МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ

СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

«БОГДАНОВИЧСКИЙ ПОЛИТЕХНИКУМ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению практических работ

**МДК 01.01 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

по специальности

13.02.11 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)»

2023

Организация-разработчик: ГАПОУ СО «Богдановичский политехникум»

Разработчик:

Кудряшова Т.А., преподаватель высшей квалификационной категории ГАПОУ СО «Богдановичский политехникум», г. Богданович

Рассмотрено на заседании Методического совета

протокол № \_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

Председатель:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / Е.В. Снежкова

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| 1 Пояснительная записка | 4 |
| 2 Перечень практических занятий | 6 |
| Практическое занятие № 1 Определение коэффициента трансформации и токов в обмотках трансформатора | 9 |
| Практическое занятие № 2 Расчет параметров схемы замещения и построение векторной диаграммы трехфазного трансформатора | 14 |
| Практическое занятие № 3 Построение внешней характеристики трехфазного трансформатора | 20 |
| Практическое занятие № 4 Расчет основных параметров трехфазного трансформатора | 23 |
| Практическое занятие № 5 Определение потерь и КПД трансформатора | 29 |
| Практическое занятие № 6 Определение основных параметров асинхронного двигателя | 35 |
| Практическое занятие № 7 Упрощенный расчет механической характеристики АД по формуле Клосса. | 39 |
| Практическое занятие № 8 Изучение способов пуска трехфазного асинхронного двигателя | 43 |
| Практическое занятие № 9 Построение рабочих характеристик асинхронных двигателей | 48 |
| Практическое занятие № 10 Расчет сопротивлений резисторов пускового реостата | 52 |
| Практическое занятие № 11 Определение потерь мощности и КПД асинхронного двигателя | 57 |
| Практическое занятие № 12 Определение параметров трехфазного синхронного генератора | 62 |
| Практическое занятие № 13 Определение параметров трехфазного синхронного двигателя | 66 |
| Практическое занятие № 14 Расчет и схема соединений обмоток якоря машины постоянного тока | 70 |
| Практическое занятие № 15 Определение параметров генератора постоянного тока по паспортным данным | 77 |
| Практическое занятие № 16 Определение параметров двигателя постоянного тока по паспортным данным | 81 |
| Практическое занятие № 17 Расчет потерь и построение графика КПД машины постоянного тока | 87 |
| 3 Критерии оценки отчетных работ | 91 |
| 4 Рекомендуемая источники информации | 92 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А. Правила выполнения практических работ | 90 |

**1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Методические рекомендации составлены в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 «Организация простых работ по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования»

Практические занятия являются одним из важнейших элементов учебного процесса. При проведении практических занятий преследуется три основные цели: возможность на практике убедиться в теоретических положениях; развитие творческого мышления; пробудить любознательность и воображение студента. Поэтому для каждого студента умение решать задачи является одним из главных требований при изучении МДК.

Результатом выполнения практических занятий является овладение обучающимися видом деятельности Организация простых работ по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования:

в том числе профессиональными (ПК) и общими (ОК) компетенциями:

|  |  |
| --- | --- |
| **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. |
| ОК 1 | Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам |
| ОК 2 | Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности |
| ОК 3. | Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие. |
| ОК 4. | Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами. |
| ОК 5. | Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста. |
| ОК 6. | Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей. |
| ОК 08 | Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности. |
| ОК 09 | Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности |
| ОК 10 | Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках |

Программой МДК.01.01 «Электрические машины» предусмотрено выполнение 17 практических работ.

В методических рекомендациях к практическим работам приведены необходимые теоретические сведения, порядок проведения работы, содержание отчета.

Предварительная подготовка обучающихся к практической работе, понимание ее цели и содержания – важнейшее условие качественного выполнения работ. Поэтому прежде, чем приступить к выполнению практической работы, обучающиеся должны:

* изучить содержание работы и порядок ее выполнения;
* повторить теоретический материал, связанный с выполнением данной работы.

Завершается практическая работа составлением отчета, который должен содержать все необходимые результаты и выводы.

По практической работе сдается зачет в форме собеседования.

Зачет по практической работам является обязательным для получения допуска к экзамену.

**2 ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тема | Вид, название и краткое содержание задания | Планируемые часы  на выполнение  внеаудиторной работы | Форма  отчетности  и контроля |
| 1 | **Практическая работа №1** Определение коэффициента трансформации и токов в обмотках трансформатора  Цель работы:  - научиться определять коэффициент трансформации, ЭДС, токи в обмотках, параметры холостого хода и короткого замыкания однофазного двухобмоточного трансформатора | 4 | отчетная работа №1,  собеседование |
| 2 | **Практическая работа №2** Расчет параметров схемы замещения и построение векторной диаграммы трехфазного трансформатора  Цель работы:  - углубление теоретических знаний и приобретение практических навыков расчета характеристик реальных трехфазных трансформаторов | 4 | отчетная работа №2,  собеседование |
|  | **Практическая работа №3** Построение внешней характеристики трехфазного трансформатора  Цель работы:  - научиться рассчитывать и строить внешнюю характеристику трехфазного трансформатора | 4 | отчетная работа №3,  собеседование |
|  | **Практическая работа №4** Расчет основных параметров трехфазного трансформатора  Цель работы:  - определить значения параметров трехфазного трансформатора, построить треугольник короткого замыкания, проанализировать значение номинального напряжения на выходе трансформатора при различных видах нагрузки | 2 | отчетная работа №4,  собеседование |
|  | **Практическая работа №5** Определение потерь и КПД трансформатора  Цель работы:  - научиться определять потери и КПД трансформатора, строить графики изменения напряжения при различных нагрузках | 4 | отчетная работа №5,  собеседование |
|  | **Практическая работа №6** Определение основных параметров асинхронного двигателя  Цель работы:  - научиться производить расчет основных параметров асинхронного электродвигателя | 4 | отчетная работа №6,  собеседование |
|  | **Практическая работа №7** Изучение способов пуска трехфазного асинхронного двигателя  Цель работы:  - ознакомиться с существующими способами пуска трехфазного асинхронного двигателя | 2 | отчетная работа №8,  собеседование |
|  | **Практическая работа №8** Упрощенный расчет механической характеристики АД по формуле Клосса.  Цель работы:  - приобретение навыков упрощенного расчета и построения механической характеристики асинхронного двигателя | 4 | отчетная работа №8,  собеседование |
|  | **Практическая работа №9** Построение рабочих характеристик асинхронных двигателей  Цель работы:  - приобретение навыков расчета и построения рабочих характеристик асинхронного двигателя | 4 | отчетная работа №9  собеседование |
|  | **Практическая работа №10** Расчет сопротивлений резисторов пускового реостата  Цель работы:  - рассчитать сопротивление резисторов, подключенных к асинхронному двигателю, для запуска двигателя с фазным ротором | 2 | отчетная работа №10,  собеседование |
|  | **Практическая работа №11** Определение потерь мощности и КПД асинхронного двигателя  Цель работы:  - изучить особенности расчета потерь мощности и КПД асинхронного двигателя. | 2 | отчетная работа №11,  собеседование |
|  | **Практическая работа №12** Определение параметров трехфазного синхронного генератора  Цель работы:  - пробрести навыки расчета основных параметров трехфазных синхронных генераторов переменного тока | 2 | отчетная работа №12,  собеседование |
|  | **Практическая работа №13** Определение параметров трехфазного синхронного двигателя  Цель работы:  - пробрести навыки расчета основных параметров трехфазных синхронных двигателей переменного тока | 2 | отчетная работа №13,  собеседование |
|  | **Практическая работа №14** Расчет и схема соединений обмоток якоря машины постоянного тока  Цель работы:  - приобрести навыки расчета и построения обмоток якоря машины постоянного тока | 2 | отчетная работа №14,  собеседование |
|  | **Практическая работа №15** Определение параметров генератора постоянного тока по паспортным данным  Цель работы:  - научиться производить расчет основных параметров генератора постоянного тока параллельного возбуждения | 2 | отчетная работа №15,  собеседование |
|  | **Практическая работа №16** Определение параметров двигателя постоянного тока по паспортным данным  Цель работы:  - научиться определять расчетным путем основные параметры двигателя постоянного тока | 2 | отчетная работа №16,  собеседование |
|  | **Практическая работа №17** Расчет потерь и построение графика КПД машины постоянного тока  Цель работы:  - научиться рассчитывать потери мощности и строить график КПД двигателя постоянного тока | 4 | отчетная работа №17,  собеседование |

**Практическая работа № 1**

**Тема: Определение коэффициента трансформации и токов в обмотках трансформатора**

**Цель**: научиться определять коэффициент трансформации, ЭДС, токи в обмотках, однофазного двухобмоточного трансформатора.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение коэффициента трансформации и токов в обмотках трансформатора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

В процессе работы однофазного двухобмоточного трансформа­тора в его магнитопроводе наводится переменный магнитный поток (рис. 1.1). Основная часть этого потока Фmах (максимальное зна­чение), сцепляясь с обмотками трансформатора, индуцирует в них переменные ЭДС, действующие значения которых равны:

первичная ЭДС

*E1 =* 4,44Фmах*f*1*ω*1; (1.1)

вторичная ЭДС

*E2 =* 4,44Фmах*f*1*ω*2; (1.2)

где *f*1 — частота переменного тока, Гц; *w1* и *w2*— число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

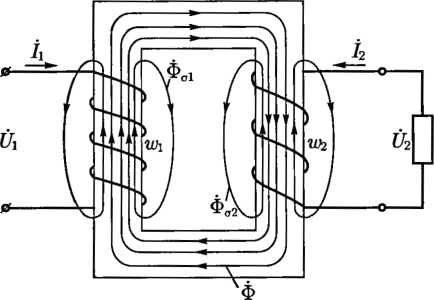


Рисунок 1.1 - Однофазный двухобмоточный трансформатор

Максимальное значение основного магнитного потока, Вб,

Фmax = *Вmax QCT кc;* (1.3)

где Bmax — максимальное значение магнитной индукции в стержне магнитопровода, Тл; *QCT* — площадь поперечного сечения стержня трансформатора, м2; *кс* — коэффициент заполнения магнитопрово­да сталью, который учитывает толщину изоляционных прослоек между пластинами электротехнической стали, при толщине плас­тин 0,5 мм обычно принимают *кс =* 0,95.

Различие в значениях ЭДС *Е1* и *Е2* вызвано неодинаковым чис­лом витков в первичной *w1* и во вторичной *w2* обмотках трансформа­тора.

Отношение ЭДС обмотки высшего напряжения к ЭДС обмотки низшего напряжения, равное отношению чисел витков этих обмо­ток, называют коэффициентом трансформации:

*к = Е1/Е2 = w1/* *w2;* (1.4)

Каждый трансформатор рассчитывается на номинальный режим работы, который соответствует загрузке 100 %. Величины, относящиеся к этому режиму, называются номинальными и указываются в паспорте и на специальной табличке на корпусе трансформатора. К таким величинам относятся:

*- Sном* — номинальная мощность - это полная мощность, которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение всего срока службы (20-25 лет) при номинальном напряжении и при максимальной и среднегодовой температуре окружающего воздуха, равных соответственно 40 и 5°С.

*- U1ном* - номинальное напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.

*- U2ном* - номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора, это напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе и номинальном первичном напряжении, (у трехфазных трансформаторов *U1ном* и *U 2ном* - линейные напряжения).

*- I1ном, I2 ном* - первичный и вторичный токи. Это токи полученные по номинальной мощности и номинальным напряжениям (у трехфазных трансформаторов *I1ном* и *I2 ном* -линейные токи).

Трансформаторы характеризуются следующими параметрами:

- полная мощность первичной обмотки, В•А,

*S1=U1I1*; (1.5)

где *U1* –первичное напряжение*,I1* – первичный ток;

- полная мощность вторичной обмотки, В•А,

*S2=U2I2* ; (1.6)

где *U1*–первичное напряжение,*I1* – первичный ток;

Трансформатор обычно работает с нагрузкой меньше номинальной, определяемой коэффициентом нагрузки Кнг. Если трансформатор с *Sном* = 400 кВА отдает мощность *S*2 = 320 кВА, то Кнг = *S2*/ *Sном* = 320/400 = 0,8 .

Значения, отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя cosφ2 например, при *Sном* = 400 кВ А, Кнг= 0,8 и cosφ2 = 0,85 отдаваемая активная и реактивная мощности составят

Р2 = Кнг. . *Sном* . cosφ2 = 0,8∙400∙0,85 = 272 кВт,

Q2 = Кнг. . *Sном* . sinφ2 = 0,8∙400∙0,53 = 169 кВАр.

Так как потери в трансформаторе невелики, то за номинальную полную мощность трансформатора принимают:

(1.7)

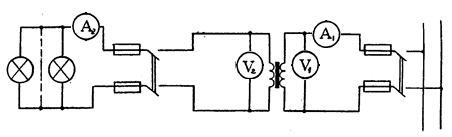


Рисунок 1.2 - Схема подключения ламп к трансформатору

**Пример**

К электрической сети напряжением 220 В необходимо подключить через понижающий однофазный трансформатор 5 ламп накаливания мощностью по 60 Вт каждая, рассчитанные на пониженное напряжение 24В. Коэффициент мощности ламп *cosφ* = 1. Используя таблицу 1.1, подобрать необходимый для работы трансформатор. Определить рабочие и номинальные токи обмоток трансформатора, коэффициент трансформации и коэффициент нагрузки. Потерями в трансформаторе пренебречь. Схема подключения ламп к трансформатору изображена на рисунке 1.2

Таблица 1.1 - Технические данные трансформаторов серии ОСМ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип трансформатора | Номинальная мощость  S, кВА | Номинальное напряжение | | Ток холостого хода  i 0, % | Напряжение короткого замыкания  uк, % |
| первичное  U1ном, В | вторичное  U2ном, В |
| ОСМ – 0,063 | 0,063 | 220, 380, 660 | 12, 24, 36, 42, 110, 220 | 24 | 12,0 |
| ОСМ -0,100 | 0,100 | 24 | 9,0 |
| ОСМ -0,160 | 0,160 | 23 | 7,0 |
| ОСМ -0,250 | 0,250 | 22 | 5,5 |
| ОСМ -0,400 | 0,400 | 20 | 4,5 |

Примечание:

1. ОСМ - 0,25 -трансформатор однофазный, сухой, многоцелевого назначения, номинальная мощность 0,250 кВ А. Номинальное первичное напряжение может быть 220, 380 или 660 В. Номинальное вторичное напряжение может быть 12, 24, 36, 42, 110 или 220 В.
2. Возможно сочетание любого первичного напряжения с любым вторичным.

**Решение**

1. Активная мощность, отдаваемая трансформатором нагрузке (лампам накаливания)

2. Так как нагрузка на трансформатор чисто активная (соsφ2= 1), то поэтому полная мощность трансформатора должна быть не менее



Пользуясь таблицей 1.1 выбираем трансформатор ОСМ-0,400

Его технические данные:

Номинальная мощность *Sном =*400 ВА

Номинальное первичное напряжение трансформатора *U1ном =* 220В*.*

Номинальное вторичное напряжение *U2ном=*24В*.*

Ток холостого хода *i0*= 20% от I 1ном

Напряжение короткого замыкания *uк* = 4,5% от U 1ном

3. Так как потерями в трансформаторе пренебрегаем, то коэффициент трансформации

4. Номинальный ток в первичной обмотке трансформатора

номинальный ток во вторичной обмотке трансформатора

5. Коэффициент нагрузки

6. Рабочие токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке в первичной обмотке

во вторичной обмотке

**Задание** **для индивидуального решения**

Для освещения рабочих мест применили в целях безопасности лампы накаливания одинаковой мощности, рассчитанные на пониженное напряжение. Для их питания установили однофазный понижающий трансформатор. Схема присоединения ламп к трансформатору приведена на рисунке 1.1.

Известны:

*Sном -* номинальная мощность трансформатора;

*U1ном, U 2ном* - номинальные напряжения на зажимах первичной и вторичной обмоток

трансформатора;

*Рламп*- мощность одной лампы;

*n ламп* - количество ламп подключенных к трансформатору;

Определить:

*I1ном, I2 ном*- номинальные токи, на которые рассчитаны первичная и вторичная обмотки трансформатора;

*I 1, I2*- фактическое значение токов в обмотках трансформатора при заданной нагрузке;

*Кнг* - коэффициент нагрузки трансформатора;

*К* - коэффициент трансформации трансформатора

Данные для своего варианта взять из таблицы 1.2. Критерии оценивания задания 1 представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.2 - Исходные данные к заданию 1

| № варианта | Sном , ВА | U1ном, В | U 2ном , В | Рламп , Вт | n ламп , штук |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 400 | 220 | 36 | 25 | 12 |
| 2 | 250 | 380 | 24 | 40 | 5 |
| 3 | 160 | 660 | 12 | 15 | 8 |
| 4 | 100 | 220 | 24 | 25 | 3 |
| 5 | 400 | 380 | 12 | 40 | 8 |
| 6 | 250 | 660 | 36 | 60 | 3 |
| 7 | 160 | 220 | 12 | 25 | 5 |
| 8 | 100 | 380 | 36 | 40 | 2 |
| 9 | 400 | 660 | 24 | 60 | 6 |
| 10 | 250 | 220 | 12 | 25 | 8 |
| 11 | 160 | 380 | 24 | 40 | 3 |
| 12 | 100 | 660 | 42 | 25 | 4 |
| 13 | 63 | 220 | 24 | 15 | 4 |
| 14 | 400 | 380 | 36 | 25 | 15 |
| 15 | 250 | 660 | 42 | 40 | 6 |
| 16 | 160 | 220 | 12 | 60 | 2 |
| 17 | 100 | 380 | 24 | 15 | 6 |
| 18 | 63 | 660 | 36 | 25 | 2 |
| 19 | 400 | 220 | 42 | 40 | 9 |
| 20 | 250 | 380 | 110 | 60 | 4 |
| 21 | 250 | 660 | 36 | 60 | 3 |
| 22 | 400 | 220 | 36 | 25 | 12 |
| 23 | 63 | 380 | 24 | 60 | 1 |
| 24 | 400 | 660 | 36 | 60 | 6 |
| 25 | 250 | 220 | 42 | 40 | 5 |
| 26 | 160 | 380 | 110 | 25 | 6 |
| 27 | 100 | 660 | 220 | 15 | 5 |
| 28 | 63 | 220 | 12 | 15 | 3 |
| 29 | 400 | 380 | 24 | 25 | 14 |
| 30 | 250 | 660 | 36 | 40 | 5 |

**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 Наименование, номер, тема и цель работы.

2 Схема включения однофазного трансформатора.

3. Решение задачи с пояснениями

4 Ответы на контрольные вопросы.

**Практическая работа № 2**

**Тема** **Расчет параметров схемы замещения трехфазного трансформатора**

**Цель:** приобретение практических навыков расчета параметров схемы замещения реальных трехфазных трансформаторов

**Ход работы**

Задание содержит задачу на расчет параметров схемы замещения трехфазного трансформатора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

1 Для определения параметров схемы замещения трансформатора в режиме холостого хода необходимо рассчитать:

а) номинальный ток первичной обмотки трансформатора:

(2.1)

б) фазный ток первичной обмотки трансформатора:

в) фазное напряжение первичной обмотки:

г) фазный ток холостого хода трансформатора:

(2.2)

где  - ток холостого хода, %;

д) мощность потерь холостого хода на фазу

 (2.3)

где *m* – число фаз первичной обмотки трансформатора. в нашем случае 3 шт;

е) полное сопротивление ветви намагничивания схемы замещения трансформатора при холостом ходе

(2.4)

ж) активное сопротивление ветви намагничивания

(2.5)

з) реактивное сопротивление цепи намагничивания

(2.6)

и) фазный коэффициент трансформации трансформатора

(2.7)

где *U2ф*=*U2н*

к) линейный коэффициент трансформации трансформатора

(2.8)

2 В опыте короткого замыкания вторичная обмотка трансформатора замкнута накоротко, а подводимое к первичной обмотке напряжение подбирается таким образом, чтобы ток обмотки трансформатора был равен номинальному. Схема замещения трансформатора в режиме короткого замыкания представлена на рис. 2.1.

Здесь суммарное значение активных сопротивлений  обозначают *rk* и называют активным сопротивлением короткого замыкания, а  – индуктивным сопротивлением короткого замыкания *xk.*

Для определения параметров схемы замещения трансформатора рассчитаем:

а) фазное напряжение первичной обмотки *U1ф;*

б) фазное напряжение короткого замыкания

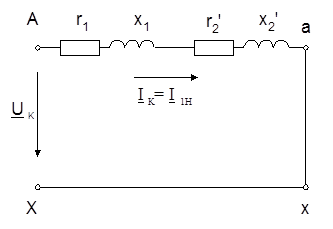


Рисунок 2.1 - Схема замещения трансформатора в режиме короткого замыкания

 (2.9)

где *Uk* – напряжение короткого замыкания, %;

в) полное сопротивление короткого замыкания

 (2.10)

где *Iк.ф*. – фазный ток короткого замыкания:

при соединении по схеме "звезда":

 (2.11)

г) мощность потерь короткого замыкания на фазу

 (2.12)

где *Pk* – это мощность потерь короткого замыкания

д) активное сопротивление короткого замыкания

 (2.13)

е) индуктивное сопротивление короткого замыкания

 (2.14)

Обычно принимают схему замещения симметричной, полагая

;  (2.15)

;  (2.16)

где *r1* – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора;

*x1* - индуктивное сопротивление первичной обмотки трансформатора, обусловленное магнитным потоком рассеяния Ф1δ;

 - приведённое активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора;

 - приведённое индуктивное сопротивление вторичной обмотки трансформатора, обусловленное магнитным потоком рассеяния *Ф2δ*.

