $R_b$ . Напряжение на обмотке возбуждения  $U_b$ . КПД генератора равен  $\eta_{ном}$ . Электрические потери в обмотке якоря  $P_a$ , в обмотке возбуждения  $P_b$ . Суммарные потери в генераторе равны  $\Sigma P$ . Схема генератора приведена на рисунке 1.1. Используя данные, приведенные в таблице 1.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 1.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном2}$ , кВт	32	-	230	-	-	-	-	110	19	99
$U_{ном}$ , В	230	460	-	230	230	230	230	-	115	-
$E$ , В	-	-	243	-	233,6	-	-	-	-	-
$P_1$ , кВт	-	110	-	40	-	-	-	-	23	-
$I_{ном}$ , А	-	-	-	-	139	826	1000	478	-	-
$R_n$ , Ом	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	2,14
$R_a$ , Ом	0,026	0,054	-	0,07	-	0,006	0,013	-	0,13	-
$R_b$ , Ом	46	-	-	100	-	18,5	11,5	44,5	110	46
$U_b$ , В	115	230	115	-	115	230	115	230	-	230
$\eta_{ном}$	0,87	0,90	-	-	-	-	0,90	0,90	-	-
$P_a$ , Вт	-	-	-	-	-	-	-	1140	-	2500
$P_b$ , Вт	-	1150	1150	132	287	-	-	-	110	-
$\Sigma P$ , кВт	-	-	24	5	4,8	15	-	-	-	11
$I_b$ , А	-	1,15	1,0	2,3	1,15	-	-	-	1,0	-

### Контрольные вопросы

1. Перечислите способы возбуждения генераторов постоянного тока.
2. От чего зависит величина ЭДС, индуцируемой в генераторе постоянного тока?
3. От чего зависит напряжение на зажимах генератора?
4. Как определить ток нагрузки генератора постоянного тока независимого возбуждения?
5. Чем определяются потери энергии генератора постоянного тока?
6. Как зависят от нагрузки генератора механические потери, потери в стали, потери в меди, потери в щеточном контакте?

### Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Данные своего варианта и схема генератора постоянного тока независимого возбуждения.
3. Решение задачи с пояснениями.
4. Ответы к решению задачи.
5. Ответы на контрольные вопросы.

### Раздел 1. Электрические машины

#### Тема 1.3. Электрические машины постоянного тока

#### Практическая работа № 7

#### Исследование генератора постоянного тока параллельного возбуждения

Формируемые:

31, 32, 33

У1, У2, У3.

ОК1, ОК2, ОК4, ОК7,

ПК 2.1

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

1. Изучение типовых схем управления генератора ГПТ параллельного возбуждения.

2. Приобретение навыков исследований в области расчета параметров генератора ГПТ параллельного возбуждения

**УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

### **Теоретическое обоснование**

В генераторе с параллельным возбуждением обмотка возбуждения присоединена через регулировочный реостат параллельно обмотке якоря. Для нормальной работы потребителей электроэнергии необходимо поддерживать постоянство напряжения на зажимах генератора, несмотря на изменение общей нагрузки. Это осуществляется посредством регулирования тока возбуждения.

Реостаты возбуждения имеют, как правило, *холостые контакты*, при помощи которых можно осуществить короткое замыкание обмотки возбуждения «на себя». Это необходимо при отключении обмотки возбуждения. Если выключить обмотку возбуждения путём разрыва её цепи, то исчезающее магнитное поле создаст очень большую ЭДС самоиндукции, способную пробить изоляцию обмотки и вывести генератор из строя. При коротком замыкании обмотки возбуждения при её отключении энергия исчезающего магнитного поля переходит в тепло, не причиняя вреда обмотке возбуждения, так как ЭДС самоиндукции не превысит номинального напряжения на зажимах генератора.

