

Министерство образования и науки Российской Федерации

Вологодский государственный университет

Кафедра электротехники

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ:
ТРАНСФОРМАТОРЫ, МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА,
АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ**

*Методическое пособие для изучения дисциплины и выполнения
контрольных заданий*

Факультет заочного и дистанционного обучения

Специальность 151001.65 – технология машиностроения

Направление бакалавриата 151900.62 – конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств

Профили: технология машиностроения,
металлорежущие станки и комплексы

Вологда

2014

Теоретические основы электротехники: трансформаторы, машины постоянного тока, асинхронные машины: методическое пособие для изучения дисциплины и выполнения контрольных заданий. – Вологда: ВоГУ, 2014 – 44 с.

Методическое пособие содержит краткие теоретические сведения по разделам теоретической электротехники: трансформаторы, электрические машины постоянного тока, асинхронные двигатели, варианты заданий для выполнения контрольных заданий и примеры их выполнения.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составитель: Л.Е. Старкова, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: А.Е. Немировский д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой
электродоборудования

ВВЕДЕНИЕ

Методическое пособие предназначено для студентов заочной формы обучения специальности 151001.65 – технология машиностроения и направления бакалавриата 151900.62 – конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (профили: технология машиностроения, металлорежущие станки и комплексы).

В пособии приведены теоретические сведения по следующим разделам электротехники: трансформаторы, машины постоянного тока, асинхронные машины. Рассмотрены расчеты характеристик указанного электрооборудования, приведены примеры расчетов.

Пособие предназначено для самостоятельной работы при изучении курса электротехники и выполнения контрольных заданий.

Цель заданий заключается в развитии у студентов навыков по расчету характеристик трансформаторов и электродвигателей, что способствует более глубокому пониманию теоретического материала и применению его на практике.

1. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ЗАДАНИЙ

Перед выполнением заданий следует изучить необходимый материал, приводимый в данном пособии и рекомендуемой литературе.

При оформлении каждой задачи следует привести условие задачи, исходную схему и, если требуется, схему замещения с принятыми буквенными обозначениями и численными значениями величин. Все рисунки и схемы должны быть выполнены аккуратно и в соответствии с принятыми условными графическими обозначениями, желательно с использованием компьютера. Графики должны быть показаны в соответствии с принятым масштабом.

При оформлении работы необходимо привести все расчетные формулы. Каждый этап решения должен сопровождаться пояснениями и алгебраическими вычислениями, из которых виден полученный конечный результат.

Числовые значения расчетных величин должны иметь единицы измерений в системе СИ.

Пояснительная записка оформляется на листах белой бумаги, формата А4 (210х297мм). Размеры полей следующие: левое – 30 мм, правое – не менее 10 мм, верхнее – не менее 15мм, нижнее – не менее 20 мм. Рамка на страницах не выполняется.

Текст пояснительной записки, оформленной на компьютере, должен иметь размер шрифта 14, расстояние между строками – 1,5 интервала.

При оформлении пояснительной записки вручную размер текста должен быть не менее, чем в компьютерном варианте.

Контрольная работа должна быть пронумерована, сшита и иметь титульный лист в соответствии с образцом, приведенном в приложении.

Студент должен выполнить свой вариант задания, который определяется по двум последним цифрам номера зачетной книжки студента, если он не превышает 50, и по последней цифре номера зачетной книжки, если две последние цифры более 50.

2. ПРОГРАММА УЧЕБНОГО КУРСА ПО РАЗДЕЛАМ:

трансформаторы, машины постоянного тока, асинхронные машины.

1. Трансформаторы

- 1.1. Назначение и принцип действия однофазного трансформатора
- 1.2. Режим холостого хода трансформатора
- 1.3. Режим короткого замыкания трансформатора
- 1.4. Нагрузочный режим трансформатора
- 1.5. Схема замещения трансформатора
- 1.6. КПД и внешняя характеристика трансформатора
- 1.7. Трехфазный трансформатор

2. Машина постоянного тока

- 2.1. Устройство машины постоянного тока
- 2.2. Принцип действия машины постоянного тока
- 2.3. Способы возбуждения машины постоянного тока
- 2.4. Пуск, реверс машины постоянного тока
- 2.5. Способы регулирования частоты вращения машины постоянного тока
- 2.6. Потери машины постоянного тока, КПД.
- 2.7. Механические характеристики машины постоянного тока с независимым, параллельным, последовательным и смешанным возбуждением

3. Асинхронная машина

- 3.1. Устройство трехфазной асинхронной машины
- 3.2. Принцип действия трехфазной асинхронной машины
- 3.3. Вращающий момент и механическая характеристика асинхронного двигателя
- 3.4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
- 3.5. Пуск асинхронного двигателя
- 3.6. Способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей

Список литературы для изучения курса

1. Касаткин, А.С. Электротехника: учеб. для неэлектр. спец. вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. - 12 - е изд., стер. – М.: Academia, 2008.-538 с.
2. Иванов, И.И. Электротехника: учебник для неэлектротехн. направлений вузов/ И.И.Иванов, Г.И. Соловьев, В.С. Равдоник. - Изд. 4-е.- СПб.: Лань, 2006. - 495 с.
3. Рекурс, Г.Г. Основы электротехники и электроники в задачах с решениями: учеб. пособие/ Г.Г. Рекус.- М.: Высш. шк., 2005.- 343 с.
4. Кацман, М.М. Электрические машины: учебник по специальности «Электротехника»/ М.М. Кацман. – 5-е изд. перераб. и доп.- М.: Academia, 2003.- 496 с.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и конструктивное исполнение трансформатора.
2. Поясните принцип работы трансформатора.
3. Может ли работать трансформатор в цепи постоянного тока?
4. Какие испытательные режимы существуют для трансформаторов?
5. Как проводится испытательный режим холостого хода?
6. Как проводится испытательный режим короткого замыкания?
7. На что расходуется активная мощность, потребляемая трансформатором в режимах холостого хода и короткого замыкания?
8. Что понимается под коэффициентом трансформации трансформатора?
9. Как рассчитать потери активной мощности в трансформаторе?
10. Как определить КПД трансформатора?
11. Что понимается под нагрузочной характеристикой трансформатора?
12. Что представляет собой схема замещения трансформатора?
13. Что представляет собой трехфазный трансформатор?
14. Поясните конструкцию коллекторной машины постоянного тока.
15. Поясните принцип действия коллекторной машины постоянного тока.
16. Какие способы возбуждения применяются в машинах постоянного тока?
17. Как осуществляют пуск коллекторной машины постоянного тока?
18. Как осуществить реверс машины постоянного тока?
19. Как определить момент на валу двигателя, ток в рабочем режиме и режиме пуска?