3 При построении векторной диаграммы пользуются Т-образной схемой замещения (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 - Т-образная схема замещения

**Пример**

 По данным опытов холостого хода и короткого замыкания определить параметры *Т – образной* схемы замещения.

1. Трехфазная полная номинальная мощность трансформатора *SНОМ*= *160 кВ*/*А.*

2. Номинальное линейное первичное напряжение *U1*= *10 кВ.*

3. Напряжение короткого замыкания *uk%*= *4,5.*

4. Потери холостого хода при номинальном напряжении ∆*PXX*= *450 Вт.*

5. Потери короткого замыкания ∆*PКЗ*= *2,6 кВт.*

6. Ток холостого хода в процентах от номинального первичного тока *ixx%*= *1,8.*

Номинальное линейное вторичное напряжение 0,4 кВ. Трансформатор трехфазный двухобмоточный трехстрержневой с масляным охлаждением.

*Расчет параметров схемы замещения трансформатора*

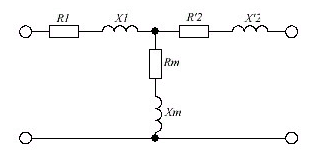


Рисунок 2.3 - Т – образная схема замещения трансформатора

1 Определим номинальные токи первичной и вторичной обмоток трехфазного трансформатора.

2 Определим ток холостого хода трансформатора

3 Определяем полное сопротивление намагничивающего контура

4 Активное сопротивление намагничивающего контура

5 Реактивное сопротивление намагничивающего контура

6 Напряжение короткого замыкания (к.з.)

7 Полное сопротивление к.з.

8 Определим сопротивление к.з.

9 Реактивное сопротивление к.з.

10 Определим сопротивление первичной обмотки и приведенное сопротивление вторичной обмотки

**Задание** **для индивидуального решения**

По данным опытов холостого хода и короткого замыкания определить параметры *Т – образной* схемы замещения.

Таблица 2.1 - Исходные данные к практической работе №2

| № вариант | Тип трансформатора | Sном,  кВА | U1,  кВ | U 2,  кВ | Рхх,  кВт | Ркз,  кВт | ,% | ,% |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | ТМ-160 | 160 | 6,00 | 0,40 | 0,565 | 2,65 | 7,5 | 1,9 |
| 2 | ТСЗ-250 | 250 | 10,00 | 0,23 | 1,000 | 3,80 | 8,4 | 1,9 |
| 3 | ТМ-400 | 400 | 10,00 | 0,69 | 1,050 | 5,50 | 4,9 | 1,5 |
| 4 | ТСЗ-630 | 630 | 13,80 | 0,40 | 2,300 | 8,70 | 8,5 | 1,8 |
| 5 | ТМ-1000 | 1000 | 35,00 | 0,70 | 2,750 | 12,20 | 7,5 | 1,9 |
| 6 | ТСЗ-160 | 160 | 10,00 | 0,69 | 0,700 | 2,70 | 8,0 | 1,8 |
| 7 | ТМ-250 | 250 | 6,00 | 0,40 | 0,820 | 3,70 | 8,2 | 1,7 |
| 8 | ТСЗ-400 | 400 | 10,00 | 0,69 | 1,300 | 5,40 | 7,5 | 1,4 |
| 9 | ТМ-630 | 630 | 10,00 | 0,69 | 1,660 | 7,60 | 8,7 | 1,3 |
| 10 | ТСЗ-1000 | 1000 | 15,75 | 0,40 | 3,200 | 12,00 | 7,2 | 1,8 |
| 11 | ТМ-100 | 100 | 10,00 | 0,40 | 0,360 | 1,97 | 7,5 | 1,6 |
| 12 | ТМ-160 | 160 | 10,00 | 0,40 | 0,560 | 2,65 | 7,5 | 1,3 |
| 13 | ТМЗ-630 | 630 | 6,00 | 0,40 | 2,278 | 8,50 | 8,5 | 1,5 |
| 14 | ТСЗ-160 | 160 | 6,00 | 0,40 | 0,700 | 2,70 | 7,5 | 1,1 |
| 15 | ТМ-100 | 100 | 20,00 | 0,40 | 0,460 | 1,97 | 7,4 | 1,8 |
| 16 | ТСЗ-250 | 250 | 13,80 | 0,40 | 1,100 | 4,40 | 8,3 | 1,2 |
| 17 | ТМ-400 | 400 | 35,00 | 0,69 | 1,150 | 4,20 | 9,1 | 1,5 |
| 18 | ТСЗ-400 | 400 | 13,80 | 0,40 | 1,400 | 6,00 | 8,9 | 1,5 |
| 19 | ТМ-630 | 630 | 20,00 | 0,40 | 1,420 | 7,60 | 8,6 | 1,1 |
| 20 | ТСЗС-1000 | 1000 | 6,00 | 0,40 | 2,600 | 6,30 | 7,2 | 1,4 |
| 21 | ТСЗ-160 | 160 | 10,00 | 0,69 | 0,700 | 2,70 | 8,0 | 1,6 |
| 22 | ТМ-160 | 160 | 6,00 | 0,40 | 0,565 | 2,65 | 7,5 | 1,9 |
| 23 | ТСЗ-630 | 630 | 15,00 | 0,40 | 2,300 | 8,70 | 8,7 | 1,1 |
| 24 | ТМ-1000 | 1000 | 10,00 | 0,69 | 2,450 | 12,20 | 7,0 | 1,5 |
| 25 | ТМЗ-1600 | 1600 | 6,00 | 0,69 | 3,300 | 18,00 | 7,1 | 1,2 |

**Контрольные вопросы**

1 Что возникает в магнитопроводе однофазного двухобмоточного трансформатора в процессе его работы?

2 Какие виды ЭДС присутствуют в магнитопроводе однофазного двухобмоточного трансформатора и как они вычисляются?

3 Какими параметрами характеризуются трансформаторы и как эти параметры могут быть определены?

4 Что такое приведенный трансформатор?

5 Что происходит с током, ЭДС и напряжением трансформатора в режиме холостого хода?

**Содержание отчета**

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

**Практическая работа № 3**

**Тема:** **Построение внешней характеристики трехфазного трансформатора.**

**Цель**: научиться рассчитывать и строить внешнюю характеристику трехфазного трансформатора.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на построение внешней характеристики трехфазного трансформатора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Внешняя характеристика трансформатора представляет собой зависимость между вторичными током и напряжением при изменении нагрузки, неизменном значении первичного напряжения *U1* и заданном коэффициенте мощности *cosφ2* во вторичной цепи.

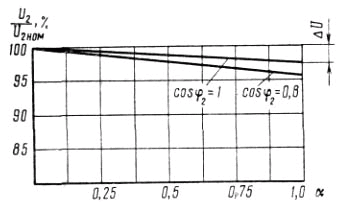


Рисунок 3.1 – Внешняя характеристика трансформатора

Вторичное напряжение *U2* 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 3.1. По оси ординат откладывается вторичное напряжение *U2*, а по оси абсцисс - величина нагрузки *α* (в % или долях от номинальной мощности). Начальная точка внешней характеристики начинается от ординаты, равной *U2НОМ*, а другой ее конец, против абсциссы *α = 1*(т. е. при номинальной нагрузке), будет опущен против начала на величину **Δ***U* - изменения напряжения.

Так как изменение напряжения пропорционально нагрузочному току *I2*, то внешняя характеристика практически представляет прямую линию. На рисунке 3.1 построены две внешние характеристики – для *cos φ2=1* и *cos φ2= 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).

**Задание для индивидуального решения**

Для трехфазного силового трансформатора известны следующие технические данные: номинальная мощность *S*номноминальное первичное напряжение *U*1номноминальное вторичное напряжение *U*2ном,напряжение короткого замыкания *ик,* мощность потерь короткого замыкания *р*к,мощность потерь холостого хода *р*0,коэффициент мощности нагрузки cosφ2,мощность нагрузки *Р*2**,**максимальная магнитная индукция в сердечнике *В*тах*,* число витков первичной обмотки *w1* . Используя данные таблицы 3.1, 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 *β=* 0,25; 0,5; 0,75, 1.
5. Построить внешнюю характеристику трансформатора.

Таблица 3.1 - Исходные данные к задаче

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величины | варианты | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Sном, кВА | 630 | 400 | 160 | 160 | 250 | 25 | 63 | 40 | 100 | 100 |
| Uном1, В | 10 | 10 | 6 | 10 | 10 | 6 | 6 | 6 | 6 | 10 |
| Uном2, В | 0,69 | 0,69 | 0,4 | 0,69 | 0,4 | 0,4 | 0,23 | 0,4 | 0,23 | 0,4 |
| *ик,* % | 5,5 | 4,5 | 5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 5 |
| рк, кВт | 7,6 | 5,5 | 2,65 | 2,65 | 3,7 | 0,6 | 1,28 | 0,88 | 1,97 | 1,97 |
| Р0, кВт | 1,31 | 0,95 | 0,51 | 0,51 | 0,74 | 0,13 | 0,24 | 0,175 | 0,33 | 0,33 |
| Соsφ2 | 0,8 | 0,85 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,85 | 0,8 | 1,0 | 0,9 |
| Р2, кВт | 400 | 250 | 100 | 72 | 150 | 20 | 40 | 16 | 75 | 45 |
| *w1*, витков | 750 | 1300 | 900 | 900 | 1025 | 1185 | 1000 | 600 | 1200 | 1200 |

**Методические рекомендации к решению задачи**

1. Определить номинальные токи в трансформаторе по формулам
2. Определить ток во вторичной обмотке трансформатора при заданной нагрузке
3. Определить коэффициент нагрузки по формуле
4. Определить ток в первичной обмотке при заданной нагрузке
5. Определить КПД трансформатора при заданной нагрузке по формуле 1.79 с. 60 [1]
6. Максимальный КПД соответствует следующему значению коэффициента нагрузки по формуле 1.80 с. 61 [1].
7. Определим напряжение на зажимах вторичной обмотки при заданной нагрузке, а также при коэффициентах нагрузки β = 0,25; 0,5; 0,75; 1.

Процентное изменение напряжения на вторичной обмотке

составляющие короткого замыкания

знак «+» соответствует индуктивной нагрузке, знак «-» соответствует емкостной нагрузке. Результаты расчета рекомендуется свести в таблицу 3.2

Таблица 3.2 – Результаты расчета внешней характеристики

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Коэффициент нагрузки, β | изменение напряжения ∆ *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. Какие при нагрузке трансформатора потери считаются постоянными и какие переменными и почему?

**Содержание отчета**

1 Наименование, номер, тема и цель работы.

2 Решение задачи с пояснениями.

3 Внешняя характеристика трансформатора.

4 Ответы на контрольные вопросы.

**Практическая работа № 4**

**Тема: Расчет** **основных параметров трехфазных трансформаторов**

**Цель**: определить значения параметров трехфазного трансформатора, построить треугольник короткого замыкания, проанализировать значение номинального напряжения на выходе трансформатора при различных видах нагрузки.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на расчет основных параметров трехфазных трансформаторов. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примеров, подобных заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Решаемые на практическом занятии задачи направлены на определение основных параметров трехфазного трансформатора. Трансформирование трехфазной системы напряжений можно осуществить тремя однофазными трансформаторами, соединенными в трансформаторную группу (рис. 1.1, а). Однако относительная громоздкость, большой вес и повышенная стоимость — недостаток трансформаторной группы, поэтому она применяется только в установках большой мощности с целью уменьшения веса и габаритов единицы оборудования, что важно при монтаже и транспортировке трансформаторов.

В установках мощностью примерно до 60000 кВА обычно применяют трехфазные трансформаторы (рис. 4.1, б), у которых обмотки расположены на трех стержнях, объединенных в общий магнитопровод двумя ярмами.

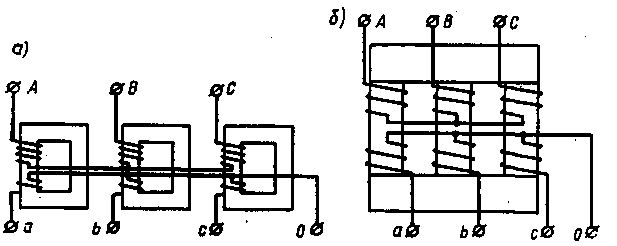


Рис. 4.1 - Трансформаторная группа (а) и трехфазный трансформатор (б)

Полученный таким образом магнитопровод является несимметричным: магнитное сопротивление потоку средней фазы ФВ меньше магнитного сопротивления потокам крайних фаз ФА и ФС (рис. 4.2, а).

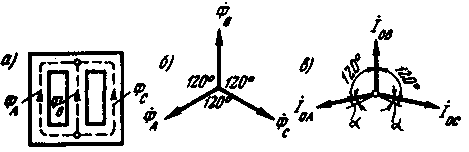


Рис. 4.2 - Трехстержневой магнитопровод и векторные диаграммы

Для уменьшения магнитной несимметрии трехстержневого магнитопровода, т.е. уменьшения магнитного сопротивления потокам крайних фаз, сечение ярм делают на 10—15% больше сечения стержней, что уменьшает их магнитное сопротивление. Несимметрия токов х.х. трехстержневого трансформатора практически не отражается на работе трансформатора, так как даже при небольшой нагрузке различие в значениях токов ,  и  становится незаметным.

Таким образом, при симметричном питающем напряжении и равномерной трехфазной нагрузке все фазы трехфазного трансформатора, выполненного на трехстержневом магнитопроводе, практически находятся в одинаковых условиях. Поэтому рассмотренные выше уравнения напряжений, МДС и токов, а также схема замещения и векторные диаграммы могут быть использованы для исследования работы каждой фазы трехфазного трансформатора.

Обмотки трехфазных трансформаторов принято соединять по следующим схемам: звезда; звезда с нулевым выводом; треугольник; зигзаг с нулевым выводом. Схемы соединения обмоток трансформатора обозначают дробью, в числителе которой указана схема соединения обмоток ВН, а в знаменателе — обмоток НН. Например, Y/A означает, что обмотки ВН соединены в звезду, а обмотки НН — в треугольник.

Соединение в зигзаг применяют только в трансформаторах специального назначения, например в трансформаторах для выпрямителей. Для выполнения соединения каждую фазу обмотки НН делят на две части, располагая их на разных стерж­нях. Указанные части обмоток соединяют так, чтобы конец одной части фазной обмотки был присоединен к концу другой части этой же обмотки, расположенной на другом стержне (рис. 4.3, а). Зигзаг называют равноплечным, если части обмоток, располагаемые на разных стержнях и соединяемые последовательно, одинаковы, и неравноплечными, если эти части неодинаковы. При соединении в зигзаг ЭДС отдельных частей обмоток геометрически вычитаются (рис. 4.3, б).

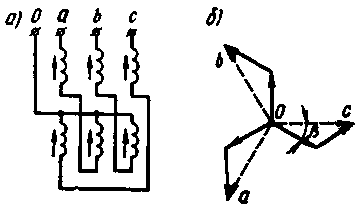


Рисунок 4.3 - Соединение обмоток в зигзаг

Выводы обмоток трансформаторов принято обозначать следующим образом: обмотки ВН — начало обмоток А, В, С, соответствующие концы X, Y, Z; обмотки НН — начала обмоток а, Ь, с, соответствующие концы х, у, z.

При соединении обмоток звездой линейное напряжение больше фазного (), а при соединении обмоток треугольником линейное напряжение равно фазному (Uл = Uф ).

Отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора определяется следующим образом:

Таблица 4.1 - Отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Схема соединения обмоток | Y/Y | ∆/Y | ∆/∆ | Y/∆ |
| Отношение линейных напряжений |  |  |  |  |

Таким образом, отношение линейных напряжений в трехфазном трансформаторе определяется не только отношением чисел витков фазных обмоток, но и схемой их соединений.

**Пример 1** Трехфазный трансформатор номинальной мощностью Sном =100 кВА включен по схеме Y/∆. При этом номинальные линейные напряжения на входе и выходе трансформатора соответственно равны: U1ном = 3,0 кВ, U2ном = 0,4 кВ. Определить соотношение витков wl/w2 и номинальные значения фазных токов в первичной I1ф и вторичной I2ф обмотках.

**Решение**

1 Фазные напряжения первичных и вторичных обмоток

2 Требуемое соотношение витков в трансформаторе

3 Номинальный фазный ток в первичной обмотке (соединенной в звезду)

4 Номинальный фазный ток во вторичной обмотке (соединенной в треугольник)

Таким образом, соотношение фазных токов равно соотношению витков в обмотках трансформатора.

**Решить задачу 1**

Используя приведенные в табл. 4.2 значения пара­метров трехфазных масляных трансформаторов серии ТМ (в обо­значении марки в числителе указано номинальная мощность транс­форматора в кВА, в знаменателе — высшее напряжение в кВ), определить значения параметров, величи­ны которых не указаны в этой таблице. Обмотки соединены по схе­ме Y/Y. Частота тока в сети *f*= 50 Гц.

Таблица 4.2 - Варианты исходных значений задачи 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Тип трансформатора | | | | | | | | |
| 1, 10,  19 | 2, 11,  20 | 3, 12,  21 | 4, 13,  22 | 5, 14,  23 | 6, 15,  24 | 7, 16,  25 | 8, 17 | 9, 18 |
| ТМ -  1000/35 | ТМ -  50/6 | ТМ -  100/6 | ТМ -  180/6 | ТМ -  320/6 | ТМ -  560/35 | ТМ -  750/35 | ТМ -  1000/6 | ТМ -  10/6 |
| Основной магнит­ный поток Фmах, Вб | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Число витков w1 | 1600 | 1190 | — | 1200 | 522 | 2000 | — | — | — |
| Число витков w2 | — | — | 72 | — | — | — | 146 | 120 | 130 |
| Сечение стержня магнитопровода QСТ, ,м2, при Вmах = 1,5 Тл | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Напряжение U1ном, кВ | 35 | 6 | 6 | 6 | 6 | 35 | 35 | 6 | 6 |
| Напряжение U2ном, кВ | — | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | — | 3,15 | 0,4 | 0,4 |
| Коэффициент трансформации k | 5,56 | — | — | — | — | 5,55 | — | — | — |

**Методические указания к решению задачи 1**

1 Напряжение на выводах обмотки НН определяется через коэффициент трансформации

2 Число витков в фазной обмотке НН определяется через коэффициент трансформации

3 Максимальное значение основного потока определяется из формулы

4 Площадь поперечного стержня магнитопровода определяется из формулы

**Решить задачу 2**

Технические данные трехфазных трансформаторов серии ТМ приведены в табл. 4.3: номинальная мощность Sном, но­минальные первичное U1ном и вторичное U2ном напряжения, напря­жение короткого замыкания *и*к, мощность короткого замыкания Рк.ном, мощность холостого хода Р0 ном, ток холостого хода *i*0. Опре­делить необходимые параметры и построить треугольник коротко­го замыкания (обмотки соединены Y/Y; параметры приведены к ра­бочей температуре).

Таблица 4.3 - Варианты исходных значений задачи 2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| вариант | Тип трансформатора | Sном,  кВА | U1ном,  кВ | U2ном,  кВ | *и*к, % | Рк.ном,  кВт | Р0 ном,  кВт | *i*0, % |
| 1, 7, 13, 19, 25 | ТМ-1000/10 | 1000 | 10 | 0,4 | 5,5 | 12,2 | 2,45 | 1,4 |
| 2, 8, 14, 20 | ТМ-1600/10 | 1600 | 10 | 0,4 | 5,5 | 18,0 | 3,30 | 1,3 |
| 3, 9, 15, 21 | ТМ-2500/10 | 2500 | 10 | 0,4 | 5,5 | 25,0 | 4,60 | 1,0 |
| 4, 10, 16, 22 | ТМ-4000/10 | 4000 | 10 | 0,4 | 5,5 | 33,5 | 6,40 | 0,9 |
| 5, 11, 17, 23 | ТМ-6300/10 | 6300 | 10 | 0,4 | 5,5 | 46,0 | 9,00 | 0,8 |
| 6, 12, 18, 24 | ТМ-630/10 | 630 | 10 | 0,4 | 5,5 | 7,6 | 1,56 | 2,0 |

**Методические указания к решению задачи 2**

1 Напряжение короткого замы­кания определить из формулы:

2 Ток короткого замыкания I1k=I1ном определить из формулы для определения полной мощности трансформатора

3 Коэффициент мощности режима короткого замыкания определяется из формулы:

Pк.ном = U1к I1к cos φк; φк - ?