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением сам питает свою обмотку возбуждения и не нуждается в постороннем источнике электрической энергии. Самовозбуждение генератора возможно только при наличии остаточного магнетизма в сердечниках электромагнитов, поэтому они изготавливаются из литой стали и после прекращения работы генератора сохраняется остаточный магнетизм. Так как обмотка возбуждения подключена к его зажимам, то в ней при вращении якоря в его обмотке потоком остаточного магнетизма индуктируется ЭДС  $E_{ост}$ , и по обмотке возбуждения начинает протекать ток. Если обмотка возбуждения включена правильно, так, что её магнитный поток  $\Phi$  направлен «попутно» с магнитным потоком остаточного магнетизма, то суммарный магнитный поток возрастает, увеличивая ЭДС  $E$ , магнитный поток  $\Phi$  и ток возбуждения  $I_b$ . Машина самовозбуждается и начинает устойчиво работать с  $I_b = const$ ,  $E = const$ , зависящими от величины сопротивления  $R = const$  цепи возбуждения.

Однако процесс нарастания электродвижущей силы  $E$  генератора (процесс самовозбуждения генератора) не прогрессирует, то есть ЭДС генератора не возрастает неограниченно. Всякий раз рост индуктированной ЭДС генератора ограничен тем или иным пределом. Для этого необходимо рассмотреть характеристику холостого хода генератора.

Для генератора параллельного возбуждения, схема которого показана на рисунке 1.1, ЭДС

$$E = U + r_{я} I_{я} \quad (1.1)$$

Для генератора параллельного возбуждения

$$I_{я} = I_n + I_b \quad (1.2)$$

КПД генератора равен отношению мощности отдаваемой к мощности потребляемой

$$\left[ \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \right] \quad (1.3)$$

где  $\Sigma P$  - суммарные потери мощности генератора;

$P_1$  - мощность, передаваемая генератору от привода;

$P_2$  - полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

К потерям мощности генератора относят электрические потери в обмотках якоря  $P_a$  и возбуждения  $P_b$ , механические потери и потери в стали. Электромагнитная мощность генератора

$$P_{эм} = I_a E \quad (1.4)$$

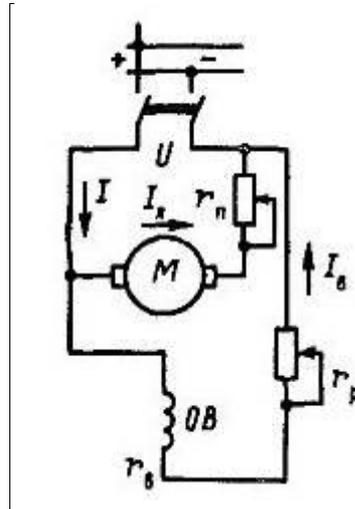


Рисунок 1.1– Схема генератора постоянного тока параллельного возбуждения

#### Ход работы

1. Изобразите схему генератора постоянного тока параллельного возбуждения и запишите данные для своего варианта (Таблица 1.1).
2. При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
3. Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
4. Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
5. При расчете параметров генератора применяйте законы Кирхгофа, Ома, свойства последовательного и параллельного соединения элементов цепи, используя схему включения генератора постоянного тока параллельного возбуждения (рисунок 1.1).
6. Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
7. Оформите отчет по практической работе.

#### Задача

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением отдает полезную мощность  $P_2$  при номинальном напряжении  $U_{ном}$ . Сила тока в нагрузке равна  $I_{ном}$ , ток в цепи якоря  $I_a$ , в обмотке возбуждения  $I_b$ . Сопротивление цепи якоря равно  $R_a$ , обмотки возбуждения  $R_b$ . Генератор развивает ЭДС  $E$ . Электромагнитная мощность равна  $P_{эм}$ . Мощность, затрачиваемая на вращение генератора, равна  $P_1$ . Суммарные потери мощности в генераторе составляют  $\Sigma P$  при коэффициенте полезного действия  $\eta_g$ . Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения соответственно равны  $P_a$  и  $P_b$ . Схема генератора дана на рисунке 1.1. Используя данные, приведенные в таблице 1.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 1.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном2}$ , кВт	-	20,65	2	11,8	-	-	-	-	-	21,56
$U_{ном}$ , В	220	-	-	-	220	115	430	-	-	220
$I_{ном}$ , А	98	48	-	102,6	-	-	-	17,4	-	-
$I_b$ , А	-	-	2,9	-	-	-	-	-	2	-
$I_a$ , А	-	-	-	-	100	-	50	20,3	-	-
$R_a$ , Ом	0,15	0,2	-	-	-	0,07	-	0,25	-	-
$R_b$ , Ом	110	-	-	-	110	18,9	215	-	-	-