20. Укажите способы регулирования частоты вращения машины постоянного тока.

21. Как устроен трехфазный асинхронный двигатель?

22. Поясните принцип действия асинхронного двигателя.

23. Что понимается под скольжением асинхронной машины?

24. Каков диапазон скольжения у асинхронного двигателя?

25. Как осуществляется пуск двигателя с фазным ротором и короткозамкнутым ротором?

26. Что понимается под механической характеристикой асинхронного двигателя?

27. Что представляют собой рабочие характеристики двигателя?

28. Какие виды потерь имеют место в асинхронном двигателе?

29. Как рассчитать КПД асинхронного двигателя?

30. В чем заключается принцип саморегуляции асинхронного двигателя?

31. Укажите рабочую область механической характеристики двигателя.

32. Какой физический смысл несет критическое скольжение двигателя?

3. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две (или более) индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством явления электромагнитной индукции переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Обмотки трансформатора располагаются на сердечнике, собранном из листов электротехнической стали и изолированных друг от друга лаком. Такой сердечник имеет пониженные потери от вихревых токов.

Обмотку трансформатора, присоединенную к питающей сети (источнику питания), называют первичной, а обмотку, к которой присоединяется нагрузка – вторичной. Все величины, относящиеся к первичной обмотке обозначают индексом 1, а относящиеся ко вторичной обмотке – индексом 2.

Различают однофазные и трехфазные трансформаторы. У однофазного трансформатора имеется одна первичная и одна вторичная обмотки. У трехфазного трансформатора три однофазные первичные обмотки и три однофазные вторичные обмотки соединяются в схемы треугольник (Δ) или звезда (Y).

Рассмотрим принцип работы трансформатора на основе однофазного трансформатора, принципиальная конструкция которого показана на рис.1.

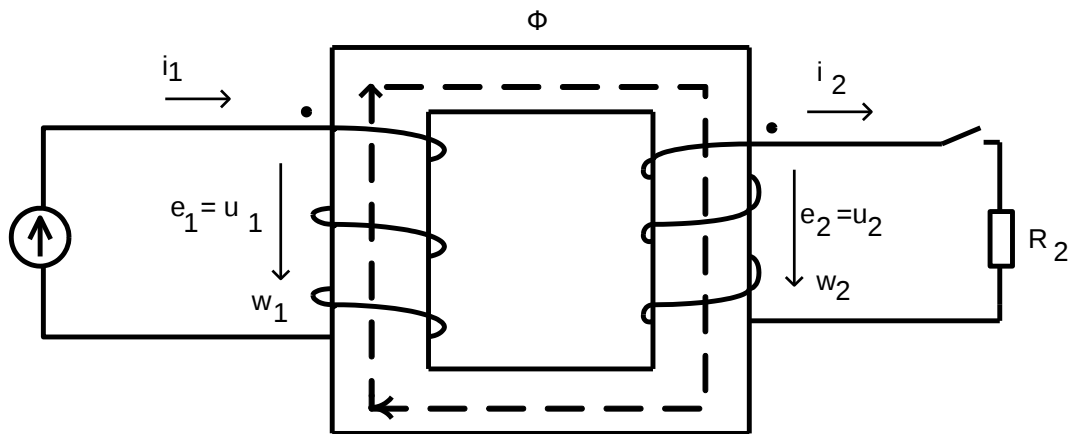


Рис. 1. Принципиальная конструкция однофазного трансформатора:

● - начало намотки обмоток

Если цепь вторичной обмотки трансформатора разомкнута, то ток будет протекать только в первичной обмотке, подключенной к источнику питания. Этот ток i_1 создает магнитодвижущую силу (МДС) $i_1 w_1$, которая возбуждает в магнитопроводе магнитный поток, положительное направление которого определяется по правилу буравчика. Этот магнитный поток индуцирует в первичной обмотке ЭДС самоиндукции e_{L1} и во вторичной обмотке ЭДС взаимной индукции e_{M2} . При замыкании цепи вторичной обмотки под действием ЭДС взаимной индукции e_{M2} в приемнике с сопротивлением нагрузки R_2 возникает ток i_2 . При встречном включении первичной и вторичной обмоток магнитодвижущая сила $i_2 w_2$ возбуждает в магнитопроводе магнитный поток, направленный встречно магнитному потоку от действия магнитодвижущей силы $i_1 w_1$. Суммарная МДС равна $i_1 w_1 - i_2 w_2$. Эта МДС возбуждает в магнитопроводе общий магнитный поток Φ (в трансформаторе существует один магнитный поток, разделение на поток, созданный первичной и вторичной обмотками условно и необходимо для пояснения работы трансформатора), который создает ЭДС первичной e_1 и ЭДС вторичной обмоток e_2

$$\dot{I}_1 = -w_1 d\hat{\Phi}/dt ;$$

$$\dot{I}_2 = -w_2 d\hat{\Phi}/dt .$$

Если учесть, что в режиме холостого хода (без нагрузки) трансформатора потоки рассеяния и падения напряжения в обмотках очень малы, то можно считать, что напряжения на обмотках равны соответствующим ЭДС $U_1 = E_1$ и $U_2 = E_2$.