4 Полное сопротивление короткого замыкания по закону Ома для участка цепи U1к = I1к zк;

5 Активная и индуктивная составляющие сопротивления короткого замыкания определяются через тригонометрические функции по треугольнику сопротивлений

6 Стороны треугольника напряжений короткого замыкания (рис. 1.4):

Uк = I1к zк; Uк.a = I1к rк; Uк.р = I1к xк;

7 Для построения треугольника короткого замыкания принимаем масштаб напряжения mu = =5В/мм, тогда длина векторов (сторон треугольника) равна всем предыдущим значениям, деленным на 5.

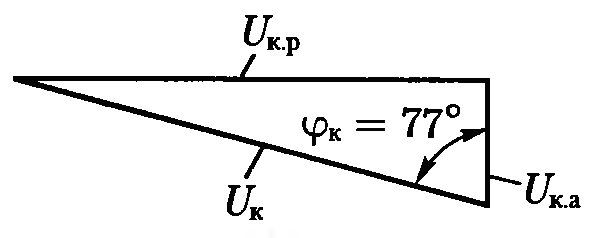


Рис. 4.4. Треугольник напряжений короткого замыкания

**Решить задачу 3**

Используя данные задачи №2, рассчитать величину изме­нения напряжения на выходе трансформатора при номинальной нагруз­ке ΔUном, при коэффициентах мощности нагрузки cosφ2=1 и cosφ2=0,8 и при индуктивном и емкостном характерах нагрузки, а также при активно-индуктивном характере нагрузки и фазовом сдвиге φ2 = φк. Сравнить полученные результаты и сделать вывод о влиянии характера нагрузки на величину вторичного напряжения трансфор­матора.

**Методические указания к решению задачи 3**

1 Изменение напряжения на выводах вторичной обмотки трансформатора

где составляющие напряжения короткого замыкания

2 Вычислить нагрузку активную при cos φ2=1, определив предварительно sin φ2;

3 Вычислить нагрузку индуктивную при cos φ2=0,8, определив предварительно sin φ2;

4 Вычислить нагрузку активно-индуктивную при cos φ2=cos φк, определив предварительно

sin φк;

5 Провести анализ полученных результатов и сделать следующие выводы:

а) при какой номинальной нагрузке минимальное изменение напряжения на выходе трансформа­тора?

б) при какой номинальной нагрузке максимальное значение ΔUHOM на выходе трансформа­тора?

в) приобрета­ет ли ΔUHOM отрицательное значение, т. е. на сколько процентов напряжение на выводах вторичной обмотки при номинальной нагрузке трансформатора повышается.

**Контрольные вопросы**

1. Как можно выполнить трансформирование трехфазной системы напряжений?
2. Где применяют трехфазные трансформаторы?
3. Каким образом магнитное сопротивление потоков крайних фаз?
4. По каким схемам принято соединять обмотки трехфазных трансформаторов?
5. Каким образом определяется отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора?

**Содержание отчета**

1. Наименование отчета
2. Тема практической работы
3. Цель практической работы
4. Решение задач своего варианта
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Вывод по работе

**Практическая работа № 5**

**Тема:** **Определение потерь и КПД трансформатора**

**Цель:**научиться определять потери и КПД трансформатора, строить графики изменения напряжения при различных нагрузках

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение потерь и КПД трансформатора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

В процессе трансформирования электрической энергии часть энергии теряется в трансформаторе на покрытие потерь. Потери в трансформаторе разделяются на электрические и магнитные.

***Электрические потери*** обусловлены нагревом обмоток трансформаторов при прохождении по этим обмоткам электрического тока. Мощность электрических потерь РЭ пропорциональна квадрату тока и определяется суммой электрических потерь в первичной РЭ1 и во вторичной РЭ2 обмотках:

(5.1)

где — число фаз трансформатора (для однофазного трансформатора , для трехфазного ).

При проектировании трансформатора величину электрических потерь определяют по (5.1), а для изготовленного трансформатора эти потери определяют опытным путем, измерив мощность к.з. при номинальных токах в обмотках

(5.2)

где — коэффициент нагрузки.

Электрические потери называют *переменными*, так как их величина зависит от нагрузки трансформатора (рис. 5.1).

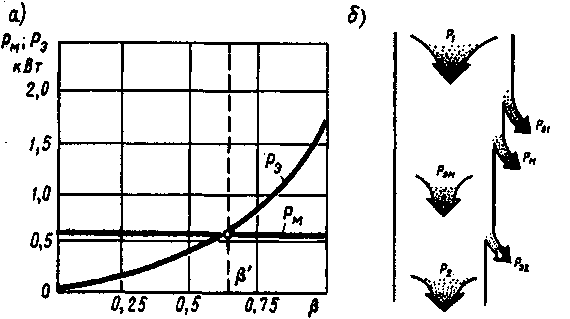


Рисунок 5.1 - Зависимость потерь трансформатора от его нагрузки (а) и энергетическая диаграмма (б) трансформатора

***Магнитные потери*** происходят главным образом в магнитопроводе трансформатора. Причина этих потерь — систематическое перемагничивание магнитопровода переменным магнитным полем. Это перемагничивание вызывает в магнитопроводе два вида магнитных потерь: потери от гистерезиса РГ, связанные с затратой энергии на уничтожение остаточного магнетизма в ферромагнитном материале магнитопровода, и потери от вихревых токов РВ.Т, наводимых переменным магнитным полем в пластинах магнитопровода:

С целью уменьшения магнитных потерь магнитопровод трансформатора выполняют из магнитно-мягкого ферромагнитного материала — тонколистовой электротехнической стали. При этом магнитопровод делают шихтованным в виде пакетов из тонких пластин (полос), изолированных с двух сторон тонкой пленкой лака.

Магнитные потери от гистерезиса прямо пропорциональны частоте перемагничивания магнитопровода, т. е. частоте переменного тока (), а магнитные потери от вихревых токов пропорциональны квадрату этой частоты (). Суммарные магнитные потери принято считать пропорциональными частоте тока степени 1,3, т. е. . Величина магнитных потерь зависит также и от магнитной индукции в стержнях и ярмах магнитопровода () При неизменном первичном напряжении () магнитные потери постоянны, т.е. не зависят от нагрузки трансформатора (рис. 5.1, а).

При проектировании трансформатора магнитные потери определяют по значению удельных магнитных потерь , происходящих в 1 кг тонколистовой электротехнической стали при значениях магнитной индукции 1,0; 1,5 или 1,7 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц:

где — фактическое значение магнитной индукции в стержне или ярме магнитопровода трансформатора, Тл;

— магнитная индукция, соответствующая принятому значению удельных магнитных потерь, например Вх = 1,0 или 1,5 Тл;

— масса стержня или ярма магнитопровода, кг.

Значения удельных магнитных потерь указаны в ГОСТе на тонколистовую электротехническую сталь. Например, для стали марки 3411 толщиной 0,5 мм при и удельные магнитные потери

Для изготовленного трансформатора магнитные потери определяют опытным путем, измерив мощность х.х. при номинальном первичном напряжении .

Таким образом, активная мощность , поступающая из сети в первичную обмотку трансформатора, частично расходуется на электрические потери в этой обмотке . Переменный магнитный поток вызывает в магнитопроводе трансформатора магнитные потери . Оставшаяся после этого мощность, называемая электромагнитной мощностью

, передается во вторичную обмотку, где частично расходуется на электрические потери в этой обмотке . Активная мощность, поступающая в нагрузку трансформатора,

(5.4)

где — суммарные потери в трансформаторе.

Все виды потерь, сопровождающие рабочий процесс трансформатора, показаны на энергетической диаграмме (рис. 5.1).

*Коэффициент полезного действия трансформатора* определяется как отношение активной мощности на выходе вторичной обмотки Р2 (полезная мощность) к активной мощности на входе первичной обмотки Р1 (подводимая мощность):

Сумма потерь

Активная мощность на выходе вторичной обмотки трехфазного трансформатора (Вт)

(5.6)

где — номинальная мощность трансформатора, В-А;

— линейные значения тока, А, и напряжения В.

Учитывая, что , получаем выражение для расчета КПД трансформатора:

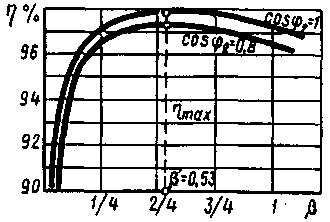


Рисунок 5.2 - График зависимости КПД трансформатора от нагрузки

Анализ выражения (5.7) показывает, что КПД трансформатора зависит как от величины (), так и от характера () нагрузки. Эта зависимость иллюстрируется графиками (рис. 5.2). Максимальное значение КПД соответствует нагрузке, при которой магнитные потери равны электрическим: , отсюда значение коэффициента нагрузки, соответствующее максимальному КПД,

Обычно КПД трансформатора имеет максимальное значение при β'=0,45÷0,65. Подставив в (5.7) вместо Р значение Р' по (5.8), получим выражение максимального КПД трансформатора:

Помимо рассмотренного КПД по мощности иногда пользуются понятием КПД по энергии, который представляет собой отношение количества энергии, отданной трансформатором потребителю W2 (кВт-ч) в течение года, к энергии W1, полученной им от питающей электросети за это же время: η=W2/W1.

КПД трансформатора по энергии характеризует эффективность эксплуатации трансформации.

**Пример**

В таблице 5.1 приведены технические данные трехфазного трансформатора серии ТСЗ (трансформатор трехфазный сухой с заземленной первичной обмоткой). Используя эти данные, определить: коэффициент трансформации номинальные значения токов первичной и вторичной обмоток, ток холостого хода , напряжение короткого замыкания , сопротивление короткого замыкания , его активную и реактивную составляющие, определить номинальное изменение напряжения при значениях коэффициента мощности , номинальные и максимальные КПД трансформатора при коэффициентах нагрузки

Таблица 5.1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип трансформатора | кВА | кВ | кВ | кВ | кВ | % | % |
| ТСЗ-160/6 | 160 | 6 | 0,23 | 0,7 | 2,7 | 5,5 | 4,0 |

**Решение**

1 Коэффициент трансформации

2 Номинальные ток первичной обмотки

3 Номинальные ток вторичной обмотки

4 Ток холостого хода

5 Напряжение короткого замыкания

6 Сопротивление короткого замыкания

7 Коэффициент мощности короткого замыкания

8 Активная и реактивная составляющие сопротивления короткого замыкания

Активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания

10 Изменение вторичного напряжения трансформатора при номинальной нагрузке ():

- при коэффициенте мощности нагрузки

- при коэффициенте мощности нагрузки

- при коэффициенте мощности нагрузки

Результаты расчета изменения вторичного напряжения трансформатора при номинальной нагрузке ()

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 1,0 | 0,8 (инд) | 0,8 (емк) |
|  | 1,7 | 4,48 | - 1,80 |
|  | 3,9 | 10,30 | - 4,14 |
|  | 226,0 | 220,00 | 234,00 |

Внешние характеристики трансформатора представлены на рисунке 5.3

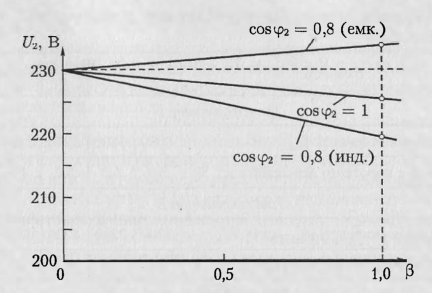


Рисунок 5.3 -Внешние характеристики трансформатора

при номинальной нагрузке () и коэффициенте мощности

12 Максимальный КПД

при

при

где коэффициент нагрузки, соответствующий максимальному КПД

**Задание** **для индивидуального решения**

Используя данные таблицы 5.2, определить: коэффициент трансформации номинальные значения токов первичной и вторичной обмоток, ток холостого хода , напряжение короткого замыкания , сопротивление короткого замыкания , его активную и реактивную составляющие, определить номинальное изменение напряжения при значениях коэффициента мощности , номинальные и максимальные КПД трансформатора при коэффициентах нагрузки

Таблица 5.2 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Тип трансформатора | кВА | кВ | кВ | кВ | кВ | % | % |
| 1 | ТСЗ-160/10 | 160 | 10 | 0,40 | 0,7 | 2,7 | 5,5 | 4,0 |
| 2 | ТСЗ-250/6 | 250 | 6 | 0,23 | 1,0 | 3,8 | 5,5 | 3,5 |
| 3 | ТСЗ-250/10 | 250 | 10 | 0,40 | 1,0 | 3,8 | 5,5 | 3,5 |
| 4 | ТСЗ-400/6 | 400 | 6 | 0,23 | 1,3 | 5,4 | 5,5 | 3,0 |
| 5 | ТСЗ-400/10 | 400 | 10 | 0,40 | 1,3 | 5,4 | 5,5 | 3,0 |
| 6 | ТСЗ-630/6 | 630 | 6 | 0,40 | 2,0 | 7,3 | 5,5 | 1,5 |
| 7 | ТСЗ-630/10 | 630 | 10 | 0,40 | 2,0 | 7,3 | 5,5 | 1,5 |
| 8 | ТСЗ-1000/6 | 1000 | 6 | 0,4 | 3,0 | 11,3 | 5,5 | 1,5 |
| 9 | ТСЗ-1000/10 | 1000 | 10 | 0,4 | 3,0 | 11,3 | 5,5 | 1,5 |
| 10 | ТСЗ-1600/10 | 1600 | 10 | 0,4 | 4,2 | 16,0 | 5,5 | 1,5 |

**Практическая работа № 6**

**Тема: Определение основных параметров асинхронного электродвигателя**

**Цель:**научиться производить расчет основных параметров асинхронного электродвигателя.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение основных параметров асинхронного электродвигателя. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Решаемая на практическом занятии задача направлена на определение основных параметров асинхронного электродвигателя. Для ее решения необходимо знать устройство и принцип действия асинхронного двигателя и зависимости между электрическим величинами, характеризующими его работу.

Перед решением задачи изучите соответствующий теоретический материал и рассмотрите типовой пример.

При частоте напряжения питающей сети 50 Гц возможные синхронные частоты вращения магнитного поля статора: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин и т.д. Тогда при частоте вращения ротора *n2* = 950 об/мин из приведенного выше ряда выбираем ближайшую к ней частоту вращения поля *n1* = 1000 об/мин. Тогда можно определить скольжение ротора, даже не зная числа пар полюсов двигателя:

Из формулы для скольжения можно определить частоту вращения ротора

В настоящее время промышленность выпускает асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии 4А мощностью от 0,06 до 400 кВт (табл. 2.1). Обозначение типа электродвигателя расшифровывается так: 4 — порядковый номер серии; А — асинхронный; X — алюминиевая оболочка и чугунные щиты (отсутствие буквы X означает, что корпус полностью выполнен из чугуна); В — двигатель встроен в оборудование; Н — исполнение защищенное IР23, для закрытых двигателей исполнения IР44 обозначение защиты не приводится; Р — двигатель с повышенным пусковым моментом; С — сельскохозяйственного назначения; цифра после буквенного обозначения показывает высоту оси вращения в мм (100, 112 и т. д.); буквы S, M, L — после цифр — установочные размеры по длине корпуса (S — станина самая короткая; М — промежуточная; L — самая длинная); цифра после установочного размера — число полюсов; буква У — Климатическое исполнение (для умеренного климата); последняя цифра — категория размещения: 1 — для работы па открытом воздухе, 3 — для закрытых неотапливаемых помещений.

**Пример 1** Необходимо расшифровать условное обозначение двигателя 4А250S4УЗ.

Это двигатель четвертой серии, асинхронный, корпус полностью чугунный (нет буквы X), высота оси вращения 250 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), четырех полюсный, для умеренного климата, третья категория размещения.

**Пример 2** Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4АР160S6УЗ имеет номинальные данные: мощность Рном= 11 кВт; напряжение Uном *=* =380В; частота вращения ротора *п2=* 975 об/мин; К.П.Д. *η*ном = 0,855; коэффициент мощности cosφном = 0,83; кратность пускового тока *I*п/*I*ном = 7; кратность пускового момента Мп/Мном = 2,0; способность к перегрузке Mmax/Mном = 2,2. Частота тока в сети *f1 = 50* Гц. Определить:потребляемую мощность; номинальный, пусковой и максимальный вращающие моменты; номинальный и пусковой токи; номинальное скольжение; частоту тока в роторе. Расшифровать его условное обозначение. Оценить возможность пуска двигателя при номинальной нагрузке, если напряжение в сети при пуске снизилось на 20%?

**Решение**

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети

1. Номинальный момент, развиваемый двигателем:

М

1. Максимальный и пусковой моменты:

1. Номинальный и пусковой токи:
2. Номинальное скольжение
3. Частота тока в роторе

1. Условное обозначение двигателя расшифровываем так: двигатель четвертой серии, асинхронный, с повышенным пусковым моментом (буква Р), высота оси вращения 160 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), шестиполюсный, для умеренного климата, третья категория размещения.
2. При снижении напряжения в сети на 20% на выводах двигателя остается напряжение 0,8 *Uном.* Так как момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, то

Отсюда , что больше . Таким образом, пуск двигателя возможен.

**Задание для****индивидуального решения**

Для привода рабочей машины применяется трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Используя данные для своего варианта, указанные в таблице 6.1, определить: потребляемую мощность; номинальный, пусковой и максимальный вращающие моменты; номинальный и пусковой токи; номинальное скольжение; частоту тока в роторе.

Расшифровать его условное обозначение. Оценить возможность пуска двигателя при номинальной нагрузке, если напряжение в сети при пуске снизилось на 20%?

Таблица 6.1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер варианта | Тип двигателя | *Pном2*,  *кВт* | *n2, об/мин* | сosφном |  |  |  | ηном |
| 1 | 4Al00S2У3 | 4 | 2880 | 0,89 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,86 |
| 2 | 4A100L2У3 | 5,5 | 2880 | 0,91 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,87 |
| 3 | 4А112М2СУЗ | 7,5 | 2900 | 0,88 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,87 |
| 4 | 4А132М2СУЗ | 11 | 2900 | 0,9 | 7,5 | 1,6 | 2,2 | 0,88 |
| 5 | 4А90L4УЗ | 2,2 | 1400 | 0,83 | 6,0 | 2,0 | 2,2 | 0,8 |
| 6 | 4A100S4УЗ | 3 | 1425 | 0,83 | 6,5 | 2,0 | 2,2 | 0,82 |
| 7 | 4А100L4У3 | 4,0 | 1425 | 0,84 | 6,5 | 2,2 | 2,2 | 0,84 |
| 8 | 4A112М4СУ1 | 5,5 | 1450 | 0,85 | 7,0 | 2,0 | 2.2 | 0,85 |
| 9 | 4А132М4СУ1 | 11 | 1450 | 0,87 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,87 |
| 10 | 4AP160S4У3 | 15 | I465 | 0,87 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,865 |
| 11 | 4АР160М4У3 | 18,5 | 1465 | 0,87 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,885 |
| 12 | 4AP180S4У3 | 22 | 1460 | 0,87 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,89 |
| 13 | 4АР180М4У3 | 30 | 1460 | 0,87 | 7,5 | 2,0 | 2,2 | 0,9 |
| 14 | 4А100L6У3 | 2,2 | 950 | 0,73 | 5,5 | 2,0 | 2,0 | 0,81 |
| 15 | 4АР160S6У3 | 11 | 975 | 0,83 | 7,0 | 2,0 | 2,2 | 0,855 |
| 16 | 4АР160М6УЗ | 15 | 975 | 0,83 | 7,0 | 2,0 | 2,2 | 0,875 |
| 17 | 4АР180М6УЗ | 18,5 | 970 | 0,8 | 6,5 | 2,0 | 2,2 | 0,87 |
| 18 | 4A250S6У3 | 45 | 985 | 0,89 | 6,5 | 1,2 | 2,0 | 0,92 |
| 19 | 4А250М6УЗ | 55 | 985 | 0,89 | 7,0 | 1,2 | 2,0 | 0,92 |
| 20 | 4АН250М6УЗ | 75 | 985 | 0,87 | 7,5 | 1,2 | 2,5 | 0,93 |
| 21 | 4А100L8УЗ | 1,5 | 725 | 0,65 | 6,5 | 1,6 | 1,7 | 0,74 |
| 22 | 4AP160S8У3 | 7,5 | 730 | 0,75 | 6,5 | 1,8 | 2,2 | 0,86 |
| 23 | 4А250S8УЗ | 37 | 740 | 0,83 | 6,0 | 1,2 | 1,7 | 0,9 |
| 24 | 4А250М8УЗ | 45 | 740 | 0,84 | 6,0 | 1,2 | 1,7 | 0,91 |
| 25 | 4АН250М8УЗ | 55 | 740 | 0,82 | 6,0 | 1,2 | 2,0 | 0,92 |

**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 изменится вращающий момент асинхронного двигателя, если напряжение на его выводах обмотки статора уменьшить в раз?
5. Что такое перегрузочная способность, асинхронного двигате­ля и какова, ее зависимость от напряжения питания двигателя?