$E, В$	-	440	120	-	235	122,6	-	-	-	-
$P_{эм}, кВт$	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-
$P_1, кВт$	-	-	2,55	14	25,36	-	-	-	23,45	-
$\Sigma P, кВт$	-	2,8	-	-	-	2,2	-	0,55	2,8	-
$\eta_{г}$	0,85	-	-	-	-	-	0,88	0,78	-	0,85
$P_a, Вт$	-	-	-	825	-	-	-	-	500	1500
$P_b, Вт$	-	-	-	690	-	-	-	-	860	440

### Контрольные вопросы

1. Какие характеристики определяют свойства генераторов постоянного тока?
2. Каковы условия самовозбуждения генераторов постоянного тока?
3. Почему у генератора параллельного возбуждения изменение напряжения при сбросе нагрузки больше, чем у генератора независимого возбуждения?
4. Что необходимо сделать для того, чтобы магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, направить согласно с остаточным магнитным потоком.
5. Почему нельзя получить характеристику короткого замыкания у генератора параллельного возбуждения?

### Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Данные своего варианта и схема генератора постоянного тока параллельного возбуждения.
3. Решение задачи с пояснениями.
4. Ответы к решению задачи.
5. Ответы на контрольные вопросы.

## Раздел 2. Трансформаторы

### Тема 2.1. Назначение, принцип работы, классификация, конструктивные особенности, характеристики трансформаторов Практическая работа № 8

#### Исследование однофазного трансформатора. Внешняя характеристика

Формируемые:

32, У1

ОК1, ОК2, ОК4, ОК7,

ПК 2.1

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение типовых схем подключения однофазного трансформатора.
2. Приобретение навыков исследований в области расчета параметров однофазного трансформатора.
3. Исследование характеристик однофазного трансформатора

#### УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

### Теоретическое обоснование

#### А) Расчет параметров однофазного трансформатора

Основными параметрами трансформаторов являются:

1. Номинальная мощность  $S_{ном}$ . Это полная мощность (кВА), которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение своего срока службы (20...25 лет) при номинальном напряжении.
2. Номинальное первичное напряжение  $U_{ном1}$ . Это напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.
3. Номинальное вторичное напряжение  $U_{ном2}$ . Это напряжение на выводах вторичной обмотки трансформатора при холостом ходе и номинальном первичном напряжении. При нагрузке вторичное напряжение  $U_2$  снижается из-за потерь в трансформаторе.

4. Номинальный первичный и вторичный токи  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$ . Это токи, вычисленные по номинальной мощности и номинальным напряжениям. Для однофазного трансформатора

$$\left[ I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{U_{ном1}\eta} \quad I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{U_{ном2}} \right] \quad (1.1)$$

где  $\eta$  - к.п.д. трансформатора.

Эта величина близка к 1,0 из-за малых потерь в трансформаторе. На практике при определении токов принимают  $\eta = 1,0$ .

Трансформаторы чаще всего работают с нагрузкой меньше номинальной. Поэтому вводят понятие о коэффициенте нагрузки  $\kappa_n$ , который равен отношению мощности, отдаваемой трансформатором потребителю к номинальной мощности трансформатора. Значения отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя  $\cos \varphi_2$ :

$$P_2 = S_{ном} \cdot \cos \varphi_2; \quad Q = S_{ном} \varphi \sin \varphi_2. \quad (1.2)$$

#### Ход работы

Задание содержит задачу на расчет однофазного трансформатора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1. Произвести расчеты для задачи. Расчеты сопровождайте пояснениями.
2. Изобразить схему включения однофазного трансформатора в соответствии с заданием. При изображении схемы соблюдайте правило начертания схем и элементов.
3. Подготовить ответы на контрольные вопросы.
4. Оформить отчет по практической работе.