Отношение ЭДС первичной обмотки к ЭДС вторичной обмотки называют коэффициентом трансформации трансформатора K_T . Т.к. ЭДС обмоток определяют по формулам

$$\begin{aligned}\dot{L}_1 &= 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \dot{O}; \\ \dot{L}_2 &= 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \dot{O},\end{aligned}$$

то коэффициент трансформации трансформатора можно определить как отношение числа витков обмоток

$$E_{\dot{N}} = \dot{L}_1 / \dot{L}_2 = U_1 / U_2 = w_1 / w_2.$$

Для трехфазного трансформатора коэффициент трансформации зависит от схемы соединения обмоток:

$E_{\dot{N}} = \dot{L}_1 / \dot{L}_2 = U_1 / U_2 = w_1 / w_2$ - при соединении «звезда-звезда» (Y/Y);

$E_{\dot{N}} = \dot{L}_1 / \dot{L}_2 = U_1 / U_2 = w_1 / w_2$ - при соединении «треугольник-треугольник» (Δ/Δ);

$E_{\dot{N}} = \dot{L}_1 / \dot{L}_2 = U_1 / U_2 = \sqrt{3} w_1 / w_2$ - при соединении «звезда-треугольник» (Y/ Δ);

$E_{\dot{N}} = \dot{L}_1 / \dot{L}_2 = U_1 / U_2 = w_1 / \sqrt{3} w_2$ - при соединении «треугольник- звезда» (Δ/Y).

Полная мощность однофазного трансформатора определяется по формуле

$$S = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2.$$

Полная мощность трехфазного трансформатора трансформатора определяется по формуле

$$S = 3 \cdot U_{1\dot{O}} \cdot I_{1\dot{O}} = 3 \cdot U_{2\dot{O}} \cdot I_{2\dot{O}} = \sqrt{3} \cdot I_{1\dot{E}} \cdot U_{1\dot{E}} = \sqrt{3} \cdot I_{2\dot{E}} \cdot U_{2\dot{E}},$$

т.к. в схеме «звезда»

$$I_{\dot{E}} = I_{\dot{O}}; U_{\dot{E}} = \sqrt{3} \cdot U_{\dot{O}},$$

в схеме «треугольник»

$$I_{\dot{L}} = \sqrt{3} I_{\dot{O}}; U_{\dot{L}} = U_{\dot{O}}.$$

Трансформаторы подвергаются испытаниям в режимах холостого хода и короткого замыкания.

Режим холостого хода проводят при разомкнутой вторичной обмотки (или с включенным вольтметром, обладающим весьма большим сопротивлением). В этом режиме измеряют напряжение первичной обмотки U_1 , ток I_0 , потребляемую мощность P_0 и напряжение вторичной обмотки U_2 . Опыт холостого хода проводят при номинальном напряжении первичной обмотки. По данным опыта можно рассчитать:

- коэффициент трансформации

$$E_{\tilde{N}} = \dot{L}_1 / \dot{L}_2 = U_1 / U_2 = w_1 / w_2 ;$$

- процентное значение тока холостого хода

$$I_{0(\%)} = \frac{I_0}{I_H} 100\% ;$$

- активное сопротивление цепи намагничивания

$$R_{\mu} = \frac{P_0}{m \cdot I_0^2} ,$$

где m- число фаз трансформатора;

- полное сопротивление цепи намагничивания

$$Z_{\mu} = \frac{U_1}{I_0} ;$$

- индуктивное сопротивление цепи намагничивания

$$X_{\mu} = \sqrt{Z_{\mu}^2 - R_{\mu}^2} ;$$

- коэффициент мощности в режиме холостого хода

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{m \cdot U_{1H} \cdot I_0} .$$

Испытательный режим короткого замыкания проводится при замкнутой накоротко вторичной обмотки. Опыт короткого замыкания всегда проводится при пониженном напряжении первичной обмотки, причем подводимое к обмотке напряжение подбирается таким образом, чтобы ток обмоток короткозамкнутого трансформатора был равен номинальному.

При проведении опыта короткого замыкания измеряют напряжение U_K , ток I_K и мощность P_K первичной обмотки . По этим данным можно определить:

- напряжение короткого замыкания в %

$$U_{K\%} = \frac{U_K}{U_H} 100 ;$$

- активное сопротивление короткого замыкания

$$R_K = \frac{P_K}{m \cdot I_{1H}^2} ;$$

- активные сопротивления первичной и приведенной вторичной обмоток приблизительно равны половине сопротивления короткого замыкания

$$R_1 = R_2^I = \frac{R_K}{2};$$

- полное сопротивление короткого замыкания

$$Z_E = \frac{U_K \% \cdot U_{1H}}{100 \cdot I_{1H}};$$

- индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2};$$

- индуктивные сопротивления первичной и приведенной вторичной обмоток приблизительно равны половине индуктивного сопротивления короткого замыкания

$$\ddot{O}_1 = \ddot{O}_2^I = \frac{\ddot{O}_K}{2}.$$

КПД трансформатора можно определить как отношение активной мощности на выходе (на вторичной обмотке трансформатора) к активной мощности на входе (на первичной обмотке)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P},$$

где ΔP – потери мощности в трансформаторе.

Чаще всего КПД определяют с учетом экспериментальных данных режима холостого хода и короткого замыкания

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_K},$$

где $\beta = I_2 / I_{2H}$ - коэффициент нагрузки трансформатора, определяемый как отношение тока во вторичной обмотке к номинальному току вторичной обмотки;

$S_H = U_{1H} \cdot I_{1H}$ - полная мощность трансформатора при номинальной нагрузке;
 $\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности вторичной обмотки.

Максимальный КПД соответствует следующему значению коэффициента нагрузки $\beta = \sqrt{P_0 / P_R}$.

Процентное изменение напряжения на вторичной обмотке определяется по формуле

$$\Delta U_2 = \beta(U_R \cdot \cos \varphi_2 + U_P \cdot \sin \varphi_2),$$

где $U_A = \frac{R_K \cdot I_{1H}}{U_{1H}} \cdot 100\%$ - активная составляющая напряжения короткого замыкания;

$U_D = \frac{\dot{O}_K \cdot I_{1H}}{U_{1H}} \cdot 100\%$; - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания.

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора определяется по формуле

$$U_2 = (1 - \Delta U_2 \% / 100) \cdot U_{2H}.$$

Зависимость $U_2 = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = \text{const}$ называется внешней характеристикой трансформатора.