**Содержание отчета**

1. Наименование отчета
2. Тема практической работы
3. Цель практической работы
4. Решение задач своего варианта
5. Ответы на контрольные вопросы
6. Вывод по работе

**Практическая работа №7**

**Тема: Изучение способов пуска трехфазного асинхронного двигателя**

**Цель:** ознакомиться с существующими способами пуска трехфазного асинхронного двигателя

**Ход работы**

Задание содержит задачу на изучение способов пуска трехфазного асинхронного двигателя. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Изучите краткие теоретические сведения

3 Приведите схемы известных Вам способов включения трехфазных асинхронных двигателей и опишите их

4 Ответьте на контрольные вопросы

5 Сделайте вывод по работе

6 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Вопросы, связанные с пуском в ход электрических двигателей, имеют большое практическое значение. При их разрешении приходится считаться с условиями работы сети, к которой приключается двигатель, и с требованиями, которые предъявляются к электроприводу. Под электроприводом понимается устройство, состоящее из электродвигателя вместе с относящейся к нему аппаратурой и предназначенное для приведения во вращение рабочей машины (какого-либо станка, насоса, вентилятора, экскаватора, прокатного стана, конвейера и др.).

Для оценки пусковых свойств электродвигателя установлены следующие основные показатели:

1) начальный пусковой ток Iнач или его кратность Iнач/Iн;

2) начальный пусковой момент Мнач или его кратность Мнач/Мн.

Кроме того, в ряде случаев имеет значение продолжительность разбега двигателя вместе с приводимым им во вращение механизмом и иногда плавность разбега.

***1 Пуск непосредственным включением в сеть*** (рисунок 7.1).

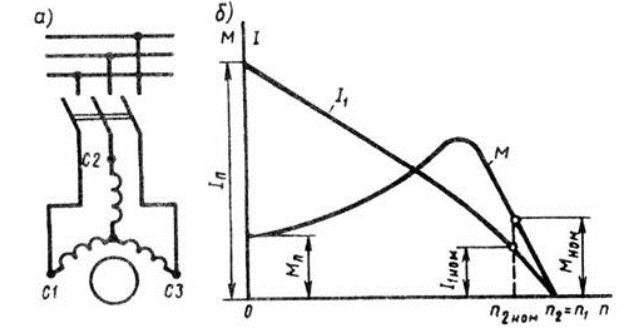


Рисунок 7.1 – Схема непосредственного включения в сеть (а) и графики изменения тока и момента при пуске (б) асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Этот способ пуска, отличаясь простотой, имеет существенный недостаток: в момент подключения двигателя к сети в обмотке статора возникает большой пусковой ток, в 5-7 раз превышающий номинальный ток двигателя. При небольшой инерционности исполнительного механизма частота вращения двигателя быстро достигает установившегося значения и пусковой ток также быстро спадает, не вызывая перегрева обмотки статора. Но такой значительный бросок тока в питающей сети может вызвать в ней заметное падение напряжения.

Однако этот способ пуска благодаря своей простоте получил наибольшее применение для двигателей мощностью до 38-50 кВт и более (при достаточном сечении жил токоподводящего кабеля). При необходимости уменьшения пускового тока двигателя применяют какой-либо из способов пуска короткозамкнутых двигателей при пониженном напряжении.

***2 Пуск при пониженном напряжении***

Пусковой ток двигателя пропорционален подведенному напряжению U1, уменьшение которого вызывает соответствующее уменьшение пускового тока. Существует несколько способов понижения подводимого к двигателю напряжения. Рассмотрим некоторые из них.

1 Для асинхронных двигателей, работающих при соединении обмоток статора треугольником, можно применить пуск переключением обмотки статора со звезды на треугольник (рисунок 7.2, а).

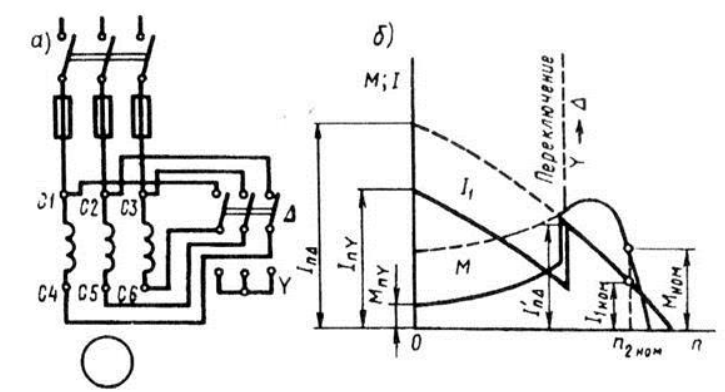


Рисунок 7.2 – Схема включения (а) и графики изменения момента и тока (фазного) при пуске (б) асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором переключением обмотки статора со звезды на треугольник

В момент подключения двигателя к сети переключатель ставят в положение «звезда», при котором обмотка статора оказывается соединенной в звезду. При этом фазное напряжение на статоре понижается в  раз. Во столько же раз уменьшается и ток в фазных обмотках двигателя (рисунок 7.2, б). Кроме того, при соединении обмоток звездой линейный ток равен фазному, в то время как при соединении этих же обмоток треугольником линейный ток больше фазного в раз. Следовательно, переключив обмотки статора звездой, мы добиваемся уменьшения линейного тока в ()2 = 3 раза.

После того как ротор двигателя разгонится до частоты вращения, близкой к установившейся, переключатель быстро переводят в положение «треугольник» и фазные обмотки двигателя оказываются под номинальным напряжением.

Возникший при этом бросок тока до значения является незначительным.

Рассмотренный способ пуска имеет существенный недостаток

- уменьшение фазного напряжения в раз сопровождается уменьшением пускового момента в три раза, так как, пусковой момент асинхронного двигателя прямо пропорционален квадрату напряжения U1.

Такое значительное уменьшение пускового момента не позволяет применять этот способ пуска для двигателей, включаемых в сеть при значительной нагрузке на валу.

Описанный способ понижения напряжения при пуске применим лишь для двигателей, работающих при соединении обмотки статора треугольником. Более универсальным является способ с понижением подводимого к двигателю напряжения посредством реакторов (реактивных катушек — дросселей).

***3 Понижение подводимого к двигателю напряжения посредством реакторов***

Порядок включения двигателя в этом случае следующий (рисунок 7.3, а).

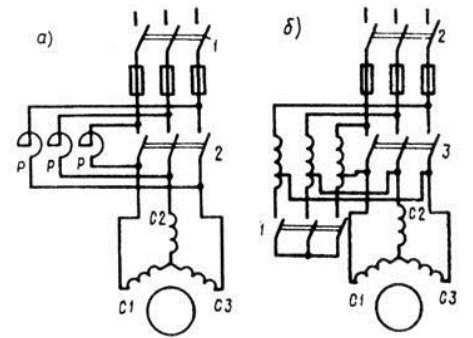


Рисунок 7.3 – Схемы реакторного (а) и автотрансформаторного (б) способов пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

При разомкнутом рубильнике 2 включают рубильник 7. При этом ток из сети поступает в обмотку статора через реакторы Р, на которых происходит падение напряжения 𝑗𝐼̇∙𝑥𝑝 (где 𝑥𝑝 — индуктивное сопротивление реактора, Ом). В результате на обмотку статора подается пониженное напряжение.

После разгона ротора двигателя включают рубильник 2, и подводимое к обмотке статора напряжение оказывается номинальным.

Недостаток этого способа пуска состоит в том, что уменьшение напряжения в  раз сопровождается уменьшением пускового момента Мп в раз.

При пуске двигателя через понижающий автотрансформатор (рисунок 7.3, б) вначале замыкают рубильник 1, соединяющий обмотки автотрансформатора звездой, а затем включают рубильник 2 и двигатель оказывается подключенным на пониженное напряжение . При этом пусковой ток двигателя, измеренный на выходе автотрансформатора, уменьшается в 𝐾𝐴 раз, где 𝐾𝐴 — коэффициент трансформации автотрансформатора. Что же касается тока в питающей двигатель сети, т. е. тока на входе автотрансформатора, то он уменьшается в  раз по сравнению с пусковым током при непосредственном включении двигателя в сеть. Дело в том, что в понижающем автотрансформаторе первичный ток меньше вторичного в КА раз и поэтому уменьшение пускового тока при автотрансформаторном пуске составляет раз. Например, если кратность пускового тока асинхронного двигателя при непосредственном его включении в сеть составляет , а напряжение сети 380 В, то при автотрансформаторном пуске с понижением напряжения до 220 В кратность пускового тока в сети .

После первоначального разгона ротора двигателя рубильник 1 размыкают и автотрансформатор превращается в реактор. При этом напряжение на выводах обмотки статора несколько повышается, но все же остается меньше номинального. Включением рубильника 3 на двигатель подается полное напряжение сети. Таким образом, автотрансформаторный пуск проходит тремя ступенями: на первой ступени к двигателю подводится напряжение на второй — и, наконец, на третьей ступени к двигателю подводится номинальное напряжение .

Как и предыдущие способы пуска при пониженном напряжении, автотрансформаторный способ пуска сопровождается уменьшением пускового момента, так как значение последнего прямо пропорционально квадрату напряжения. С точки зрения уменьшения пускового тока автотрансформаторный способ пуска лучше реакторного, так как при реакторном пуске пусковой ток в питающей сети уменьшается в раз, а при автотрансформаторном – в раз. Но некоторая сложность пусковой операции и повышенная стоимость пусковой аппаратуры (понижающий автотрансформатор и переключающая аппаратура) несколько ограничивают применение этого способа пуска асинхронных двигателей.

**Контрольные вопросы**

1. Какими показателями характеризуются пусковые свойства асинхронных двигателей?

2. Каковы достоинства и недостатки пусковых свойств асинхронных двигателей?

3. Как лучше, с точки зрения улучшения пусковых свойств, уменьшить пусковой ток: снижением подводимого к двигателю напряжения или увеличением активного сопротивления в цепи обмотки ротора?

4. Каковы достоинства и недостатки пуска асинхронных двигателей непосредственным включением в сеть?

5. Каковы достоинства и недостатки пуска асинхронных двигателей при пониженном напряжении?

**Содержание отчета**

1 Наименование, номер, тема и цель работы

2 Схемы известных Вам способов включения трехфазных асинхронных двигателей и их описание

3 Ответы на контрольные вопросы

4 Вывод по работе

**Практическая работа №8**

**Тема:** **Упрощенный расчет механической характеристики АД по формуле Клосса.**

**Цель**: приобретение навыков упрощенного расчета и построения механической характеристики асинхронного двигателя

**Ход работы**

Задание содержит задачу на упрощенный расчет механической характеристики АД по формуле Клосса. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Для расчета характеристик необходимо знать паспортные данные двигателя: Рн, nн, Uн, Iн, cosϕн, ηн, Е2н, λμ.

Графически выраженная зависимость электромагнитного момен­та от скольжения называется *механической характеристикой* асин­хронного двигателя

Упрощенная формула для расчета электромагнитного момента асинхронного двигателя (формула Клосса) может быть использо­вана для построения механической характеристики

Соответствующее этому моменту критическое скольжение (упро­щенное выражение)

Задаваясь различными значениями SН и подставляя в упрощенную формулу Клосса, можно найти М и построить зависимость М=*f*(S), а значит и *n*= *f*(М).

**Пример**

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии А2, работающий от сети частотой *f*на­пряжением *U* при соединении обмотки статора «звездой», име­ет номинальные параметры, приведенные в таблице: полезная мощ­ность Р2ном, скольжение номинальное *S ном ,* КПД *ηном*, коэффициент мощности *cosφном*; число пар полюсов *рпар,* кратность пускового тока **, кратности пускового ** и максимального ** моментов.

Таблица 8.1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *U, В* | *P2ном, Вт* | *Sном,%* | *ηном* | *сosφном* | *рпар полюсов* |  |  |  | *f* |
| 380 | 10 | 3 | 0,88 | 0,89 | 1 | 2,2 | 1,5 | 7 | 50 |

Требуется рассчитать параметры для построения механической характеристики асинхронного двигателя.

**Решение**

1. Частота вращения ротора асинхронного двигателя

2. Мощность, потребляемая дви­гателем в номинальном режиме,

Р1=Рном / ηном =10/0,88=11,36 кВт

3. Ток, потребляемый двигателем из сети при номинальной нагрузке,

I1ном=P1ном /(U. сosφном)

4. Пусковой ток

IП=КПТ .Iном =7∙19,4=135,8 А

5. Номинальный момент

6. Максимальное значение момента

Мmax= Мном=2,2∙37,3=82,0 Н∙м

7. Пусковой момент асинхронного двигателя

МП= КПМ .Мном =1,5∙37,3=55,9 Н∙м

8. Критическое скольжение (упро­щенное выражение)

=0,03∙(2,2+(

9 Графически выраженная зависимость электромагнитного момен­та от скольжения называется *механической характеристикой* асин­хронного двигателя

Задаваясь скольжением от 0 до 1 рассчитать и построить механические характеристики асинхронного двигателя.

Таблица 8.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S | 0 | Sном =  0,03 | Sкр =  0,125 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| n, об/мин | 3000 | 2910 | 2625 | 2400 | 2100 | 1800 | 1500 | 1200 | 900 | 600 | 300 | 0 |
| М, Н∙м | 0 | 37,3 | 82,0 | 73,7 | 58,2 | 46,7 | 38,6 | 32,7 | 28,3 | 25,0 | 22,3 | 20,2 |

Частота вращения ротора асинхронного двигателя при S=0

Упрощенная формула для расчета электромагнитного момента асинхронного двигателя (формула Клосса) может быть использо­вана для построения механической характеристики



При Sном расчеты выполнены по ходу решения, nном и Мном, поэтому их не рассчитываем. При Sкр момент максимальный, поэтому его тоже не рассчитываем.

Аналогично рассчитывают n и М при других скольжениях, взятых из таблицы 2.

**Задание** *По данным таблицы 2, построить механические характеристики двигателя М=f(S); n2 = f(М) на двух разных графиках*

**Задание для индивидуального решения**

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии А2, работающий от сети частотой *f*на­пряжением *U* при соединении обмотки статора «звездой», име­ет номинальные параметры, приведенные в таблице: полезная мощ­ность Р2ном, скольжение номинальное *S ном ,* КПД *ηном*, коэффициент мощнос­ти *Cosφном*; число пар полюсов *рпар,* кратность пускового тока **, кратности пускового ** и максимального ** моментов. Требуется рассчитать параметры и построить механические характеристики двигателя М=f(S); n2 = f(М).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| вар | *U, В* | *P2ном, Вт* | *Sном,%* | *ηном* | *cosφном* | *рпар полюсов* |  |  |  | *f* |
| 1 | 220 | 0,8 | 3 | 0,78 | 0,86 | 1 | 2,2 | 1,9 | 7 | 50 |
| 2 | 220 | 1,0 | 3 | 0,795 | 0,87 | 1 | 2,1 | 1,9 | 7 | 50 |
| 3 | 220 | 1,5 | 4 | 0,805 | 0,88 | 1 | 2,1 | 1,8 | 7 | 50 |
| 4 | 220 | 2,2 | 4,5 | 0,83 | 0,89 | 1 | 2,1 | 1,8 | 7 | 50 |
| 5 | 220 | 3 | 3,5 | 0,845 | 0,89 | 1 | 2,1 | 1,7 | 7 | 50 |
| 6 | 220 | 4 | 2 | 0,855 | 0,89 | 1 | 2,1 | 1,7 | 6 | 50 |
| 7 | 220 | 5,5 | 3 | 0,86 | 0,89 | 1 | 2,1 | 1,7 | 6 | 50 |
| 8 | 220 | 7,5 | 3,5 | 0,87 | 0,89 | 1 | 2,1 | 1,6 | 7 | 50 |
| 9 | 220 | 10 | 4 | 0,88 | 0,89 | 1 | 2,2 | 1,5 | 7 | 50 |
| 10 | 220 | 13 | 3,5 | 0,88 | 0,89 | 1 | ,22 | 1,5 | 7 | 50 |
| 11 | 220 | 17 | 3,5 | 0,88 | 0,9 | 1 | 2,2 | 1,2 | 6 | 50 |
| 12 | 220 | 22 | 3,5 | 0,88 | 0,9 | 1 | 2,2 | 1,1 | 6 | 50 |
| 13 | 220 | 30 | 3 | 0,89 | 0,9 | 1 | 2,2 | 1,1 | 7 | 50 |
| 14 | 220 | 40 | 3 | 0,89 | 0,91 | 1 | 2,2 | 1,0 | 7 | 50 |
| 15 | 220 | 55 | 3 | 0,9 | 0,92 | 1 | 2,2 | 1,0 | 6 | 50 |
| 16 | 220 | 75 | 3 | 0,9 | 0,92 | 1 | 2,2 | 1,0 | 7 | 50 |
| 17 | 220 | 100 | 2,5 | 0,915 | 0,92 | 1 | 2,2 | 1,0 | 6 | 50 |
| 18 | 380 | 10 | 3 | 0,885 | 0,86 | 2 | 2 | 1,4 | 7 | 50 |
| 19 | 380 | 13 | 3 | 0,885 | 0,87 | 2 | 2 | 1,3 | 7 | 50 |
| 20 | 380 | 17 | 3 | 0,89 | 0,88 | 2 | 2 | 1,3 | 7 | 50 |
| 21 | 380 | 22 | 3 | 0,9 | 0,89 | 2 | 2 | 1,2 | 6 | 50 |
| 22 | 380 | 30 | 3 | 0,91 | 0,89 | 2 | 2 | 1,2 | 6 | 50 |
| 23 | 380 | 40 | 3 | 0,925 | 0,9 | 2 | 2 | 1,1 | 7 | 50 |
| 24 | 380 | 55 | 3 | 0,925 | 0,91 | 2 | 2 | 1,1 | 7 | 50 |
| 25 | 380 | 75 | 3 | 0,925 | 0,92 | 2 | 2 | 1,1 | 7 | 50 |
| 26 | 380 | 12 | 4 | 0,892 | 0,89 | 2 | 2 | 1,1 | 6 | 50 |

**Методические указания**

1. Частота вращения ротора асинхронного двигателя

2. Мощность, потребляемая дви­гателем в номинальном режиме,

3. Ток, потребляемый двигателем из сети при номинальной нагрузке,

4. Пусковой ток

5. Максимальное значение момента

6. Пусковой момент асинхронного двигателя

Задаваясь скольжением от 0 до 1 рассчитать и построить механические характеристики асинхронного двигателя.

**Содержание отчета**

1 Наименование, номер, тема и цель практической работы

2 Решение задач своего варианта

3 Построенные две характеристики

4 Вывод по работе

**Практическая работа № 9**

**Тема:** **Построение рабочих характеристик асинхронного двигателя**

**Цель:** приобретение навыков расчета и построения рабочих характеристик асинхронного двигателя

**Ход работы**

Задание содержит задачу на построение рабочих характеристик асинхронного двигателя. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и используйте методические рекомендации к выполнению задания.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Рабочие характеристики асинхронного двигателя (рис. 9.1) представляют собой графически выраженные зависимости частоты вращения n2, КПД η, полезного момента (момента на валу) М2, коэффициента мощности cos φ, и тока статора I1 от полезной мощности Р2 при U1 = const *f*1 = const.

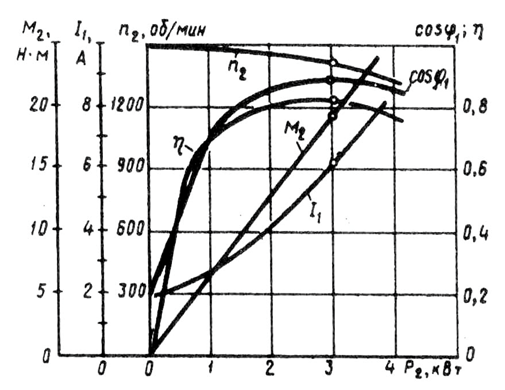


Рисунок 9.1 - Рабочие характеристики асинхрон­ного двигателя

Скоростная характеристика n2 = *f*(P2). Частота вращения ро­тора асинхронного двигателя *n2 = n1(1 - s).*

*s = Pэ2/ Pэм*, (9.1),

т. е. скольжение дви­гателя, а следователь­но, и его частота вра­щения определяются отношением электри­ческих потерь в рото­ре к электромагнитной мощности Рэм. Пре­небрегая электричес­кими потерями в рото­ре в режиме холостого хода, можно принять Рэ2 = 0, а поэтому s ≈ 0 и n20 ≈ n1.

По мере увеличения нагрузки на валу двигателя отношение (9.1) растет, достигая значений 0,01—0,08 при но­минальной нагрузке. В соответствии с этим зависимость n2 = *f*(P2) представляет собой кривую, слабо наклоненную к оси абсцисс. Однако при увеличении активного сопротивления ротора r2' угол наклона этой кривой увеличивается. В этом случае изме­нения частоты вращения n2 при колебаниях нагрузки Р2 возраста­ют. Объясняется это тем, что с увеличением r2' возрастают элек­трические потери в роторе.

Зависимость М2 =f(P2). Зависимость полезного момента на валу двигателя М2 от полезной мощности Р2 определяется выражением

*M2 = Р2/ ω2 = 60 P2/ (2πn2) = 9,55Р2/ n2*, (9.2)

где — полезная мощность, Вт; ω2 = 2πf 2/ 60 — угловая частота враще¬ния ротора.

Из этого выражения следует, что если n2 = const, то график М2 =*f*2(Р2) представля­ет собой прямую линию. Но в асинхрон­ном двигателе с увеличением нагрузки Р2 частота вращения ротора уменьшается, а поэтому полезный момент на валу М2 с увеличением нагрузки возрастает не­ сколько быстрее нагрузки, а следовательно, график М2 =*f* (P2) имеет криволинейный вид.