#### Задача

Для питания пониженным напряжением цепей управления электродвигателями на пульте установлен однофазный трансформатор номинальной мощностью  $S_{ном}$ . Номинальные напряжения обмоток  $U_{ном1}$  и  $U_{ном2}$ ; номинальные токи  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$ . Коэффициент трансформации равен  $K$ . Числа витков обмоток  $w_1$  и  $w_2$ . Магнитный поток в магнитопроводе  $\Phi_m$ . Частота тока сети  $f = 50$  Гц. Трансформатор работает с номинальной нагрузкой. Потерями в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные трансформатора, указанные в таблице 1.1, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему включения такого трансформатора в сеть. Ко вторичной обмотке присоединить нагрузку в виде обычного резистора  $R_n$ . Для включения и отключения нагрузки предусмотреть рубильник, а для защиты сетей от токов короткого замыкания включить в цепь обоих обмоток предохранители.

Таблица 1.1 – Данные для расчета

Номер варианта	$S_{ном},$ ВА	$U_{ном1},$ В	$U_{ном2},$ В	$I_{ном1},$ А	$I_{ном2},$ А	$w_1$	$w_2$	$K$	$\Phi_m$ Вб
1	-	380	-	1,43	-	-	-	15,8	0,005
2	-	220	24	-	33,4	198	-	-	-
3	1600	-	12	-	-	770	-	31,6	-
4	-	127	-	4,72	25	-	108	-	-
5	3200	380	36	-	-	-	-	-	0,025

6	-	220	24	3,64	-	-	-	-	0,005
7	500	-	-	1,0	-	750	54	-	-
8	-	220	-	-	20,8	400	22	-	-
9	250	500	-	-	-	-	-	20,8	0,0015
10	-	-	12	3,2	-	3000	-	41,6	-
11	400	-	12	-	-	-	-	18,3	0,02
12	-	-	36	1,0	-	-	-	13,9	0,003
13	-	380	-	4,2	-	-	24,4	-	0,002
14	600	220	-	-	-	4970	-	6,12	-
15	-	-	24	-	25	573	-	-	0,001
16	-	500	-	-	13,9	-	-	13,9	0,003
17	100	-	24	-	-	-	30	15,8	-
18	-	-	24	0,5	10,4	-	-	-	0,0018
19	-	380	-	-	133	770	-	31,6	-
20	800	-	-	3,64	-	-	22	9,18	-

### Контрольные вопросы

1. Приведите определения номинальных параметров трансформатора: мощности; напряжений обмоток; токов.
2. Что определяет коэффициент нагрузки трансформатора?
3. Как изменяется вторичное напряжение при увеличении нагрузки и почему?
4. Как изменится соотношение между активной и реактивной мощностями, отдаваемыми трансформатором, при увеличении коэффициента мощности потребителя до 1,0?

### Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Решение задачи с пояснениями.
3. Схема включения однофазного трансформатора.
4. Ответы на контрольные вопросы.

### Б) Построение внешней характеристики трехфазного трансформатора

#### Теоретическое обоснование

Внешняя характеристика трансформатора представляет собой зависимость между вторичным током и напряжением при изменении нагрузки, неизменном значении первичного напряжения  $U_1$  и заданном коэффициенте мощности  $\cos\varphi_2$  во вторичной цепи.