Пример 1

Для трансформатора типа ТМ-630/10, используя паспортные данные: $S_H = 630 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $U_{1H} = 10 \text{ кВ}$; $U_{2H} = 0,4 \text{ кВ}$; $U_K = 5,5 \%$; $P_K = 2600 \text{ Вт}$; $P_0 = 1310 \text{ Вт}$,

$I_0 = 2 \%$, схема соединения обмоток Y/Y_H , рассчитать:

- 1) сопротивления обмоток трансформатора R_1, R_2, X_1, X_2 ;
- 2) определить сопротивления ветви намагничивания трансформатора Z_μ, R_μ, X_μ ;
- 3) угол магнитных потерь δ ;
- 4) U_2 при различных коэффициентах нагрузки β и $\cos \varphi_2 = 0,8$ и построить внешнюю характеристику $U_2 = f(\beta)$;
- 5) КПД трансформатора для $\cos \varphi_2 = 0,7$ и построить зависимость $\eta = f(\beta)$;
- 6) показать Т-образную схему замещения трансформатора с указанием расчетных параметров.

Решение

1. Определим номинальный фазный ток первичной обмотки

$$I_{1i} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H}} = \frac{630000}{1,73 \cdot 10000} = 36,42 \text{ А}.$$

2. Ток холостого хода трансформатора в амперах определяем по паспортному значению тока $I_0 = 2\%$

$$I_0 = \frac{I_{0,\%}}{100} I_{1H} = 0,73 \text{ А.}$$

Значение угла сдвига между током и напряжением в режиме холостого хода определим через $\cos \varphi_0$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot I_0} = \frac{1310}{1,73 \cdot 10000 \cdot 0,73} = 0,103; \varphi_0 = 84,2^\circ.$$

3. Угол магнитных потерь составит

$$\delta = 90^\circ - \varphi_0 = 90 - 84,2 = 5,8^\circ.$$

4. Определим сопротивления обмоток трансформатора по значениям напряжения и тока, измеренных в режиме короткого замыкания и представленных в паспортных данных трансформатора

$$Z_K = \frac{U_K \% \cdot U_{1H}}{100 \cdot I_{1H}} = \frac{5,5 \cdot 10000}{100 \cdot 36,2} = 15,2 \text{ Ом}.$$

$$R_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_{1H}^2} = \frac{2600}{3 \cdot 36,2^2} = 0,66 \text{ Ом}.$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{15,2^2 - 0,66^2} = 15,18 \text{ Ом}.$$

5. Определим сопротивления первичной обмотки

$$R_1 = R_2^I = \frac{R_K}{2} = \frac{0,66}{2} = 0,33 \text{ Ом}.$$

$$X_1 = X_2^I = \frac{X_K}{2} = \frac{15,18}{2} = 7,59 \text{ Ом}.$$

6. Для определения сопротивлений вторичной обмотки необходимо рассчитать коэффициент трансформации трансформатора K_T .

Для схемы соединения обмоток Y/Y_H

$$E_N = \frac{U_{1H}}{U_{2I}} = \frac{10000}{400} = 25.$$

Сопротивления вторичной обмотки составят:

$$R_2 = \frac{R_2^I}{K_N^2} = \frac{0,33}{25^2} = 0,00053 \text{ Ом}.$$

$$\ddot{O}_2 = \frac{\ddot{O}_2^I}{K_N^2} = \frac{7,59}{25^2} = 0,012 \hat{\text{ѳ}}.$$

7. Сопротивления магнитной цепи определим по току и напряжению режима холостого хода (I_0 , U_{1H})

$$Z_\mu = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = \frac{10000}{1,73 \cdot 0,73} = 7918,3 \hat{\text{ѳ}} .;$$

$$R_\mu = \frac{P_0}{3 \cdot I_0^2} = \frac{1310}{3 \cdot 0,73^2} = 819,42 \hat{\text{ѳ}} .$$

$$X_\mu = \sqrt{Z_\mu^2 - R_\mu^2} = \sqrt{7918,2^2 - 819,42^2} = 7875,79 \hat{\text{ѳ}} .$$

8. Рассчитаем напряжение на вторичной обмотке трансформатора при условии, что $\cos\varphi=0,8$. Примем коэффициенты нагрузки трансформатора равными: 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5;0,6;0,7;0,8;0,9; 1.

Процентное изменение напряжения на вторичной обмотке

$$\Delta U_2 = \beta(U_R \cdot \cos\varphi_2 + U_P \cdot \sin\varphi_2),$$

где

$$U_A = \frac{R_K \cdot I_{1H}}{U_{1H}} \cdot 100\% = \frac{0,66 \cdot 36,2}{10000} 100\% = 0,236\%;$$

$$U_D = \frac{\ddot{O}_K \cdot I_{1H}}{U_{1H}} \cdot 100\% = \frac{15,18 \cdot 36,2}{10000} 100\% = 5,495\%;$$

$$\Delta U_2 = \beta(U_R \cdot \cos\varphi_2 + U_P \cdot \sin\varphi_2) = 0,1 \cdot (0,236 \cdot 0,8 + 5,495 \cdot 0,6) = 0,349\%.$$

Напряжение на вторичной обмотке составит

$$U_2 = (1 - \Delta U_2 \%/100) \cdot U_{2H} = (1 - 0,349/100) \cdot 400 = 398,6 \hat{A}.$$

9. Расчетные значения U_2 приведем в табл.1.

Таблица 1

Расчетные значения напряжения на вторичной обмотке

β	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
U_2 , %	0,349	0,699	1,049	1,399	1,748	2,098	2,447	2,797	3,147	3,496
U_2 , В	398,6	397,2	395,81	394,41	393,01	391,61	390,21	388,81	387,41	386,02

Зависимость $U_2 = f(\beta)$ показана на рис. 2.