Зависимость cosφ1 = *f* (P2). В связи с тем что ток статора I1 имеет реактивную (индуктивную) составляющую, необходимую для созда­ния магнитного поля в статоре, коэффициент мощности асинхронных двигателей меньше единицы. Наименьшее значение коэффициента мощности соответствует режиму х.х. Объясняется это тем, что ток х.х. I0 при любой нагрузке остается практически неизменным. Поэтому при малых на­грузках двигателя ток статора невелик и в значительной части является реак­тивным (I1 ≈ I0). В результате сдвиг по фазе тока статора , относительно на­пряжения , получается значительным (φ1 ≈ φ0), лишь немногим меньше 90° (рис. 9.2). Коэффициент мощности асинхронных двигателей в режиме х.х. обычно не превышает 0,2.

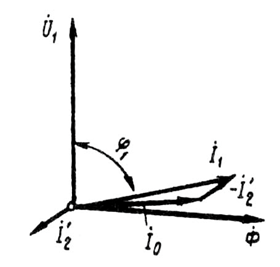


Рисунок 9.2 - Векторная диаграмма асинхронного двигателя при небольшой нагрузке

При увеличении нагрузки на валу двигателя растет активная составляющая тока I1 и коэффициент мощности возрастает, достигая наибольшего значения (0,80—0,90) при нагрузке, близкой к номинальной. Дальнейшее увелиичение нагрузки сопровождается уменьшением cosφ1 что объясня­ется возрастанием индуктивного сопротивления ротора (x2s) за счет увеличения скольжения, а следовательно, и частоты тока в роторе. В целях повышения коэффициента мощности асинхронных двигателей чрезвычайно важно, чтобы двигатель работал всегда или по крайней мере значительную часть времени с нагрузкой, близкой к номиналь­ной. Это можно обеспечить лишь при правильном выборе мощности двигателя. Если же двигатель работает значительную часть времени недогруженным, то для повышения cosφ1, целесообразно подводимое к двигателю напряжение U1 уменьшить. Например, в двигателях, работающих при соединении обмотки статора треугольником, это мож­но сделать пересоединив обмотки статора в звезду, что вызовет уменьшение фазного напряжения в раз. При этом магнитный поток статора, а следовательно, и намагничивающий ток уменьшаются примерно в раз. Кроме того, активная составляющая тока статора несколько увеличивается. Все это способствует повышению коэффи­циента мощности двигателя. На рис. 9.3 представлены графики зависимости cosφ1, асинхронного двигателя от нагрузки при соединении обмоток статора звездой (кривая 1) и треугольником (кривая 2).

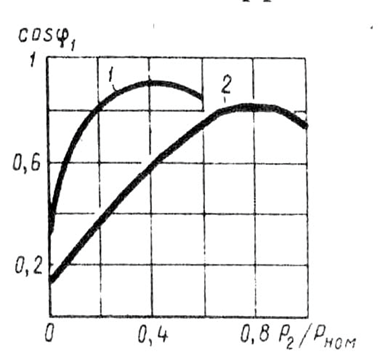


Рисунок 9.3 - Зависимость cos φ1,от нагрузки при соединении обмотки статора звездой (1) и треугольником (2)

**Пример решения задания**

Для расчёта рабочих характеристик асинхронного двигателя задаются рядом значений скольжения, рассчитывают полезную мощности на валу двигателя. Результаты расчётов сводят в таблицу 9.2.

По результатам расчёта рабочих характеристик строят рабочие характеристики.

**Задание для индивидуального решения**

Используя значения параметров трехфазных асин­хронных двигателей, приведенные в таблице 9.1, рассчитать параметры и построить рабочие характеристики асинхрон­ного двигателя: *I1 М2, n2,* сos φ1, η= *f*(Р2). При этом применить аналитический метод расчета рабочих характеристик.

Таблица 9.1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Варианты | | | | | |
| 1 | 2 | **3** | **4** | **5** | 6 |
| Рном, кВт | 3,0 | 12 | 70 | 22 | 250 | 16 |
| , % | 6,0 | 3,5 | 1,5 | 2,5 | 2,0 | 3,0 |
| U1ф, В | 220 | 220 | 220 | 220 | 1730 | 220 |
| I1ф, А | 6,3 | 25 | 190 | 54 | 60 | 40 |
| 2 *р* | 4 | 4 | 4 | 8 | 6 | 8 |
| *r*1ф, Ом | 1,7 | 0,32 | 0,035 | 0,15 | 0,68 | 0,15 |
| I0ф , А | 1,83 | 9,7 | 55 | 32,8 | 17,5 | 9,6 |
| *Р0,* Вт | 300 | 565 | 6500 | 1340 | 10 750 | 950 |
| *Р'0,* Вт | 283 | 475 | 6180 | 1120 | 10125 | 890 |
| Рмех,ВТ | 200 | 250 | 600 | 370 | 1350 | 270 |
| сos φ0 | 0,24 | 0,10 | 0,20 | 0,064 | 0,12 | 0,15 |
| Рк,Вт | 418 | 1780 | 9500 | 2360 | 12 160 | 1740 |
| Uк.ф,В | 59,5 | 57,8 | 58,0 | 44,0 | 360 | 42,0 |
| cos φк | 0,37 | 0,34 | 0,30 | 0,33 | 0,25 | 0,34 |

Решение аналитическим методом:

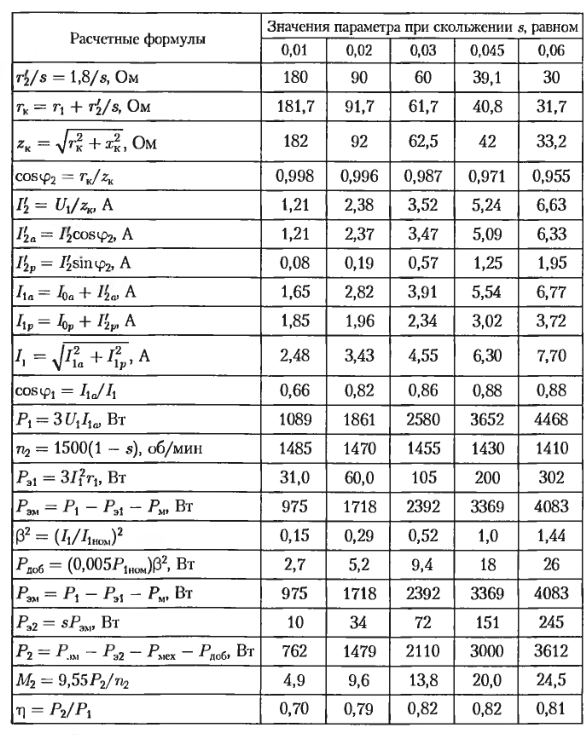
* определить активную и реактивную составляющие тока холостого хода:

* определить сопротивление короткого замыкания:
* определить активную и реактивную составляющие сопротивления корот­кого замыкания
* определить приведенное значение активного сопротивления обмотки ро­тора
* определить критическое скольжение

определить величину магнитных потерь:

* рассчитать значения параметров, приведенных в таблице 8.5. для ряда значений скольжения s = 0,01; 0,02; 0,03; 0,045; 0,06 и для каждого из них выполняем расчет;
* результаты представляем в виде таблицы 9.2;

Таблица 9.2



* по полученным данным построить рабочие харак­теристики двигателя (рис. 9.1).

**Практическая работа №10**

**Тема: Расчет сопротивлений резисторов пускового реостата**

**Цель работы:** рассчитать сопротивление резисторов, подключенных к асинхронному двигателю, для запуска двигателя с фазным ротором

**Ход работы**

Задание содержит задачу на расчет сопротивлений резисторов пускового реостата. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и используйте методические указания к решению задачи.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

**Пусковые свойства двигателей с фазным ротором.** Пуск асин­хронного двигателя сопровождается переходным процессом, обусловленным переходом ротора и ме­ханически связанных с ним частей исполнительного механизма из состояния покоя в состояние равно­мерного вращения, когда вращающий момент двига­теля уравновешивается суммой противодействую­щих моментов, действующих на ротор двигателя.

Пусковые свойства двигателя определяются в первую очередь значением пускового тока Iп или его кратностью Iп/ Iном и значением пускового момента Мп или его кратностью Мп/Мном. Двигатель, обла­дающий хорошими пусковыми свойствами, развива­ет значительный пусковой момент при сравнительно небольшом пусковом токе. Однако получение такого сочетания пусковых параметров в асинхронном дви­гателе сопряжено с определенными трудностями, а иногда оказывается невозможным.

Улучшить пуско­вые свойства двигателя можно увеличением актив­ного сопротивления цепи ротора r2', так как в этом случае уменьшение пускового тока сопровождается увеличением пускового момента. В то же время на­пряжение U1 по-разному влияет на пусковые пара­метры двигателя: с уменьшением U1 пусковой ток уменьшается, что благоприятно влияет на пусковые свойства двигателя, но одновременно уменьшается пусковой момент. Целесообразность применения того или иного способа улучшения пусковых свойств двигателя определяется конкретными условиями эксплуатации двигателя и требованиями, которые предъявляются к его пусковым свойствам.

Помимо пусковых значений тока Iп и момента Мп пусковые свойства двигателей оцениваются еще и такими показателями: продолжительность и плавность пуска, сложность пусковой опе­рации, ее экономичность (стои­мость и надежность пусковой ап­паратуры и потерь энергии в ней). Пуск двигателей с фазным ротором. Наличие контактных колец у двигателей с фазным ро­тором позволяет подключить к обмотке ротора пусковой реостат (ПР). При этом активное сопро­тивление цепи ротора увеличива­ется до значения R2 = r2' + rд', где rд' — электрическое сопротивление пускового реостата, приве­денное к обмотке статора. Если при отсутствии ПР, т. е. при активном сопротив­лении цепи ротора R2 = r2, пусковой момент Мп = Мпо, то при введении в цепь ротора добавочного активного сопротивления rдоб , когда R/2 = r2' + rдоб' , пусковой момент возрастает и при R//2 = r2' + rдоб' = х1 + х'2 достигает наибольшего значения Мп.наиб. При R/2 > х1 + х'2 пусковой момент уменьшается.

При выборе сопротивления пускового реостата rдоб исходят из условий пуска двигателя: если двигатель включают при значи­тельном нагрузочном моменте на валу, сопротивление пускового реостата rдо6 выбирают таким, чтобы обеспечить наибольший пус­ковой момент; если же двигатель включают при небольшом нагрузочном моменте на валу, когда пусковой момент не имеет решающего значения для пуска, оказы­вается целесообразным сопротивление ПР rдоб выбирать несколько больше значения, соответствующего наибольшему пусковому мо­менту, т. е. чтобы R/2 > x1 + х'2. В этом случае пусковой момент оказывается несколько меньшим наибольшего значения М п.mах, но зато пусковой ток значительно уменьшается.

На рисунке 10.1, а показана схема включения ПР в цепь фазного ро­тора. В процессе пуска двигателя ступени ПР переключают таким образом, чтобы ток ротора оставался приблизительно неизменным, а среднее значение пускового момента было близко к наибольшему.

Пусковые реостаты состоят из кожуха, рычага с переключаю­щим устройством и сопротивлений, выполненных из металличе­ской проволоки или ленты, намотанной в виде спирали, или же из чугунного литья. Пусковые реостаты рассчитаны на кратковре­менное протекание тока, а поэтому рычаг пускового реостата нельзя долго задерживать на промежуточных ступенях, так как сопротивления реостата могут перегореть. По окончании процесса пуска, когда рычаг реостата находится на последней ступени, обмотка ротора замкнута накоротко.

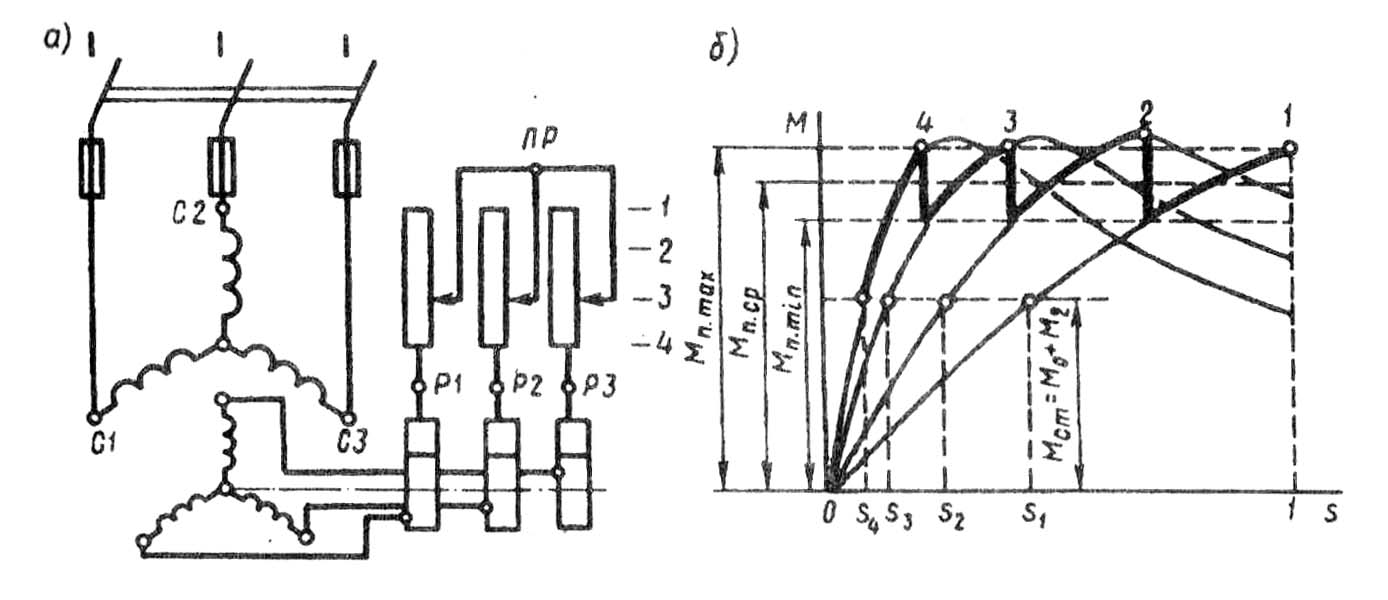


Рисунок 10.1 - Схема включения пускового реостата.

В асинхронных двигателях с фаз­ным ротором обеспечивается наиболее благоприятное соотноше­ние между пусковым моментом и пусковым током: большой пусковой момент при небольшом пусковом токе (в 2—3 раза больше номинального). Недостатками пусковых свойств двигателей с фазным ротором являются некоторая сложность, продолжительность и неэкономичность пусковой операции. Последнее вызыва­ется необходимостью применения в схеме двигателя пускового реостата и непроизводительным расходом электроэнергии при его нагреве.

**Задание** **для индивидуального решения**

Решить задачу. Для асинхронного двигателя с фазным ротором, дан­ные которого приведены в таблице 10.1, номинальная мощность Pном*,* но­минальное скольжение Sном, перегрузочная способность λм, число по­люсов *2р.* Требуется рассчитать сопротивления резисторов трехсту­пенчатого пускового реостата ПР (рисунок 10.2).

Таблица 10.1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианты | Параметр | | | | |
| Pном , кВт | 2p | Sном, % | *r*2, Ом | λ=Mmax/Mном |
| 1 | 13,0 | 8 | 4,5 | 0,370 | 3,0 |
| 2 | 75,0 | 4 | 3,3 | 0,014 | 2,0 |
| 3 | 22,0 | 8 | 4,0 | 0,053 | 2,0 |
| 4 | 5,5 | 8 | 5,3 | 0,150 | 1,7 |
| 5 | 14,0 | 4 | 5,0 | 0,095 | 1,7 |
| 6 | 7,5 | 6 | 5,0 | 0,130 | 1,7 |
| 7 | 13,0 | 8 | 4,5 | 0,370 | 3,0 |
| 8 | 75,0 | 4 | 3,3 | 0,014 | 2,0 |
| 9 | 22,0 | 8 | 4,0 | 0,053 | 2,0 |
| 10 | 5,5 | 8 | 5,3 | 0,150 | 1,7 |
| 11 | 14,0 | 4 | 5,0 | 0,095 | 1,7 |
| 12 | 7,5 | 6 | 5,0 | 0,130 | 1,7 |
| 13 | 13,0 | 8 | 4,5 | 0,370 | 3,0 |
| 14 | 75,0 | 4 | 3,3 | 0,014 | 2,0 |
| 15 | 22,0 | 8 | 4,0 | 0,053 | 2,0 |
| 16 | 5,5 | 8 | 5,3 | 0,150 | 1,7 |
| 17 | 14,0 | 4 | 5,0 | 0,095 | 1,7 |
| 18 | 7,5 | 6 | 5,0 | 0,130 | 1,7 |
| 19 | 13,0 | 8 | 4,5 | 0,370 | 3,0 |
| 20 | 75,0 | 4 | 3,3 | 0,014 | 2,0 |
| 21 | 22,0 | 8 | 4,0 | 0,053 | 2,0 |
| 22 | 5,5 | 8 | 5,3 | 0,150 | 1,7 |
| 23 | 14,0 | 4 | 5,0 | 0,095 | 1,7 |
| 24 | 7,5 | 6 | 5,0 | 0,130 | 1,7 |
| 25 | 13,0 | 8 | 4,5 | 0,370 | 3,0 |

**Методические указания к решению задачи**

* определить синхронную частоту вращения:
* определить номинальную частоту вращения:
* определить номинальный момент двигателя:
* определить номинальный момент двигателя:
* принять значение момента переклю­чений, равным номинальному:
* определить кратность отношений моментов (отношение начального пускового момен­та к моменту переключений):

где z- число ступеней пускового реостата

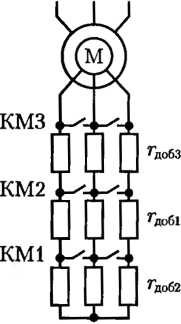


Рисунок 10.2 - Трехступенчатый пусковой реостат

* определить начальный пусковой момент
* определить сопротивление резистора третьей сту­пени ПР: ;
* определить сопротивление резистора второй ступени ПР:

* определить сопротивление резистора первой ступени:
* определить сопротивление ПР на первой ступени:
* определить сопротивление ПР на второй ступени
* определить сопротивление ПР на третьей ступени

**Содержание отчета**

1. Наименование, номер, тема и цель работы
2. Схема трехступенчатого пускового реостата
3. Решение индивидуального задания.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Вывод о проделанной работе.

**Контрольные вопросы**

1. Чем сопровождается пуск асинхронного двигателя с фазным ротором (АД с ФР)?
2. Чем определяются пусковые свойства АД с ФР?
3. Как улучшить пусковые свойства АД с ФР?
4. От чего и как зависит выбор величины сопротивления пусковых реостатов, подключаемых к АД с ФР?
5. Из чего состоят пусковые реостаты?

**Практическая работа №11**

**Тема:** **Определение потерь мощности и КПД асинхронного двигателя**

**Цель**: изучить особенности расчета потерь мощности и КПД асинхронного двигателя.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение потерь мощности и КПД асинхронного двигателя. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Для решения данной практической работы необходимо знать устройство и принцип действия асинхронного двигателя и зависимости между электрическими величинами, характеризующими его работу.

Мощность трехфазного асинхронного двигателя:

где– активная и реактивная мощности двигателя.

Активная мощность двигателя определяет среднюю мощность необратимого преобразования в двигателе электрической энергии, получаемой из трехфазной сети, в механическую, тепловую и другие виды энергии, а реактивная мощность – максимальную мощность обмена энергией между источником и магнитным полем двигателя.

Преобразование энергии в двигателе показано на ***энергетической диаграмме*** (рис.11.1).

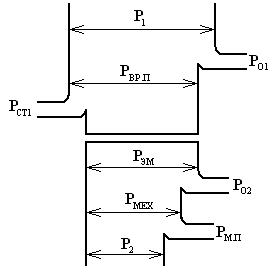


Рисунок 11.1 – Энергетическая диаграмма АД

В ней исходной величиной является активная мощность потребления электрической энергии из трехфазной сети .

Часть этой мощности составляет мощность потерь на нагревание проводов обмотки статора. Остальная мощность преобразуется в мощность вращающегося магнитного поля , часть которой составляет мощность потерь из-за гистерезиса и вихревых токов в сердечнике статора. Мощность потерь в сердечнике ротора, через который замыкается вращающийся магнитный поток, практического значения не имеет, так как частота тока в роторе весьма мала (1-3 Гц), и мощность потерь из-за гистерезиса и вихревых токов незначительна.

Оставшаяся часть мощности вращающегося магнитного поля составляет электромагнитную мощность ротора

(11.2)

Электромагнитный момент двигателя при частоте вращения определяется по формуле

Чтобы определить механическую мощность , развиваемую ротором, из электромагнитной мощности нужно вычесть мощность потерь на нагревание проводов обмотки ротора . Следовательно,

(11.4)

Полезная механическая мощность на валу двигателя будет меньше механической мощности из-за механических потерь в двигателе, т.е.