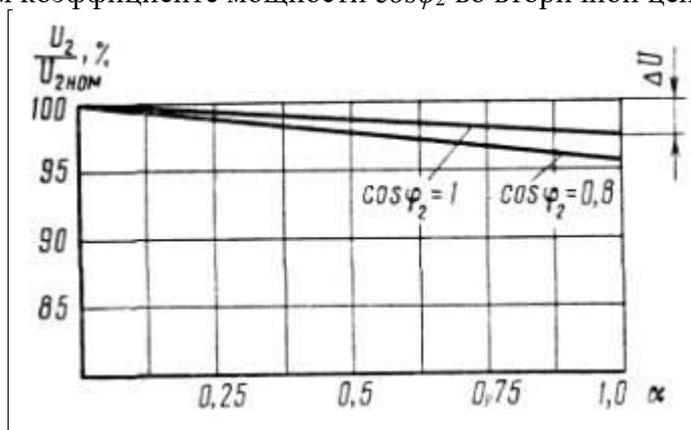


Рисунок 1.1 – Внешняя характеристика трансформатора

Вторичное напряжение  $U_2$  при нагрузке отличается от напряжения холостого хода на величину изменения напряжения, которое зависит от величины нагрузки.

Внешняя характеристика может быть построена как по расчетным данным активного и индуктивного падений напряжения (расчетная внешняя характеристика), так и по опытным данным (внешняя характеристика конкретного трансформатора). Построение внешней характеристики показано на рисунке 1.1. По оси ординат откладывается вторичное напряжение  $U_2$ , а по оси абсцисс - величина нагрузки  $\alpha$  (в % или долях от номинальной

мощности). Начальная точка внешней характеристики начинается от ординаты, равной  $U_{2ном}$ , а другой ее конец, против абсциссы  $\alpha = 1$  (т. е. при номинальной нагрузке), будет опущен против начала на величину  $\Delta U$  - изменения напряжения.

Так как изменение напряжения пропорционально нагрузочному току  $I_2$ , то внешняя характеристика практически представляет прямую линию. На рисунке 1.1 построены две внешние характеристики – для  $\cos \varphi_2 = 1$  и  $\cos \varphi_2 = 0,8$ .

Положения характеристик зависят от мощности и характера нагрузки трансформатора и при малой мощности они могут поменяться местами (при активной и активно-индуктивной нагрузках).

### Ход работы

1. Прочитать теоретическое обоснование.
2. Выписать данные для своего варианта.
3. Решить задачу. Расчеты сопровождайте пояснениями.
4. Ответить на контрольные вопросы.

### Задача 3

Для трехфазного силового трансформатора известны следующие технические данные: номинальная мощность  $S_{ном}$  номинальное первичное напряжение  $U_{1ном}$  номинальное вторичное напряжение  $U_{2ном}$ , напряжение короткого замыкания  $u_k$ , мощность потерь короткого замыкания  $p_k$ , мощность потерь холостого хода  $p_0$ , коэффициент мощности нагрузки  $\cos \varphi_2$ , мощность нагрузки  $P_2$ , максимальная магнитная индукция в сердечнике  $B_{тах}$ , число витков первичной обмотки  $w_1$ . Используя данные таблицы 1.1, определить:

1. Номинальные токи трансформатора и токи при заданной нагрузке.
2. Коэффициент нагрузки.
3. КПД трансформатора при заданной нагрузке, наибольший КПД,
4. Напряжение на зажимах вторичной обмотки при заданной нагрузке, а также при коэффициентах нагрузки  $\beta = 0,25; 0,5; 0,75, 1$ .
5. Построить внешнюю характеристику трансформатора.

Таблица 1.2 - Исходные данные к задаче

Величины	варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ном2}$ , кВА	630	400	160	160	250	25	63	40	100	100
$U_{ном1}$ , В	10	10	6	10	10	6	6	6	6	10
$U_{ном2}$ , В	0,69	0,69	0,4	0,69	0,4	0,4	0,23	0,4	0,23	0,4
$u_k$ , %	5,5	4,5	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5
$p_k$ , кВт	7,6	5,5	2,65	2,65	3,7	0,6	1,28	0,88	1,97	1,97
$P_0$ , кВт	1,31	0,95	0,51	0,51	0,74	0,13	0,24	0,175	0,33	0,33
$\cos \varphi_2$	0,8	0,85	0,8	0,9	0,9	1,0	0,85	0,8	1,0	0,9
$P_2$ , кВт	400	250	100	72	150	20	40	16	75	45
$w_1$ , витков	750	1300	900	900	1025	1185	1000	600	1200	1200