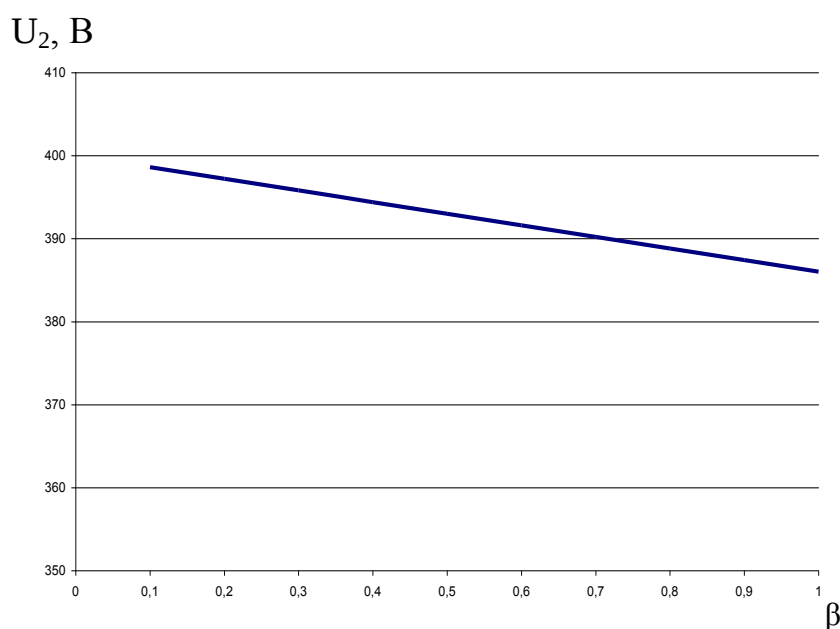


Рис. 2. Внешняя характеристика трансформатора

10. Расчет КПД трансформатора выполняется по формуле

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 \cdot P_K} = \frac{0,1 \cdot 630 \cdot 10^3 \cdot 0,7}{0,1 \cdot 630 \cdot 10^3 \cdot 0,7 + 1310 + 0,1^2 \cdot 2600} = 0,971.$$

Для других значений коэффициентов нагрузки расчеты приведены в табл. 2

Таблица 2

Расчетные значения КПД трансформатора

β	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
η	0,971	0,984	0,988	0,990	0,991	0,992	0,992	0,992	0,991	0,991

Зависимость $\eta = f(\beta)$ приведена на рис. 3

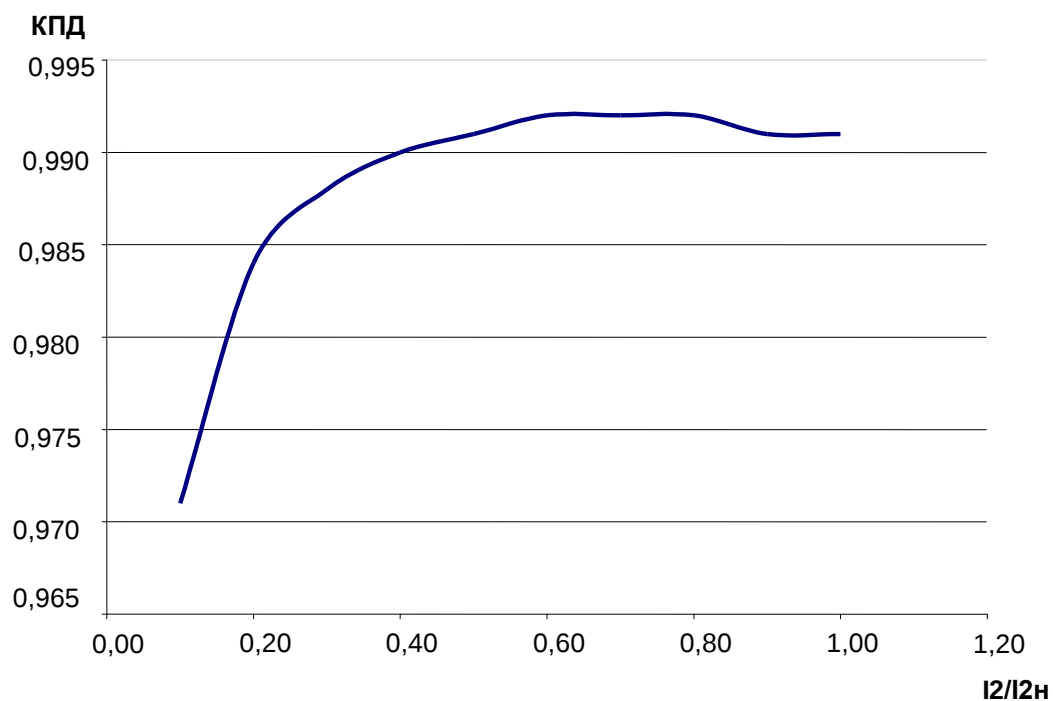


Рис. 3. Зависимость КПД трансформатора от коэффициента нагрузки

10. Т-образная схема трансформатора с расчетными значениями сопротивлений приведена на рис. 4.

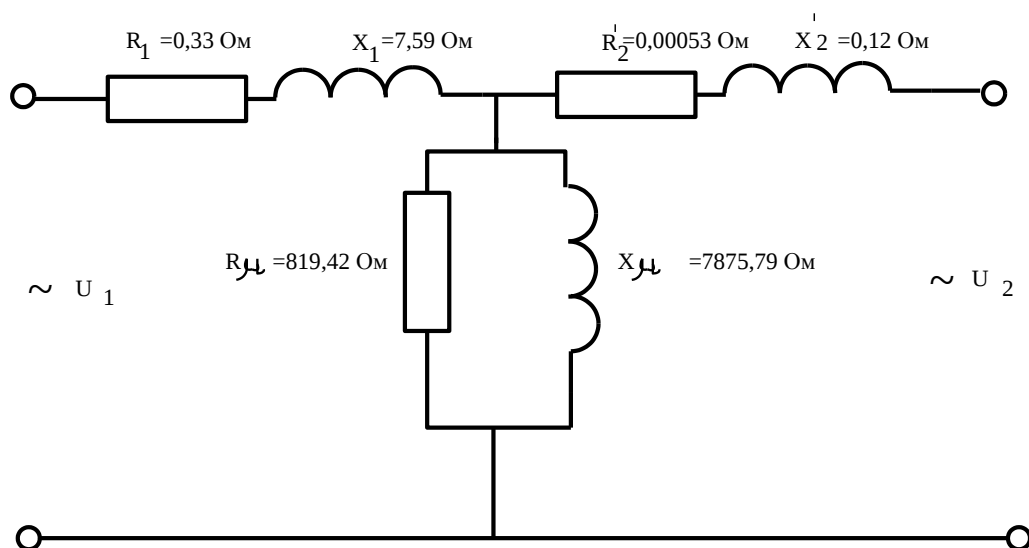


Рис. 4. Т-образная схема замещения трансформатора

4. КОЛЛЕКТОРНЫЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрические машины постоянного тока используются как в качестве генераторов, так и в качестве двигателей. Наибольшее применение имеют двигатели постоянного тока. Преимущественно они используются в приводах, требующих изменения частоты вращения в широком диапазоне. Они имеют большой пусковой момент и могут быть выполнены на любую допустимую по механическим соображениям частоту вращения вала (более 3000 об/мин). Достоинством таких двигателей является возможность экономичного и плавного регулирования частоты вращения вала. Диапазон мощностей двигателей составляет от долей ватт (для привода устройств автоматики) до нескольких тысяч киловатт (приводы прокатных станков, шахтные подъемники).