(11.5)

Суммарные потери в двигателе

(11.6)

или

(11.7)

Отношение полезной механической мощности на валу двигателя к активной мощности потребления электрической энергии из сети определяет КПД асинхронного двигателя

КПД современных трехфазных асинхронных двигателей при номинальном режиме работы составляет 0,8 -0,95.

**Пример:**

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с числом полюсов 2р=4 включен в сеть напряжением 380В, частотой 50 Гц при соединении обмотки статора «треугольником». Параметры двигателя, соответствующие его номинальной нагрузке: мощность двигателя , КПД скольжение коэффициент мощности . При нагрузке КПД двигателя имеет наибольшее значение .

Необходимо определить все виды потерь двигателя для режима номинальной нагрузки.

Решение

1 Наибольшее значение КПД

2 Нагрузка двигателя при этом КПД

3 Потребляемая мощность при наибольшем значении КПД

4 Суммарные потери мощности при наибольшем значении КПД

5 Постоянные потери двигателя

6 Потребляемая мощность в номинальном режиме

7 Суммарные потери в номинальном режиме

8 Переменные потери в номинальном режиме

9 Момент в режиме холостого хода

10 Номинальная частота вращения

11 Полезный момент на валу двигателя при номинальной нагрузке

12 Электромагнитный момент при номинальной нагрузке

13 Номинальное значение электромагнитной мощности

14 Электрические потери в обмотке ротора

15 Добавочные потери

16 Электрические потери в номинальном режиме

17 Электрические потери в обмотке статора

18 Проверка:

**Задание для индивидуального решения**

Решить задачу. Данные для своего варианта взять из таблицы 11.1. Решение необходимо выполнять с кратким пояснением.

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с числом полюсов 2р=4 включен в сеть напряжением380В, частотой 50 Гц при соединении обмотки статора «треугольником». В таблице 11.1 приведены параметры двигателя, соответствующие его номинальной нагрузке: мощность двигателя , КПД коэффициент мощности . При нагрузке КПД двигателя имеет наибольшее значение .

Необходимо определить все виды потерь двигателя для режима номинальной нагрузки.

Начертить в масштабе энергетическую диаграмму двигателя.

Определить КПД двигателя при значениях коэффициента нагрузки  и построить график При определении значений коэффициента мощности  следует воспользоваться графиком 11.2, кроме значений при , которые следует принять соответствующими номинальной нагрузке из таблицы технических данных двигателя.

Таблица 11.1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Варианты | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Рном, кВт | 10 | 4,0 | 5,5 | 7,5 | 11,0 | 15,0 | 18,5 | 22,0 | 30,0 | 37 |
| 𝜼ном, % | 84,5 | 82,0 | 85,0 | 85,5 | 86,0 | 87,5 | 88,0 | 90,0 | 90,5 | 91,5 |
| Sном, % | 4,5 | 5,0 | 4,0 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 2,7 | 2,5 | 2,3 | 2,0 |
| Cos𝝋1 | 0,76 | 0,80 | 0,82 | 0,84 | 0,86 | 0,87 | 0,89 | 0,89 | 0,90 | 0,90 |

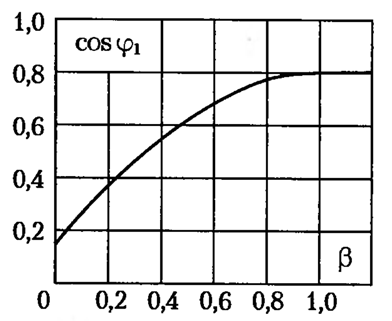
****

Рисунок 11.2 – График

19 Построение зависимости КПД от нагрузки

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Значение параметров | | | |
|  | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,03 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Контрольные вопросы:**

1. В чем сущность активной и реактивной мощности асинхронного двигателя?
2. Какие виды потерь имеют место в асинхронном двигателе и какова их природа?
3. Дайте определение КПД асинхронного двигателя.

**Практическая работа № 12**

**Тема:****Определение параметров трехфазного синхронного генератора**

**Цель:** пробрести навыки расчета основных параметров трехфазных синхронных генераторов переменного тока.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение параметров трехфазного синхронного генератора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Характерным признаком синхронных машин является жесткая связь между частотой вращения ротора *n*1и частотой переменного тока в обмотке статора *f*1:

(12.1)

Другими словами, вращающееся магнитное поле статора и ротор синхронной машины вращаются *синхронно,* т. е. с одинаковой частотой.

По своей конструкции синхронные машины разделяются на явнополюсные и неявнополюсные. В явнополюсных синхронных машинах ротор имеет явно выраженные полюса, на которых располагают катушки обмотки возбуждения, питаемые постоянным током. Характерным признаком таких машин является различие магнитного сопротивления по продольной оси (по оси полюсов) и по поперечной оси (по оси, проходящей в межполюсном пространстве). Магнитное сопротивление потоку статора по продольной оси *dd* намного меньше магнитного сопротивления потоку статора по поперечной оси *qq*. В неявнополюсных синхронных машинах магнитные сопротивления по продольной и поперечной осям одинаковы, поскольку воздушный зазор у этих машин по периметру статора одинаков.

Конструкция статора синхронной машины в принципе не отличается от статора асинхронной машины. В обмотке статора в процессе работы машины индуцируются ЭДС и протекают токи, которые создают магнитодвижущую силу (МДС), максимальное значение которой

(12.2)

Эта МДС создает вращающееся магнитное поле, а в воздушном зазоре *δ* машины создается магнитная индукция, график распределения которой в пределах каждого полюсного деления *τ* зависит от конструкции ротора.

Энергетические характеристики в синхронной машине зависят от режима ее работы. Если машина работает в режиме генератора, то подводимая к генератору механическая мощность определяется вращающим моментом приводного двигателя *М*1 и частотой вращения *n*1

*Р*1 *=* 0,105∙*М*1*∙n*1 (12.3)

Часть этой мощности расходуется на покрытие механических *Р*мех, магнитных *Р*м и добавочных *Р*д потерь. Если возбуждение генератора происходит от возбудителя, приводимого во вращение от общего приводного двигателя, то к перечисленным потерям добавляются еще и потери на возбуждение

(12.4)

где *U****в***и *I*в - напряжение и ток в цепи возбуждения;

*η*в - КПД возбудителя.

Оставшаяся после вычитания перечисленных потерь мощность, представляет собой электромагнитную мощность генератора *Рэм,* которая передается на статор генератора электромагнитным путем. Полезная мощность на выходе генератора *Р2* меньше электромагнитной мощности на величину электрических потерь в обмотке статора

(12.5)

Суммарные потери синхронного генератора

*ΣР = Р*мех + *Р*м + *Р*в + *Р*доб + *Р*э1 (12.6)

Полезная мощность генератора

(12.7)

где - полная мощность на выходе генератора, ВA;

*cos φ*1 - коэффициент мощности в цепи нагрузки генератора.

Если синхронная машина работает в режиме двигателя, то виды потерь остаются прежними, но электрическая мощность на входе двигателя

(12.8)

а мощность на выходе двигателя является механической

*Р*2 *=* 0,105∙*М*2*∙n*1 (12.9)

Коэффициент полезного действия синхронной машины

η = *P*2/*P*1 (12.10)

**Пример расчета**

Параметры трехфазного синхронного генератора: номинальное (линейное) напряжение на выходе *U*1ном=6,3 кВ при частоте тока 50 Гц, обмотка статора соединена «звездой», номинальный ток статора *I*1ном, КПД генератора при номинальной на­грузке *η*ном=92%, число полюсов *2р*=6*,* мощность на входе генератора *Р*1ном, полезная мощность на выходе генератора *Р2*ном, суммарные потери в режиме номинальной нагрузки Σ*P*ном, полная номинальная мощность на выходе *S*ном=330 кВ∙Акоэффициент мощности нагрузки, подключенной к генератору, *cosφ1ном*=0,9, вращающий момент первичного двигателя при номинальной загрузке генератора *М*1ном. Требуется определить параметры, значения которых не указаны.

**Решение:**

1 Полезная мощность на выходе генератора

2 Мощность на выходе генератора

3 Суммарные потери

4 Ток статора в номинальном режиме

5 Синхронная частота вращения при 2р=6 и частоте тока 50 Гц

6 Момент приводного двигателя, необходимый для вращения ротора генератора с синхронной частотой вращения в режиме номинальной нагрузки

**Задание** **для индивидуального решения**

Параметры трехфазного синхронного генератора: номинальное (линейное) напряжение на выходе *U*1ном при частоте тока 50 Гц, обмотка статора соединена «звездой», номинальный ток статора *I*1ном, КПД генератора при номинальной на­грузке *η*ном, число полюсов *2р,* мощность на входе генератора *Р*1ном, полезная мощность на выходе генератора *Р2*ном, суммарные потери в режиме номинальной нагрузки Σ*P*ном, полная номинальная мощность на выходе *S*ном,коэффициент мощности нагрузки, подключенной к генератору, *cosφ1ном*, вращающий момент первичного двигателя при номинальной загрузке генератора *М*1ном. Требуется определить параметры, значения которых в таблице 12.1 не указаны.

Таблица 12.1 – Параметры трехфазного синхронного генератора

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Варианты | | | | | | | | | |
| 1, 10,  19 | 2, 11,  20 | 3, 12,  21 | 4, 13,  22 | 5, 14,  23 | 6, 15,  24 | 7, 16,  25 | 8, 17 | 9, 18 |
| *S*ном, кВА | - | 270 | 470 | - | 600 | 780 | 450 | 700 | 500 |
| *U*1ном, В | 3,2 | 0,4 | - | 0,7 | 3,2 | 6,3 | 0,4 | - | 3,2 |
| *η*ном, % | - | - | 91 | 90 | 93 | - | - | 93 | 92 |
| *2р* | 8 | 8 | 6 | 10 | 12 | 6 | - | 6 | 10 |
| *Р2*ном, кВт | - | 206 | - | - | - | 667,4 | 369,5 | - | - |
| Σ*P*ном, кВт | 27 | 18 | - | - | - | - | - | - | - |
| *cosφ1ном* | - | - | 0,90 | - | 0,92 | - | 0,90 | 0,92 | 0,85 |
| *I*1ном, А | 72,2 | - | 43,1 | 190 | - | - | - | 64,2 | - |
| *Р*1ном, кВт | 340 | - | - | 190 | - | 717,6 | - | - | - |
| *М*1ном, Нм | - | - | - | - | - | - | 7735 | - | - |

**Контрольные вопросы**

1. Что является характерным признаком синхронных машин?
2. Перечислите способы возбуждения синхронной машины.
3. Чем отличается синхронная машина от асинхронной?
4. Как различаются синхронные машины по конструкции якоря?
5. Какие виды потерь имеют место в синхронной машине?

**Содержание отчета**

1. Наименование, номер, тема и цель работы.
2. Пример решения задачи с пояснениями
3. Решение индивидуального задания.
4. Ответы на контрольные вопросы.

**Практическая работа № 13**

**Тема:** **Определение основных параметров трехфазного синхронного двигателя.**

**Цель:** пробрести навыки расчета основных параметров трехфазных синхронных двигателей переменного тока.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение основных параметров трехфазного синхронного двигателя. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

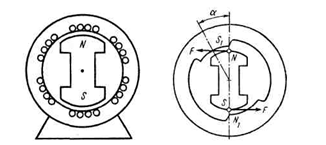
5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Устройство статора синхронного двигателя аналогично устройству статора асинхронного двигателя. Ротор синхронного двигателя представляет собой электромагнит или постоянный магнит (рисунок 13.1, *а*).

Принцип работы синхронного двигателя поясняется рисунок 13.1, *б*. Внутри магнита *N1S1* помещен магнит *NS.* Если магнит *N1S1* вращать, то он потянет за собой магнит *NS.* В стационарном режиме частоты вращения обоих магнитов одинаковы.

К валу магнита *NS* можно приложить механиче­скую нагрузку. Чем больше эта нагрузка, тем больше угол отставания оси магнита *NS* от оси магнита *N1S1.* При некоторой нагрузке силы притяжения между магнитами будут преодолены и ротор остановится.



*а* *б*

Рисунок 13.1 – Схематическое изображение и принцип работы синхронного двигателя

В реальном двигателе поле магнита *N1S1* заменено вращающимся магнитным полем статора; при этом ротор либо вращается синхронно с магнитным полем статора, отставая на угол *α,* либо останавливается (выпадает из синхронизма) при перегрузке. Таким образом, независимо от нагрузки ротор всегда вращается с постоянной частотой, равной частоте вращения магнитного поля статора:

(13.1)

Постоянство частоты вращения - важное достоин­ство синхронного двигателя. Недостаток синхронного двигателя - трудность пуска: для пуска нужно раскрутить ротор в сторону враще­ния поля статора. Для этого чаще всего применяют специальную короткозамкнутую обмотку, встроенную в ротор. В момент пуска двигатель работает как асин­хронный. Когда частота вращения ротора приближа­ется к частоте вращения поля статора, ротор входит в синхронизм и двигатель работает как синхронный. Короткозамкнутая обмотка при этом оказывается обесточенной, так как частота вращения ротора равна частоте вращения поля статора и стержни обмотки ротора не пересекаются магнитными силовыми линиями.

**Пример**

В трехфазную сеть напряжением включен потребитель Z мощностью при коэффициенте мощности . Определить мощность синхронного компенсатора СК, который следует подключить параллельно потребителю (рис. 13.2), чтобы коэффициент мощности в сети повысился до . На сколько при этом уменьшатся потери энергии в сети, если величина этих потерь пропорциональна квадрату тока в этой сети. Определить насколько придется увеличить мощность синхронного компенсатора, чтобы повысить коэффициент мощности сети до .

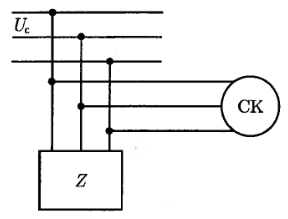


Рисунок 13.2 – Схема включения синхронного компенсатора

**Решение**

1 Ток нагрузки в сети

2 Активная составляющая этого тока

3 Реактивная мощность сети до подключения синхронного компенсатора

4 Реактивная мощность сети после подключения синхронного компенсатора

5 Для повышения коэффициента мощности до , требуется включение параллельно нагрузке Z синхронного компенсатора реактивной мощностью

6 При включении синхронного компенсатора активная составляющая тока в сети не изменится ( а реактивная составляющая тока в сети станет равной

7 Ток в сети после подключения синхронного компенсатора

8 Потери в сети после подключения синхронного компенсатора

от их значения до подключения синхронного компенсатора , т.е. потери в сети уменьшатся на 41%

9 При увеличении коэффициента мощности сети до требуемая для этого реактивная мощность синхронного компенсатора Следовательно, потребовался бы синхронный компенсатор мощностью в 1120/621=1,8 раза больше мощности СК, примененного в схеме повышения мощности до Это привело бы к росту капитальных затрат на создание рассматриваемой электрической установки и сделало бы нерентабельным применение синхронного компенсатора для повышения коэффициента мощности сети до единицы.

**Задание для индивидуального решения**

Трехфазный синхронный двигатель серии СДН2 имеет данные каталога: номинальная мощность *Р*ном, число полюсов 2*р*, КПД *η*ном; кратности - пускового тока *I*п/*I*ном*,* пускового момент *M*п/*M*ном,максимального синхронного момента *М*mах/*М*ном, асинхронного момента при скольжении *s =* 5% (момент входа в синхронизм) *М*5%/*М*ном; соединение обмоток статора «звездой». Значения перечисленных величин приведены в таблице 6.1.

Определить: частоту вращения, номинальный и пусковой токи: цепи статора, номинальный, максимальный синхронный, пусковой моменты и асинхронный момент входа в синхронизм (при *s -* 5 %).Напряжение питающей сети *U*1 = 10 кВ при частоте 50 Гц, коэффициент мощности *соsφ*1 = 0,8.

Таблица 13.1 – Исходные данные к задаче

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Тип двигателя | *Р*ном  кВт | 2*р* | *η*ном  % | *М*mах/*М*ном | *М*5%/*М*ном | *M*п/*M*ном | *I*п*/I*ном |
| 1, 11, 21 | 16-36-12 | 500 | 12 | 93,7 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 5,2 |
| 2, 12, 22 | 16-44-12 | 630 | 12 | 94,2 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 5,1 |
| 3, 13, 23 | 17-31-12 | 800 | 12 | 94,3 | 1,9 | 1,1 | 1,0 | 4,7 |
| 4, 14, 24 | 17-39-12 | 1000 | 12 | 94,9 | 1,8 | 1,0 | 1,0 | 4,5 |
| 5, 15, 25 | 17-49-12 | 1250 | 12 | 95,3 | 1,9 | 1,2 | 1,1 | 5,2 |
| 6, 16 | 18-64-12 | 2500 | 12 | 96,2 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 6,5 |
| 7, 17 | 16-36-10 | 630 | 10 | 94,4 | 1,8 | 1,4 | 0,75 | 5,0 |
| 8, 18 | 16-44-10 | 800 | 10 | 94,9 | 1,8 | 1,3 | 0,75 | 5,0 |
| 9, 19 | 17-44-10 | 1250 | 10 | 95,5 | 1,9 | 1,2 | 1,1 | 5,4 |
| 10, 20 | 17-51-10 | 1600 | 10 | 95,9 | 1,8 | 1,2 | 1,0 | 5,2 |

**Методические указания к решению задачи**

1 Определить частоту вращения по формуле 13.1

2 Зная номинальную мощность, через КПД найти мощность, потребляемую двигателем в режиме номинальной нагрузки

3 Определить ток в цепи статора в режиме номинальной нагрузки из формулы

4 Из кратности пускового тока, определить пусковой ток в цепи статора

5 Определить момент на валу двигателя в режиме номинальной нагрузки, по формуле

6 Из кратности пускового момента, определить пусковой момент

7 Из кратности максимального момента, определить момент максимальный (синхронный)

8 Определить момент входа в синхронизм (асинхронный момент при скольжении 5%) по формуле

**Контрольные вопросы**

1 Чем отличается синхронный двигатель от асинхронного двигателя?

2 С какой целью на роторе синхронного двигателя иногда размещают дополнительную короткозамкнутую обмотку?

3 Чем ограничивается область устойчивой работы синхронного двигателя?

4 Как регулируется коэффициент мощности синхронного двигателя?

5 Что называют моментом входа двигателя в синхронизм?

**Содержание отчета**

1 Наименование, номер, тема и цель работы.

2 Решение задачи с пояснениями.

3 Ответы к решению задачи.

4 Ответы на контрольные вопросы.

5 Вывод по работе

**Практическая работа №14**

**Тема: Расчет и схема соединений обмоток якоря машины постоянного тока**

**Цель:** приобрести навыки расчета и построения обмоток якоря машины постоянного тока

**Ход работы**

Задание содержит задачу на расчет и схему соединений обмоток якоря машины постоянного тока. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Рассмотреть и записать предложенные задачи

3 Ответить на контрольные вопросы.

4 Сделать вывод по работе

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

**Петлевые обмотки якоря.** Обмотка якоря машины постоянного тока представляет собой замкнутую систему проводников, определенным образом уложенных на сердечнике якоря и присоединенных к коллектору.

Элементом обмотки якоря является *секция* (катушка), присоединенная к двум коллекторным пластинам. Расстояние между пазовыми частями секции должно быть равно или мало отличаться от полюсного деления τ (рисунок 14.1):

τ = πDa / (2p) (14.1)

где Dа – диаметр сердечника якоря, м

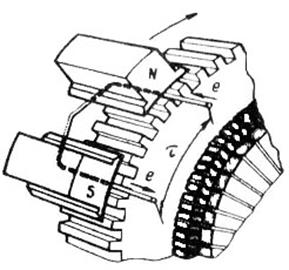


Рисунок 14.1 – Расположение пазовых сторон секции на сердечнике якоря

Обмотки якоря обычно выполняют двухслойными. Они характеризуются следующими параметрами: числом секций S; числом пазов (реальных) Z; числом секций, приходящихся на один паз *S*п*=S/Z* числом витков секции *wc* числом пазовых сторон в обмотке *N*; числом пазовых сторон в одном пазу *n*п*=N/Z=2wc∙S*п. Верхняя пазовая сторона одной секции и нижняя пазовая сторона другой секции, лежащие в одном пазу, образуют *элементарный паз*. Число элементарных пазов в реальном пазе *Z*п определяется числом секций, приходящихся на один паз: *S*п=*S/Z* (рисунок 14,2).

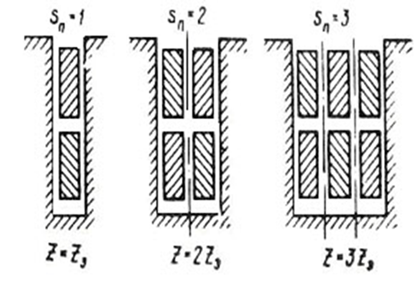


Рисунок 14,2 – Элементарные пазы

Схемы обмоток якоря делают *развернутыми*, при этом все секции показывают одновитковыми. В этом случае каждой секции, содержащей две пазовые стороны, соответствует один элементарный паз. Концы секций присоединяют к коллекторным пластинам, при этом к каждой пластине присоединяют начало одной секции и конец другой, т. е. на каждую секцию приходится одна коллекторная пластина.