### Методические рекомендации к решению задачи

1. Определить номинальные токи в трансформаторе по формуле
2. Определить ток во вторичной обмотке трансформатора при заданной нагрузке:

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_{2ном} \cos \varphi_2}$$

3. Определить коэффициент нагрузки по формуле
4. Определить ток в первичной обмотке при заданной нагрузке  

$$I_1 = \beta I_{1ном}$$
5. Определить КПД трансформатора при заданной нагрузке по формуле

6. Максимальный КПД соответствует следующему значению коэффициента нагрузки по формуле
7. Определим напряжение на зажимах вторичной обмотки при заданной нагрузке, а также при коэффициентах нагрузки  $\beta = 0,25; 0,5; 0,75; 1$ .

Процентное изменение напряжения на вторичной обмотке

$$\Delta U_2\% = \beta(U_a \cos\varphi_2 \pm U_p \sin\varphi_2)$$

составляющие короткого замыкания

$$U_a = \frac{P_k}{S_{ном}} \cdot 100\%$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 \pm U_a^2}$$

знак «+» соответствует индуктивной нагрузке, знак «-» соответствует емкостной нагрузке.

Результаты расчета рекомендуется свести в таблицу 1.3

Таблица 1.3 – результаты расчета внешней характеристики

Коэффициент нагрузки, $\beta$	изменение напряжения $\Delta U_2\%$	
	при индуктивной нагрузке	при емкостной нагрузке
номинальный		
0,25		
0,5		
0,75		
1		

8) Строим внешнюю характеристику трансформатора.

#### Контрольные вопросы

1. Что называется внешней характеристикой трансформатора?
2. Что называется коэффициентом нагрузки?
3. От чего зависит изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора?
4. Когда трансформатор работает с максимальным КПД и как определить для этого состояния коэффициент нагрузки?
5. Почему трансформатор имеет жесткую внешнюю характеристику?
6. Какие при нагрузке трансформатора потери считаются постоянными и какие переменными и почему?

#### Содержание отчета

1. Номер, тема и цель работы.
2. Решение задачи с пояснениями.
3. Сетевой график и краткое описание построения (рисунок 1.1).
4. Ответы на контрольные вопросы.

## Литература

### Основные печатные и/или электронные издания

1. Глазков, А. В. Электрические машины. Лабораторные работы: учебное пособие / А.В. Глазков. — Москва: РИОР: ИНФРА-М, 2024. — 96 с. — (Среднее профессиональное образование). — DOI: <https://doi.org/10.12737/1757>. - ISBN 978-5-369-01312-0. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2139097>

2. Москаленко В.В. Электрические машины и приводы: учебное издание / Москаленко В.В., Кацман М.М. - Москва: Академия, 2023. - 368 с. (Специальности среднего профессионального образования). - URL: <https://academia-moscow.ru> - Режим доступа: Электронная библиотека «Academia-moscow». - Текст: электронный

### Дополнительные источники и электронные издания

1.Акимова Н.А.Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования (14изд-е) М.: Изд.центр «Академия», 2017

2. Александровская А.Н. Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования М.: Изд.центр «Академия», 2016

3.Кацман М.М. Электрические машины (16изд.) М.: Изд.центр «Академия», 2017

4.Кацман М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электроприводу (9изд-е) М.: Изд.центр «Академия», 2016

5.Жуловян, В. В. Электрические машины: электромеханическое преобразование энергии: учебное пособие для среднего профессионального образования / В. В. Жуловян. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 424 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-04293-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/472916>

6.Игнатович, В. М. Электрические машины и трансформаторы: учебное пособие для среднего профессионального образования / В. М. Игнатович, Ш. С. Ройз. — 6-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 181 с.

7.Шичков, Л. П. Электрический привод: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Л. П. Шичков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 326 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-08816-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471955>

8.Острецов, В. Н. Электропривод и электрооборудование: учебник и практикум для среднего профессионального образования / В. Н. Острецов, А. В. Палицын. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – с. 31...39 – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-05224-4. – Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/453057>