Генераторы постоянного тока являются одним из элементов электрооборудования автомобилей.

Недостатками машин постоянного тока по сравнению с другими типами электрических машин являются относительно высокая стоимость, сложность в изготовлении и пониженная надежность. Эти недостатки связаны с наличием щеточно-коллекторного узла. Искрение, сопровождаемое подгоранием коллектора, и непостоянство щеточного контакта приводят к нестабильности характеристик и являются источником радиопомех. Щеточная пыль загрязняет двигатель, что требует систематического ухода.

Устройство коллекторной машины постоянного тока

На рис. 5 приведена общая конструктивная схема машины постоянного тока.

Неподвижная часть машины называется статором, вращающаяся часть - якорем.

Статор состоит из станины 8 и главных полюсов 6. Станина 8 служит для крепления полюсов и подшипниковых щитов и является частью магнитопровода, т.к. через нее замыкается магнитный поток машины. По окружности станины расположены отверстия для крепления сердечников главных полюсов 6. В нижней части станины имеются лапы 11 для крепления машины к плите фундамента. Главный полюс состоит из сердечника 6 и полюсной катушки 7. Якорь 12 вращается на подшипниках 10, установленных на станине 8. Щеточный узел 5 с щетками 4 и щеткодержателями 3 и 2 установлен на станине 8.

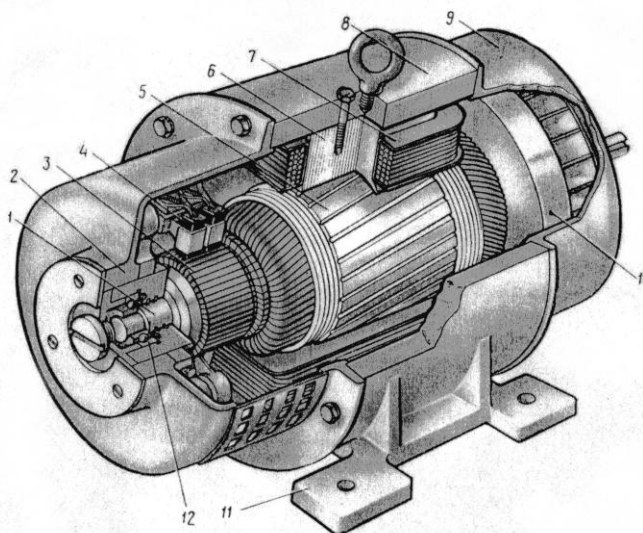


Рис. 5. Устройство машины постоянного тока

Якорь машины постоянного тока состоит из вала 1, сердечника 5 с обмоткой и коллектора 3. Электрический контакт с коллектором осуществляется посредством щеток, располагаемых в щеткодержателях 4.

Кроме указанных частей машина постоянного тока имеет два подшипниковых щита: передний 2 и задний 9. В передней части щита имеется расточка под подшипник 12. Для вентиляции машины служит вентилятор 10 – воздух поступает в машину со стороны коллектора и выбрасывается с противоположной стороны через решетку.

Коллектор – это механический преобразователь переменного тока в постоянный и наоборот. Необходимость в таком преобразователе объясняется тем, что ток в обмотке якоря коллекторной машины должен быть переменным, так как только в этом случае в машине происходит непрерывный процесс электромеханического преобразования энергии.

На рис. 6 показано устройство коллектора с конусными шайбами. Основными элементами коллектора являются пластины трапециидального сечения из твердотянутой меди, собранные таким образом, что коллектор приобретает цилиндрическую форму. Нижняя часть коллекторных пластин 6 имеет форму «ласточкина хвоста». После сборки коллектора эти части пластин оказываются зажатыми между стальными шайбами 1 и 3, изолированными от медных пластин миканитовыми манжетами 4. Верхняя часть 5 коллекторных пластин, называемая петушком, имеет узкий продольный паз, в который закладывают проводники обмотки якоря и тщательно припаивают. Электрический контакт с коллектором осуществляется посредством щеток, располагаемых в щеткодержателях.

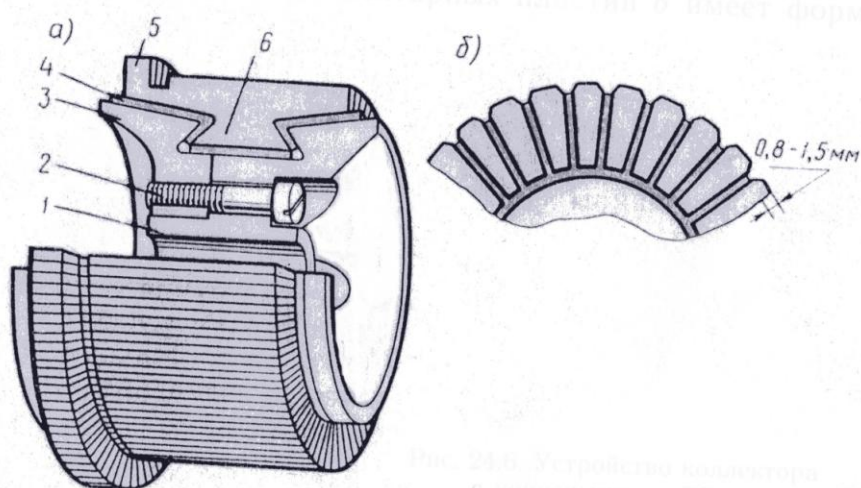


Рис. 6. Устройство коллектора с конусными шайбами

Принцип действия двигателя постоянного тока. Постоянное магнитное поле двигателя создается обмоткой возбуждения, по которой протекает постоянный ток. К щеткам двигателя подается постоянное напряжение от ис-

точника постоянного тока, в результате чего в обмотке якоря появляется ток. В результате взаимодействия этого тока с магнитным полем машины появляются электромагнитные силы, создающие на якоре электромагнитный момент. После поворота якоря на 180° электромагнитные силы не меняют своего направления, т.к. одновременно с переходом каждого проводника обмотки якоря из зоны одного магнитного полюса в зону другого магнитного полюса в этих проводниках меняется направление тока. Таким образом, назначение коллектора и щеток в двигателе постоянного тока заключается в изменении направления тока в проводниках обмотки якоря при их переходе из зоны магнитного поля полюса одной полярности в зону полюса другой полярности.