Таким образом, для обмотки якоря справедливо

*S=Zэ=K*  (14.2)

где *Zэ* – число элементарных пазов;

К –число коллекторных пластин в коллекторе

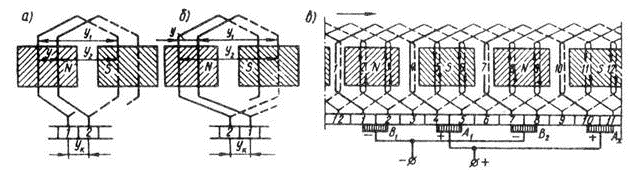
Число секций, приходящихся на один реальный паз, определяется отношением *Zэ/Z*

**Простая петлевая обмотка якоря**. В простой петлевой обмотке якоря каждая секция присоединена к двум рядом лежащим коллекторным пластинам. При укладке секций на сердечнике якоря начало каждой последующей секции соединяется с концом предыдущей, постепенно перемещаясь при этом по поверхности якоря (и коллектора) так, что за один обход якоря укладывают все секции обмотки. В результате конец последней секции оказывается присоединенным к началу первой секции, т. е. обмотка якоря замыкается.

На рисунке 14.3, а, б изображены части развернутой схемы простой петлевой обмотки, на которых показаны шаги обмотки – расстояния между пазовыми сторонами секций по якорю: *первый частичный шаг по якорю у1 ,второй частичный шаг по якорю у2 и результирующий шаг по якорю у* .

Если укладка секций обмотки ведется слева направо по якорю, то обмотка называется *правоходовой* (рисунок 14.3, а), а если укладка секций ведется справа налево, то обмотка называется *левоходовой* (рисунок 14.3, б).Для правоходовой обмотки результирующий шаг

*у=у1=у2* (14.3)

**

а – правоходовая; б – левоходовая; в – развернутая схема

Рисунок 14.3 – Простая петлевая обмотка

Расстояние между двумя коллекторными пластинами, к которым присоединены начало и конец одной секции, называют *шагом обмотки по коллектору* *ук* . Шаги обмотки по якорю выражают в элементарных пазах, а шаг по коллектору – в коллекторных делениях (пластинах).

Начало и конец каждой секции в простой петлевой обмотке присоединены к рядом лежащим коллекторным пластинам, следовательно,

*у=ук=±*1 (14.4)

где знак плюс соответствует правоходовой обмотке, а знак минус – левоходовой.

Для определения всех шагов простой петлевой обмотки достаточно рассчитать первый частичный шаг по якорю:

*y1=*[*Zэ*/(2*p*)]±*ε* (14.5)

где *ε* – некоторая величина, меньшая единицы, вычитая или суммируя которую получают значение шага *у1* , равное целому числу.

Второй частичный шаг обмотки по якорю

*y2=y1 ± y = y1 ± 1* (14.6)

**Пример 1.** Рассчитать шаги и выполнить развернутую схему простой петлевой обмотки якоря для четырехполюсной машины (2 р = 4) постоянного тока. Обмотка правоходовая, содержит 12 секций.

**Решение.** Первый частичный шаг по якорю

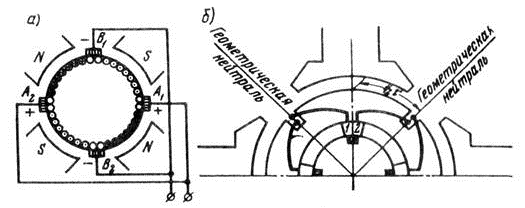
*y1=*[*Zэ*/(2*p*)]±*ε* =(12/4)±0=3 паза

Второй частичный шаг по якорю

*y2=y1 - y = 3 - 1*=2 паза

Прежде чем приступить к выполнению схемы обмотки, необходимо отметить и пронумеровать все пазы и секции, нанести на предполагаемую схему контуры магнитных полюсов и указать их полярность (рисунок 14.3, в). При этом нужно иметь в виду, что отмеченный на схеме контур является не полюсом, а зеркальным отображением полюса, находящегося над якорем. Затем изображают коллекторные пластины и наносят на схему первую секцию, пазовые части которой располагают в пазах 1 и 4. Коллекторные пластины, к которым присоединены начало и конец этой секции, обозначают 1 и 2. Затем нумеруют все остальные пластины и наносят на схему остальные секции (2, 3, 4 и т. д.). Последняя секция 12 должна замкнуть обмотку, что будет свидетельствовать о правильном выполнении схемы

Далее на схеме изображают щетки. Расстояние между щетками А и В должно быть равно К/(2р) = 12/4 = 3, т. е. должно соответствовать полюсному делению. Что же касается расположения щеток на коллекторе, то при этом следует руководствоваться следующим. Предположим, что электрический контакт обмотки якоря с внешней цепью осуществляется не через коллектор, а непосредственно через пазовые части обмотки, на которые наложены «условные» щетки (рисунок 14.4, а). В этом случае наибольшая ЭДС машины соответствует положению «условных» щеток на геометрической нейтрали. Но так как коллекторные пластины смещены относительно пазовых сторон соединенных с ними сек¬ций на 0,5 τ (рисунок 14.4, б),то, переходя к реальным щеткам, их следует расположить на коллекторе по оси главных полюсов, как это показано на рисунке 14.3, в.



а) условных; б) реальных

Рисунок 14.4 – Расположение щеток

При определении полярности щеток предполагают, что машина работает в генераторном режиме и ее якорь вращается в направлении стрелки (см. рисунок 14.3, в). Воспользовавшись правилом «правой руки», находят направление ЭДС (тока), наведенной в секциях. В итоге получаем, что щетки А1 и А2 ,от которых ток отводится во внешнюю цепь, являются положительными, а щетки В1 и B2 – отрицательными. Щетки одинаковой полярности присоединяют параллельно к выводам соответствующей полярности.

**Параллельные ветви обмотки якоря.** Если проследить за прохождением тока в секциях обмотки якоря (см. рисунок 14.3, в), то можно заметить, что обмотка состоит из четырех участков, соединенных параллельно друг другу и называемых *параллельными* *ветвями*. Каждая параллельная ветвь содержит несколько последовательно соединенных секций с одинаковым направлением тока в них. Распределение секций в параллельных ветвях показано на электрической схеме обмотки (рисунок 14.5). Эту схему получают из развернутой схемы обмотки (см. рисунок 14.3, б) следующим образом. На листе бумаги изображают щетки и имеющие с ними контакт коллекторные пластины, как это показано на рисунке 14.3. Затем совершают обход секций обмотки начиная с секции 1, которая оказывается замкнутой накоротко щеткой В1. Далее идут секции 2 и 3, которые образуют параллельную ветвь. Таким же образом обходят все остальные секции. В результате получаем схему с четырьмя параллельными ветвями, по две секции в каждой ветви.

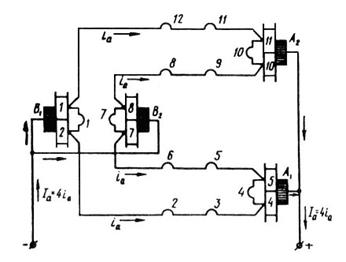


Рисунок 14.5 – Электрическая схема обмотки, изображенной на рисунка 14.3*.*

Из полученной схемы следует, что ЭДС обмотки якоря определяется значением ЭДС одной параллельной ветви, тогда как значение тока обмотки определяется суммой токов всех ветвей обмотки:

*Ia=2a∙ia*  (14.7)

где 2*a* – число параллельных ветвей обмотки якоря;

*ia* – ток одной параллельной ветви, A.

В простой петлевой обмотке число параллельных ветвей равно числу главных полюсов машины: 2*a* = 2*p* *.*

Нетрудно заметить, что число параллельных ветвей в обмотке якоря определяет значение основных параметров машины – тока и напряжения.

**Пример 2.** Шестиполюсная машина постоянного тока имеет на якоре простую петлевую обмотку из 36 секций. Определить ЭДС и силу тока в обмотке якоря машины, если в каждой секции наводится ЭДС 10 В, а сечение провода секции рассчитано на ток не более 15 А.

**Решение**. Число параллельных ветвей в обмотке 2*a* = 2*p* =6, при этом в каждой параллельной ветви *S*п=*S/*(*2a*) = 36/6 = 6 секций. Следовательно, ЭДС обмотки якоря *Ea* *=*6∙10 = 60 В, а допустимый ток машины *Ia*= 6∙15 = 90 А.

Если бы машина при прочих неизменных условиях имела восемь полюсов, то ее ЭДС уменьшилась бы до 40 В, а ток увеличился бы до 120 А.

**Сложная петле­вая обмотка.** При не­обходимости полу­чить петлевую обмотку сбольшим числом параллельных ветвей, как это требуется, на­пример, низковольт­ных машинах посто­янного тока, приме­няют сложную петле­вую обмотку. Такая обмотка представляет собой несколько (обычно две) простых петлевых обмоток, уложенных на одном якоре и присоединен­ных к одному коллектору. Число параллельных ветвей в сложной петлевой обмотке

2*a* = 2*pm* (14.8)

где *т*– число простых петлевых обмо­ток, из которых составлена сложная обмотка (обычно *т = =*2).

Ширина щеток при сложной петлевой обмотке принимается такой, чтобы каждая щетка одновременно перекрывала *т*коллекторных пластин, т. е. столько пластин, сколько простых обмоток в сложной. При этом простые обмотки оказываются присоединенными параллельно друг другу. На рисунке 14.6 показана развернутая схема сложной петлевой обмотки, состоящей из двух простых *(т*= 2): 2 *p* = 4; *Zэ* = 16. Результирующий шаг обмотки по якорю и шаг по коллектору сложной петлевой обмотки принимают равным *у = ук = т.* Первый частичный шаг по якорю определяют по формуле 14.5

**Пример 3.** Четырехполюсная машина имеет сложную петлевую обмотку якоря из 16 секций. Выполнить развернутую схему этой обмотки, приняв *т =*2.

**Решение**. Шаги обмотки:

*y1=Zэ*/(2*p*) = 16/4 = 4 паза; *y=yк=*2 паза

*y2=y1 - y =* 4 - 2=2 паза

Сначала располагаем все секции одной из простых обмоток (секции с нечетными номерами: 1, 3, 5 и т. д.), а концы этих сек­ций присоединением к нечетным пластинам коллектора (рисунок 14.6). Затем располагаем на якоре секции другой петлевой обмот­ки с номерами 2, 4, 6 и т. д. Изображаем на схеме щетки шириной в два коллекторных деления. Число параллельных ветвей обмотки 2*a* = 2*pm* *=*4·2 = 8.

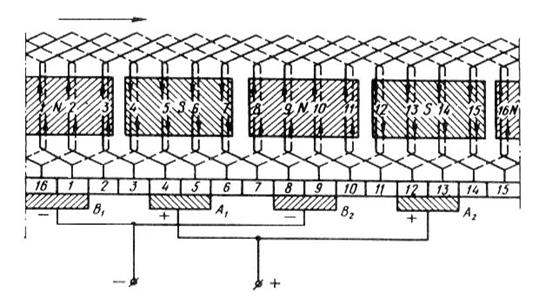


Рисунок 14.6 – Развернутая схема сложной петлевой обмотки

**Контрольные вопросы**

1 В чем принципиальной отличие обмоток якоря от обмоток статора бесколлекторных машин переменного тока?

2 Какими параметрами характеризуется обмотка якоря?

3 Сколько параллельных ветвей имеет обмотка якоря шестиполюсной машины в случаях простой петлевой и простой волновой обмоток?

4 Что такое магнитная несимметрия и каковы ее последствия?

5 Каковы достоинства комбинированной обмотки?

**Содержание отчета**

1 Наименование, номер, тема и цель работы

2 Приведенные в методической разработке задачи (к задаче 1 рисунок 14.3, в; к задаче 3 рисунок 14.6)

3 Ответы на контрольные вопросы

4 Вывод по работе

**Практическая работа № 15**

**Тема: Определение параметров генератора постоянного тока по паспортным данным**

**Цель:** научиться производить расчет основных параметров генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение параметров генератора постоянного тока по паспортным данным. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Изобразите схему генератора постоянного тока параллельного возбуждения и запишите данные для своего варианта (таблица 15.1). При изображении схемы соблюдайте правила вычерчивания схем и элементов.

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

Для расчета следует пользоваться краткими теоретическими сведениями и материалом §28.1, §28.3. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.

При расчете параметров генератора применяйте законы Кирхгофа, Ома, свойства последовательного и параллельного соединения элементов цепи, используя схему включения генератора постоянного тока параллельного возбуждения (рисунок 15.1).

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

В генераторе с параллельным возбуждением обмотка возбуждения присоединена через регулировочный реостат [параллельно](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) 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](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82) возбуждения имеют, как правило, *холостые контакты*, при помощи которых можно осуществить [короткое замыкание](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B7%D0%B0%D0%BC%D1%8B%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) 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 *Е*ост, и по обмотке возбуждения начинает протекать ток. Если обмотка возбуждения включена правильно, так, что её магнитный поток *Ф* направлен «попутно» с магнитным потоком остаточного магнетизма, то суммарный магнитный поток возрастает, увеличивая ЭДС *Е*, магнитный поток Ф и ток возбуждения *I*в. Машина самовозбуждается и начинает устойчиво работать с *I*в = 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 15.1, ЭДС

Для генератора параллельного возбуждения

Номинальный ток на выходе генератора

Ток в обмотке возбуждения

КПД генератора равен отношению мощности, отдаваемой к мощности потребляемой

где Σ*P* - суммарные потери мощности генератора;

*P1* - мощность, передаваемая генератору от привода;

*Р*2 *-* полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

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

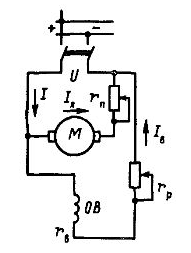


Рисунок 15.1– Схема генератора постоянного тока параллельного возбуждения

**Пример**

Генератор постоянного тока параллельного возбуждения имеет номинальные данные: полезная мощность при номинальном напряжении , частота вращения , сопротивление обмоток в цепи якоря, приведенное к рабочей температуре  падение напряжения в щеточном контакте  сопротивление цепи обмотки возбуждения , коэффициент полезного действия в номинальном режиме Определить: ток генератора ток в цепи якоря ,ток в цепи возбуждения *.* Генератор развивает ЭДС , электромагнитная мощность равна , электромагнитный момент при номинальной нагрузке мощность приводного двигателя равна , Схема генератора дана на рисунке 15.1. Используя данные, приведенные в таблице 15.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

**Решение**

1 Номинальный ток на выходе генератора

2 Ток в обмотке возбуждения

3 Ток в цепи якоря при номинальной нагрузке

4 ЭДС якоря в номинальном режиме

5 Электромагнитная мощность генератора при номинальной нагрузке

6 Электромагнитный момент генератора в режиме номинальной нагрузки

**Задание для индивидуального решения**

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением отдает полезную мощность *Р*2номпри номинальном напряжении *U*ном*.* Сила тока в нагрузке равна *I*ном*,* ток в цепи якоря *I*а,в обмотке возбуждения *I*в. Сопротивление цепи якоря равно *R*a,обмотки возбуждения *R*в*.* Генератор развивает ЭДС *Е.* Электромагнитная мощность равна *Р*эм. Мощность, затрачиваемая на вращение генератора, равна *Р*1.Суммарные потери мощности в генераторе составляют Σ*P* при коэффициенте полезного действия *.* Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения соответственно равны *Р*аи *Р*в*.* Используя данные, приведенные в таблице 15.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 15.1 – Исходные данные к заданию

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | Варианты | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| *Р*2ном, 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*в, А | - | - | 2,9 | - | - | - | - | - | 2 | - |
| *I*а, А | - | - | - | - | 100 | - | 50 | 20,3 | - | - |
| *R*а, Ом | 0,15 | 0,2 | - | - | - | 0,07 | - | 0,25 | - | - |
| *R*в, Ом | 110 | - | - | - | 110 | 18,9 | 215 | - | - | - |
| *Е*, В | - | 440 | 120 | - | 235 | 122,6 | - | - | - | - |
| *Р*эм, кВт | - | - | - | - | - | - | 22 | - | - | - |
| *Р*1, кВт | - | - | 2,55 | 14 | 25,36 | - | - | - | 23,45 | - |
| Σ*Р*, кВт | - | 2,8 | - | - | - | 2,2 | - | 0,55 | 2,8 | - |
| *η*ном, отн.ед. | 0,85 | - | - | - | - | - | 0,88 | 0,78 | - | 0,85 |
| *Р*а, Вт | - | - | - | 825 | - | - | - | - | 500 | 1500 |
| *Р*в, 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 Наименование, номер, тема и цель работы.

2 Схема генератора постоянного тока параллельного возбуждения и пример решения

3 Данные своего варианта и схема генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

4 Решение индивидуального задания с пояснениями.

5 Ответы к решению задачи.

6 Ответы на контрольные вопросы.

7 Вывод по работе

**Практическое занятие №16**

**Тема: Определение параметров двигателя постоянного тока по паспортным данным**

**Цель:** научиться определять расчетным путем основные параметры двигателя постоянного тока

**Ход работы**

Задание содержит задачу на определение параметров двигателя постоянного тока по паспортным данным. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Изобразите схему двигателя постоянного тока смешанного возбуждения и запишите данные для своего варианта (таблица 16.1). При изображении схемы соблюдайте правила вычерчивания схем и элементов.

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Для расчета следует пользоваться краткими теоретическими сведениями и материалом §29.1, §29.6. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.

5 При расчете параметров генератора применяйте законы Кирхгофа, Ома, свойства последовательного и параллельного соединения элементов цепи, используя схему включения двигателя постоянного тока смешанного возбуждения (рисунок 16.1).

6 Ответить на контрольные вопросы.

7 Оформить отчет по практической работе.

**Краткие теоретические сведения**

Двигатели постоянного тока используются в качестве тяговых на электротранспорте, для привода грузоподъёмных механизмов, в аккумуляторном электроинструменте. У них хорошие пусковые характеристики и легко поддаются регулировке частоты вращения.

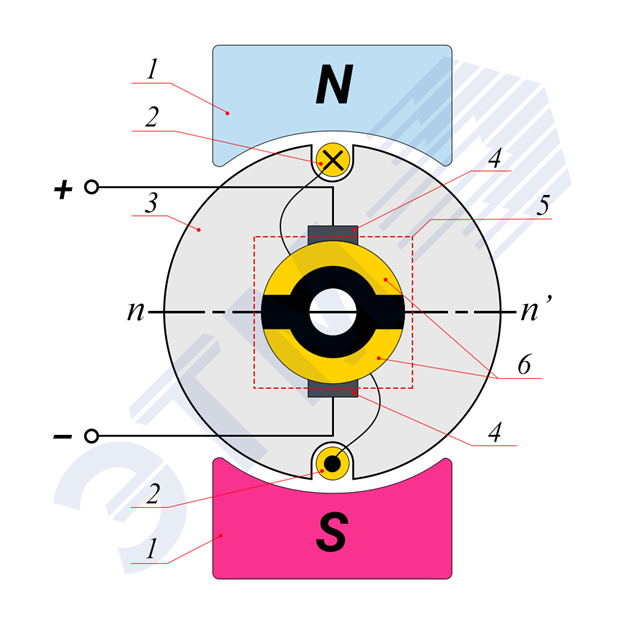
**Принцип работы**

Простейший двигатель постоянного тока (ДПТ) состоит из неподвижной части — статора, и подвижной вращающейся части — ротора. На его статоре расположен постоянный магнит, а на роторе расположена обмотка. Ротор двигателя постоянного тока ещё называют якорем.

На роторе расположен магнитопровод с обмоткой и щёточно-коллекторный узел. Последний состоит, как видно из названия, из коллектора и щёток:

коллектор — это набор контактов, расположенных на круглом роторе, они же называются «ламели».

щётки – это скользящие неподвижные контакты, прижатые к коллектору. Они нужны для подачи тока на вращающийся якорь в двигателе или снятия тока в генераторах.



1 — полюса постоянного магнита; 2 — обмотка якоря, 3 — якорь или ротор, 4 — щетки, 5 – щеточно-коллекторный узел, 6 – ламели на коллекторе.

Рисунок 16.1 - Устройство простейшего двигателя постоянного тока:

Если подвести к щёткам A и B напряжение от источника постоянного тока, например, к А «плюс» и к В «минус», то в обмотке якоря появится ток I, направление которого указано на рисунке ниже. В результате взаимодействия этого тока с магнитным полем постоянного магнита появятся электромагнитные силы Fэм. Эти силы создадут вращающий момент М на якоре, и тот начнет движение против часовой стрелки.

После поворота якоря на 180° направление электромагнитных сил останется прежним, потому что при переходе проводника его обмотки из зоны магнитного полюса одной полярности, в зону действия полюса с другой полярностью изменяется и направление тока.

Если бы коллектора не было, а стояли токосъёмные кольца, как на якорях синхронных машин, то якорь бы не вращался, а примагнитился и замер в одном положении.

Но рассмотренная нами модель максимально упрощена, в реальности такой двигатель не будет устойчиво работать. Когда проводники проходят линию геометрической нейтрали электромагнитные силы Fэм становятся равными 0, в учебниках об этом говорят так: *«магнитная индукция в середине межполюсного пространства равна нулю»*. Если увеличить число проводников в обмотке, и число ламелей, при этом равномерно распределить их по поверхности якоря, то его вращение станет устойчивым и равномерным, что, собственно, мы и видим на практике.