Под действием электромагнитного момента двигатель начинает вращаться, потребляя из сети электрическую энергию и преобразуя ее в механическую.

В процессе работы двигателя его якорь вращается в магнитном поле. В обмотке якоря индуцируется ЭДС $E_{\text{я}}$, которая направлена против тока якоря I_{β} и поэтому называется противо-ЭДС.

Значение индуцируемой противо-ЭДС определяется по формуле

$$\dot{L}_{\beta} = \dot{N}_L \hat{O} n, \quad (1)$$

где C_E - постоянная для данной машины величина, Φ - основной магнитный поток, n - частота вращения якоря, об/мин.

Для двигателя, работающего с постоянной частотой вращения, справедливо выражение

$$U_{\dot{n}} = \dot{L} \cdot + \sum R \cdot \cdot I \cdot, \quad (2)$$

где $U_{\dot{n}}$ - напряжение питающей сети, $\dot{L} \cdot$ - противо-ЭДС якоря, $\sum R \cdot$ - сопротивление всех участков цепи якоря, I_{β} - ток якоря.

Из (1) и (2) можно получить выражение для частоты вращения якоря в виде

$$n = \frac{U - I_{\beta} \sum R_{\beta}}{\dot{N}_L \hat{O}}, \quad (3)$$

т.е. частота вращения двигателя прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна потоку возбуждения.

Возбуждение двигателя постоянного тока.

Принцип действия машины постоянного тока основан на наличии постоянного магнитного поля. В большинстве случаев это поле создается обмоткой возбуждения, питаемой постоянным током.

По способам возбуждения машины постоянного тока классифицируются следующим образом:

- машины независимого возбуждения, в которых обмотка возбуждения (ОВ) питается постоянным током от источника, электрически не связанного с обмоткой якоря (рис. 7 а);
- машины параллельного возбуждения, в которых обмотка возбуждения и обмотка якоря соединены параллельно (рис. 7 б);
- машины последовательного возбуждения, в которых обмотка возбуждения и обмотка якоря соединены последовательно (рис. 7 в);
- машины смешанного возбуждения, в которых имеется две обмотки возбуждения – параллельная ОВ1 и последовательная ОВ2 (рис. 7 г).

Машины с различными способами возбуждения имеют свои области применения. Рассмотрим более подробно машину с параллельным возбуждением.

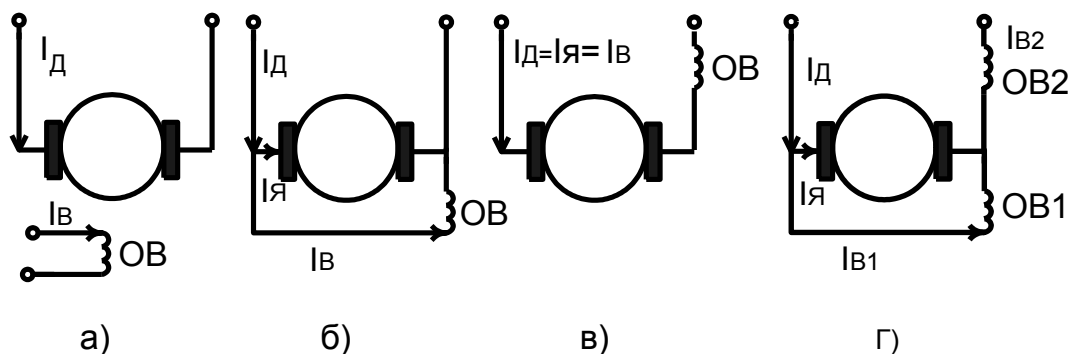


Рис. 7. Схемы возбуждения двигателя постоянного тока:
а) независимое возбуждение, б) параллельное возбуждение,
в- последовательное возбуждение, г) смешанное возбуждение

Уравнение электромагнитного момента машины постоянного тока с параллельным возбуждением определяет вращающий момент двигателя

$$\check{E} \dot{Y} \check{E} = \check{E} \hat{A} \check{D} = \dot{N} \check{E} \hat{O} I_{\beta}, \quad (4)$$

где C_M - постоянная величина для данной машины.

Из (4) выразим ток якоря и подставим его выражение в (3)

$$n = \frac{U - I_{\beta} \sum R_{\beta}}{\dot{N} \check{E} \hat{O}} = \frac{U}{C_E \hat{O}} \left(1 - \frac{\check{E} \hat{A} \check{D} \sum R_{\beta}}{U C_E \hat{O}} \right) \quad (5)$$

или

$$n = n_0 (1 - \check{E} \hat{A} \check{D} / \check{E} \hat{A} \check{D} 0), \quad (6)$$

где $n_0 = \frac{U}{C_E \hat{O}}$ - частота вращения вала при холостом ходе, $\check{E} \hat{A} \check{D} 0 = \dot{N} \check{E} \hat{O} U / R_{\beta}$

- начальный пусковой момент при пусковом токе $I_D = U / R_{\beta}$.

Коэффициент полезного действия двигателя постоянного тока.

Коэффициент полезного действия электрической машины представляет собой отношение полезной мощности на валу двигателя P_2 к потребляемой из сети мощности P_1

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} . \quad (7)$$

Суммарная мощность потерь определяется по формуле

$$P_1 - P_2 = \sum \Delta P = \Delta P_{\beta} + \Delta P_{\hat{A}} + \Delta P_{\check{E}\check{L}\check{O}} + \Delta P_{\check{E}\check{R}\check{A}} , \quad (8)$$

где ΔP_{β} - потери мощности в обмотке якоря, $\Delta P_{\hat{A}}$ - потери мощности в обмотке возбуждения, $\Delta P_{\check{E}\check{L}\check{O}}$ - механические потери, которые складываются из потерь от трения щеток о коллектор и потерь трения в подшипниках, $\Delta P_{\check{E}\check{R}\check{A}}$ - магнитные потери.