Рисунок 16.2 - Основные элементы якоря настоящего двигателя

Несмотря на то, что эти двигатели называют двигателями постоянного тока, для их работы требуется протекание в якоре переменного тока. Щёточно-коллекторный узел или, как его еще называют, коммутатор выполняет функцию преобразователя постоянного тока в переменный и является незаменимой частью машины переменного тока.

Для решения задачи надо усвоить не только устройство и принцип действия двигателя постоянного тока, но и знать формулы, выражающие взаимосвязь между электрическими величинами, характеризующими данный тип электрической машины.

Необходимо отчетливо представлять связь между напряжением *U* на зажимах машины, ЭДС *Е* и падение напряжение , в обмотке якоря генератора и двигателя.

Для двигателя

В этих формулах

где - сумма сопротивлений всех участков цепи якоря, Ом;

– сопротивление обмотки якоря, Ом;

– сопротивление обмотки добавочных полюсов, Ом;

– сопротивление компенсационной обмотки, Ом;

– сопротивление последовательной обмотки возбуждения, Ом;

– сопротивление переходного щеточного контакта, Ом.

При отсутствии в машине (это зависит от её типа и предложенной задачи) каких-либо из указанных обмоток в формулу, определяющую не входят соответствующие слагаемые.

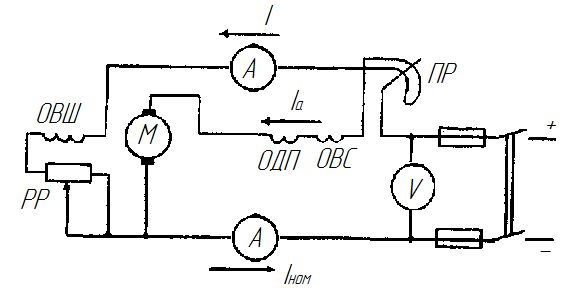
Полезный вращающий момент на валу двигателя определяются по формуле

где - номинальная полезная механическая мощность, Вт;

– номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин.

**Пример**

Двигатель постоянного тока со смешанным возбуждением, работает в номинальном режиме. Двигатель рассчитан на номинальную мощность на валу . Номинальное напряжение, подведенное к двигателю . Частота вращения якоря . Двигатель потребляет из сети ток . Сопротивление обмотки якоря, добавочных полюсов и последовательной обмотки возбуждения Сопротивление параллельной обмотки возбуждения



ПР - пусковой реостат; РР - регулировочный реостат; ОВШ - параллельная (шунтовал) обмотка возбуждения; ОВС - последовательная (сериесная) обмотка возбуждения; ОДП — обмотка добавочных полюсов

Рисунок 16.1 - Схема двигателя постоянного тока смешанного возбуждения

Определить:

*-* потребляемую из сети мощность;

*-* номинальный коэффициент полезного действия двигателя;

*-* полезный вращающий момент;

*-* ток якоря;

*–*противо-ЭДСв обмотке якоря;

*∑Р* — суммарные потери мощности в двигателе;

- электрические потери мощности;

-добавочные потери мощности;

- потери холостого хода

Решение

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети:

2. Номинальный коэффициент полезного действия двигателя:

3. Полезный вращающий момент на валу двигателя

4. Ток параллельной обмотки возбуждения:

5. Ток, протекающий через обмотку якоря, обмотку добавочных полюсов, последовательную обмотку возбуждения:

6. Противо-ЭДСв обмотке якоря

где- потери напряжения в переходном контакте щеток на коллекторе

7. Суммарные потери мощности в двигателе:

8. Электрические потери мощности в двигателе

где  - потери мощности в якоре,

- потери мощности в добавочных полюсах,

- потери мощности в последовательной обмотке возбуждения, Вт;

- потери мощности в переходном контакте щеток на коллекторе, Вт;

*-* потери мощности в параллельной обмотке возбуждения, Вт.

9. Добавочные потери мощности, возникающие в обмотке якоря

10. Потери холостого хода

**Задание** **для****индивидуального решения**

Составить схему двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением, работающего в номинальном режиме и указать назначение каждого элемента схемы. Известны: *Р2ном* - номинальная мощность на валу двигателя; *U ном* - номинальное напряжение, подведенное к двигателю; *ηном*- номинальный коэффициент полезного действия; *n ном* - частота вращения вала двигателя; *Rя* - сопротивление обмотки якоря; *Rдп* - сопротивление обмотки добавочных полюсов; *Rс -* сопротивление последовательной /сериесной/ обмотки возбуждения; *Rщ* - сопротивление параллельной /шунтовой/ обмотки возбуждения.

Определить:

- вращающий момент на валу двигателя;

- мощность, потребляемую двигателем из сети;

*-* ток*,* потребляемый двигателем из сети;

- ток в параллельной обмотке возбуждения;

-ток в обмотке якоря;

— суммарные потери мощности в двигателе;

- электрические потери мощности в обмотке якоря;

*-* электрические потери мощности в обмотке дополнительных полюсов;

- электрические потери мощности в последовательной обмотке возбуждения;

*-* электрические потери мощности в параллельной обмотке возбуждения;

- электрические потери мощности в переходном контакте щеток коллектора;

-добавочные потери мощности;

- потери холостого хода, состоящие из потерь в стали и механических потерь.

Данные для своего варианта взять из таблицы 16.1

Таблица 16.1 - Исходные данные к заданию

| Вариант | , кВт | Uном, В | ηном,% | n ном об/мин, | Rя, Ом | Rдп ,Ом | Rс ,Ом | Rщ,Ом |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 3,00 | 220 | 75,5 | 1000 | 0,8687 | 0,6358 | 0,0561 | 138 |
| 2 | 1,90 | 110 | 71,0 | 750 | 0,3190 | 0,2647 | 0,0982 | 37,5 |
| 3 | 10,50 | 440 | 85,0 | 3000 | 0,5586 | 0,3372 | 0,0223 | 111,0 |
| 4 | 4,00 | 220 | 79,0 | 1500 | 0,5609 | 0,3353 | 0,0513 | 134,0 |
| 5 | 7,00 | 110 | 81,0 | 2200 | 0,0700 | 0,0500 | 0,0268 | 111,0 |
| 6 | 1,60 | 110 | 68,0 | 750 | 0,4687 | 0,3094 | 0,0952 | 35,0 |
| 7 | 1,40 | 110 | 78,5 | 3350 | 0,1960 | 0,1340 | 0,1030 | 111,0 |
| 8 | 5,30 | 220 | 80,0 | 3000 | 0,2355 | 0,1962 | 0,0387 | 96,3 |
| 9 | 3,40 | 110 | 76,0 | 2240 | 0,1030 | 0,1100 | 0,0452 | 33,5 |
| 10 | 2,50 | 220 | 76,0 | 2200 | 0,7819 | 0,6754 | 0,0810 | 156,0 |
| 11 | 2,20 | 220 | 81,0 | 3150 | 0,5145 | 0,5049 | 0,0826 | 295,0 |
| 12 | 1,70 | 110 | 77,0 | 2200 | 0,2873 | 0,2349 | 0,0925 | 81,0 |
| 13 | 1,10 | 220 | 74,0 | 1500 | 2,1540 | 1,5700 | 0,1100 | 295,0 |
| 14 | 1,20 | 220 | 76,5 | 2200 | 0,7892 | 0,3127 | 0,1045 | 359,0 |
| 15 | 0,75 | 110 | 78,5 | 3000 | 0,6281 | 0,3856 | 0,1526 | 192,0 |
| 16 | 3,00 | 220 | 75,5 | 1000 | 0,8687 | 0,6358 | 0,0561 | 138 |
| 17 | 1,90 | 110 | 71,0 | 750 | 0,3190 | 0,2647 | 0,0982 | 37,5 |
| 18 | 10,50 | 440 | 85,0 | 3000 | 0,5586 | 0,3372 | 0,0223 | 111,0 |
| 19 | 4,00 | 220 | 79,0 | 1500 | 0,5609 | 0,3353 | 0,0513 | 134,0 |
| 20 | 7,00 | 110 | 81,0 | 2200 | 0,0700 | 0,0500 | 0,0268 | 111,0 |

**Содержание отчета**

Наименование, номер, тема и цель работы

Пример решения задачи

Краткое условие задачи

Схема двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением

Решение задач с обозначением цели каждого этапа

Вывод по работе

**Практическая работа №17**

**Тема:** Расчет потерь и построения графика КПД машины постоянного тока

**Цель:** научиться рассчитывать потери мощности и строить график КПД двигателя постоянного тока

**Ход работы**

Задание содержит задачу на расчет потерь и построения графика КПД машины постоянного тока. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

1 Записать в отчете наименование, номер, тему и цель занятия.

2 Записать исходные условия задачи

3 Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и рассмотрите решение примера, подобного заданию практической работы.

4 Ответить на контрольные вопросы.

5 Оформить отчет по практической работе.

**Пример**

Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения работает от сети напряжением Uc=220В. Технические данные двигателя: номинальный ток нагрузки Iно,= 65 А; номинальная частота вращения *п*ном=770 об/мин; ток холостого хода I0=6,5А; сопротивление цепи якоря, приведенное к рабочей температуре, Σr=0,28 Ом; ток возбуждения Iв =1,6 А (остается неизменным во всем диапазоне нагрузки двигателя); в двигателе применены угольно-графитные щетки (см. табл) с переходным падением напряжения на пару щеток ΔUщ=2В.

Требуется рассчитать данные и построить графики зависимости КПД η, частоты вращения *п*, момента на валу М2 от мощности на валу двигателя Р2.

**Решение:**

Постоянные потери

где ток якоря в режиме холостого хода:

Чтобы получить данные, необходимые для построения графика η=*f*(Р2), зададимся рядом значений коэффициента нагрузки и для каждого из них определим КПД двигателя.

Ток в цепи якоря в режиме номинальной нагрузки

Минимальное значение коэффициента нагрузки, соответствующее холостому ходу

Принимаем следующие значения коэффициента нагрузки: β=0,08; 0,25; 0,5; 1,0; 1,2.

Все расчетные формулы и результаты расчетов сведем в таблицу 17.2.

Таблица 17.2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Значения параметра при разных значениях β | | | | | |
| 0,08 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,0 | 1,2 |
| Ia = Iа.ном · β, А | 4,9 | 15,85 | 31,7 | 47,55 | 63,4 | 76,1 |
| I= Iа+ Iв , А | 6,5 | 17,45 | 33,3 | 49,15 | 65 | 77,7 |
| Р1= I·Uc, Вт | 1430 | 3839 | 7326 | 10813 | 14300 | 17094 |
| Рпост, Вт | 1399 | 1399 | 1399 | 1399 | 1399 | 1399 |
| Рэа= I2ао·Σr , Вт | 6,7 | 10,34 | 281,16 | 633,1 | 1125 | 1621 |
| Рдоб=0,01· Р1, Вт | 14,3 | 38,39 | 73,26 | 108,13 | 143 | 170,9 |
| Рщ= Iа·ΣUщ, Вт | 9,8 | 31,7 | 63,4 | 95,1 | 126,8 | 152,2 |
| Рпер=Рэа+Рдоб+Рщ, Вт | 33,5 | 140,4 | 417,8 | 836,3 | 1395 | 1944 |
| ΣР=Рпер+Рпост, Вт | 1430 | 1539 | 1817 | 2235 | 2794 | 3343 |
| Р2=Р1- ΣР, Вт | 0 | 2300 | 5509 | 8578 | 11506 | 13751 |
| η=(Р2/Р1)∙100% | 0 | 59,9 | 75,2 | 79,3 | 80,5 | 80,4 |

По данным таблицы построим графики Рпост=*f*(Р2); Рпер=*f*(Р2); η=*f*(Р2).

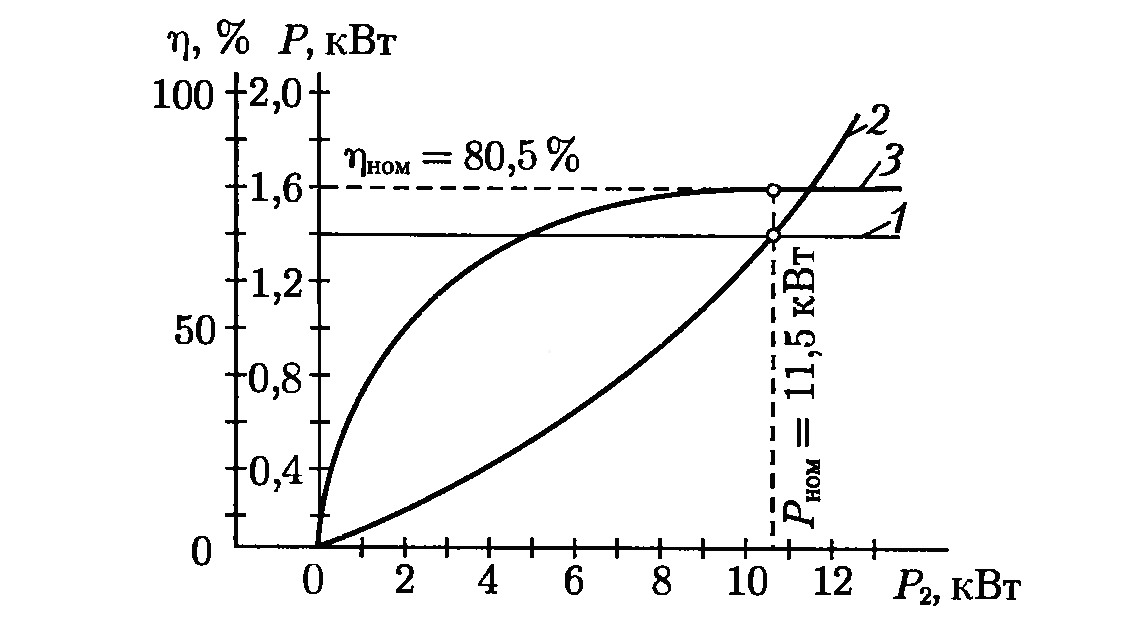


Рисунок 17.1 - Графики постоянных потерь (1), переменных (2) и КПД (3) двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Точка пересечения графиков постоянных потерь (график 1) и переменных потерь (график 2) соответствует равенству потерь, а, следовательно, эта точка совпадает с максимальным значением КПД ηmax=80,5%. Указанная точка совпадает с номинальной нагрузкой двигателя (β=1) и, следовательно ηном= ηmax=80,5%.

**Задание.**

Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения работает от сети напряжением Uc=220В. Технические данные двигателя (таблица 17.2): номинальный ток нагрузки Iном, номинальная частота вращения *п*ном, ток холостого хода I0, сопротивление цепи якоря, приведенное к рабочей температуре, Σr, ток возбуждения Iв (остается неизменным во всем диапазоне нагрузки двигателя); в двигателе применены угольно-графитные щетки (см. табл) с переходным падением напряжения на пару щеток ΔUщ=2В.

Требуется рассчитать данные и построить графики зависимости КПД η, частоты вращения *п*, момента на валу М2 от мощности на валу двигателя Р2.

Таблица 17.2 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Варианты | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Iном, А | 86 | 116 | 192 | 44 | 33 |
| nном, об/мин | 690 | 650 | 575 | 840 | 1100 |
| I0, А | 9,0 | 9,8 | 13,4 | 6,6 | 5,8 |
| Σr, Ом | 0,17 | 0,11 | 0,055 | 0,42 | 0,57 |
| Iв, А | 2,2 | 2,7 | 4,0 | 1,5 | 1,18 |

**Методические указания к решению задачи**

* используя данные своего варианта, определите по формуле 17.2 ток якоря в режиме холостого хода
* определите по формуле 17.1 постоянные потери.
* по формуле 17.3 определите ток в цепи якоря в режиме номинальной нагрузки
* по формуле 17.4 рассчитайте минимальное значение коэффициента нагрузки, соответствующее холостому ходу.
* принимая следующие значения коэффициента нагрузки: ; 0,25; 0,5; 1,0; 1,2 заполнить таблицу 17.3

Таблица 17.3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Значения параметра при разных значениях β | | | | | |
|  | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,0 | 1,2 |
| Ia = Iа.ном · β, А |  |  |  |  |  |  |
| I= Iа+ Iв , А |  |  |  |  |  |  |
| Р1= I·Uc, Вт |  |  |  |  |  |  |
| Рпост, Вт |  |  |  |  |  |  |
| Рэа= I2ао·Σr , Вт |  |  |  |  |  |  |
| Рдоб=0,01· Р1, Вт |  |  |  |  |  |  |
| Рщ= Iа·ΣUщ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| Рпер=Рэа+Рдоб+Рщ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΣР=Рпер+Рпост, Вт |  |  |  |  |  |  |
| Р2=Р1- ΣР, Вт |  |  |  |  |  |  |
| η=(Р2/Р1)∙100% |  |  |  |  |  |  |

**Содержание отчета**

1. Наименование, номер, тема и цель работы.
2. Решение задачи с пояснениями.
3. Заполненная таблица 17.3
4. По данным таблицы построенные графики Рпост=*f*(Р2); Рпер=*f*(Р2); η=*f*(Р2).
5. Вывод по работе

**3 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОТЧЕТНЫХ РАБОТ**

Форма зачета по лабораторным работам – собеседование.

Лабораторная работа считается выполненной и принимается к зачету по следующим критериям:

**Оценка «отлично»** выставляется, если студент обстоятельно, с достаточной полнотой излагает программный материал, дает правильные формулировки, точные определения ключевых понятий, обнаруживает полное понимание материала и может обосновать свой ответ, привести примеры, демонстрирует самостоятельность мышления, правильно отвечает на дополнительные вопросы.

**Оценка «хорошо»** выставляется, если студент дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает единичные ошибки, которые сам же исправляет после замечаний преподавателя.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется, если студент демонстрирует знание и понимание основных положений программного материала, но при этом допускает неточности в формулировке правил или определений, излагает материал недостаточно связно и последовательно.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если студент обнаруживает незнание большей части программного материала, допускает ошибки в формулировке правил и определений, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал, сопровождая изложение частыми запинками, перерывами.

**4 РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ**

Основные источники:

1. Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам: учебное пособие. / М.М. Кацман. – М.: Издательский центр «Академия», 2019. - 480с.
2. Кацман М.М. Электрические машины: учебник. / М.М. Кацман. – М.: Издательский центр «Академия», 2021. - 469с.

Дополнительные источники:

1. ГОСТ 16110-82, СТ СЭВ 1103-78. Трансформаторы силовые. Термины и определения.
2. ГОСТ 17274.1-85 СТ СЭВ 4438-83. Двигатели асинхронные. Общие технические условия.
3. ГОСТ 16264.4-85. Двигатели постоянного тока бесконтактные. Общие технические условия.
4. ГОСТ 2.710-81. Обозначения буквенно – цифровые в электрических схемах

Интернет-ресурсы

1. Ресурс <http://elektroinf.narod.ru>. - библиотека электроэнергетика
2. Ресурс [https://www.eleczon.ru/](https://infourok.ru/go.html?href=https%3A%2F%2Fwww.eleczon.ru%2F) - учебно-образовательный сайт.
3. Ресурс [http://www.km.ru](https://infourok.ru/go.html?href=http%3A%2F%2Fwww.km.ru%2F) – мультипортал.
4. Ресурс [http://claw.ru/](https://infourok.ru/go.html?href=http%3A%2F%2Fclaw.ru%2F) - образовательный портал.
5. Ресурс [http://ru.wikipedia.org](https://infourok.ru/go.html?href=http%3A%2F%2Fru.wikipedia.org%2F) – свободная энциклопедия.
6. Ресурс http://www.elektroshema.ru/ Электричество и схемы
7. Ресурс <http://city-energi.ru/about.html> Все о силовом электрооборудовании - описание, чертежи, руководства по эксплуатации
8. Ресурс [www.ElectricalSchool.info](http://www.ElectricalSchool.info) Школа для электрика. Статьи, советы, полезная информация по устройству, наладке, эксплуатации и ремонту электрооборудования

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Правила выполнения практических работ**

1) Проведение практической работы.

Записать наименование, тему и цель работы. Уяснив условие задачи, студенты записывают его в отчет и выполняют решение задач.

Изучая теоретическое обоснование, студент должен иметь в виду, что основной целью изучения теории является умение применить ее на практике для решения практических задач.

3) Составление отчета и представление его преподавателю.

После выполнения работы студент должен представить отчет о проделанной работе с полученными результатами и выводами и устно ее защитить. Содержание отчета должно включать в себя: цель работы, порядок выполнения, электрические схемы (если они есть), основные расчетные соотношения, выводы по работе. Все таблицы, графики и диаграммы должны иметь заголовки, поясняющие зависимость, которую они характеризуют. Вычерчивание схем, таблиц, графиков необходимо выполнять чертежным инструментом (линейка, циркуль, лекало и т.д.) карандашом либо чернилами. Элементы схем должны быть вычерчены тщательно с использованием обозначений по ГОСТ.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие и защитившие каждую практическую работу. При отсутствии студента по неуважительной причины студент выполняет работу самостоятельно, в свое личное время и защищает на консультации по указанию преподавателя.