Пример 2

Двигатель постоянного тока, параллельного возбуждения включен в сеть с напряжением 440 В. При номинальной нагрузке и частоте вращения

$n_{\text{НОМ}}=800$ об/мин, он потребляет ток $I_{\text{НОМ}}=3,76$ А. Определить КПД двигателя при номинальной нагрузке, если ток холостого хода $I_0=0,8$ А, а сопротивление цепи якоря $R_{\text{Я}}=10,45$, а в цепи возбуждения $R_{\text{В}}=954,5$ Ом. Магнитные и механические потери принять постоянными при всех режимах работы двигателя.

Определить: номинальную мощность двигателя на валу, номинальный вращающий момент $M_{\text{НОМ}}$, значение пускового момента при токе $I_{\text{П}}=2I_{\text{НОМ}}$ и соответствующее сопротивление пускового реостата. Построить естественную и реостатную механические характеристики.

Решение:

Номинальная мощность на валу двигателя:

$$P_{\check{I}\check{I}\check{E}} = P_{1M} - \sum \Delta P ,$$

где $\sum \Delta P$ - потери в двигателе, P_{1M} - потребляемая мощность из сети.

$$P_{1M} = U_{\check{I}\check{I}\check{E}} \cdot I_{\beta, \check{I}\check{I}\check{E}} = 440 \cdot 3,76 = 1654,4 \text{ Вт} ,$$

Ток возбуждения:

$$I_{\hat{A}, \check{I}\check{I}\check{E}} = \frac{U_{\check{I}\check{I}\check{E}}}{R_{\hat{A}}} = \frac{440}{954,5} = 0,46 \text{ А} ,$$

Ток якоря номинальный:

$$I_{\beta, \check{I}\check{I}\check{E}} = I_{\check{I}\check{I}\check{E}} - I_{\hat{A}, \check{I}\check{I}\check{E}} = 3,76 - 0,46 = 3,3 \text{ А} ,$$

Определим потери в цепи якоря и цепи возбуждения:

$$\begin{aligned}\Delta D_{\beta} &= R_{\beta} \cdot I_{\beta, \dot{I}\dot{E}}^2 = 10,45 \cdot 3,3^2 = 113,8 \text{ Вт} \\ \Delta D_{\hat{A}} &= R_{\hat{A}} \cdot I_{\hat{A}, \dot{I}\dot{E}}^2 = 954,5 \cdot 0,46^2 = 207,97 \text{ Вт}\end{aligned}$$

Магнитные и механические потери:

$$\Delta D_{\dot{E}\dot{L}\dot{O}} + \Delta D_{\dot{E}\dot{R}\dot{A}} = D_{\dot{I}} - \Delta D_{\beta\dot{I}} - \Delta D_{\hat{A}},$$

где $D_{\dot{I}} = U_{\dot{I}\dot{E}} \cdot I_O = 440 \cdot 0,8 = 352 \text{ Вт}$,

$\Delta D_{\beta\dot{I}}$ -потери в обмотке якоря при холостом ходе двигателя:

$$\Delta D_{\beta\dot{I}} = R_{\beta} (I_O - I_{\hat{A}, \dot{I}\dot{E}})^2 = 10,45(0,8 - 0,46)^2 = 1,2 \text{ Вт};$$

$$\Delta D_{\dot{E}\dot{L}\dot{O}} + \Delta D_{\dot{E}\dot{R}\dot{A}} = 352 - 1,2 - 207,97 = 148,83 \text{ Вт};$$

$$\sum \Delta D = \Delta D_{\beta} + \Delta D_{\hat{A}} + \Delta D_{\dot{E}\dot{L}\dot{O}} + \Delta D_{\dot{E}\dot{R}\dot{A}} = 113,8 + 207,97 + 148,83 = 464,6 \text{ Вт};$$

$$D_{\dot{I}\dot{E}} = D_1 - \sum \Delta D = 1654,4 - 464,6 = 1189,8 \text{ Вт}.$$

Номинальный КПД:

$$\eta_{\dot{I}\dot{E}} = \frac{P_{\dot{I}\dot{E}}}{P_1} \cdot 100 = \frac{1189,8}{1654,4} \cdot 100 = 71,9\%.$$

Номинальный вращающий момент:

$$M_{\dot{I}\dot{E}} = 9550 \cdot \frac{P_{\dot{I}\dot{E}}}{n_{\dot{I}\dot{E}}} = 9550 \cdot \frac{1189,8 \cdot 10^{-3}}{800} = 14,2 \text{ Нм}.$$

Пусковой ток двигателя при пуске без реостата:

$$I_{\dot{D}} = \frac{U_{\dot{I}\dot{E}}}{R_{\beta}} = \frac{440}{10,45} = 42,1 \text{ А}.$$

Сопротивление пускового реостата определим из условия:

$$I_{\dot{D}} = 2I_{\dot{I}\dot{E}} = \frac{U_{\dot{I}\dot{E}}}{R_{\beta} + R_{\hat{A}\hat{A}}};$$

$$R_{\hat{A}\hat{A}} = \frac{U_{\dot{I}\dot{E}}}{2I_{\beta, \dot{I}\dot{E}}} - R_{\beta} = \frac{440}{2 \cdot 3,3} - 10,45 = 56,2 \text{ Ом}.$$

Определим пусковой момент, полагая магнитный поток в двигателе постоянным:

$$M_{\dot{I}\dot{E}} = \dot{N}_{\dot{e}} \cdot I_{\beta, \dot{I}\dot{E}} \cdot \dot{\Phi};$$

$$M_{\dot{D}} = \dot{N}_{\dot{E}} \cdot I_{\dot{D}} \cdot \dot{\Phi};$$

$$\frac{M_{\hat{I}\hat{E}}}{M_{\hat{D}}} = \frac{I_{\beta, \hat{I}\hat{E}}}{I_{\hat{D}}};$$

$$M_{\hat{D}} = M_{\hat{I}\hat{E}} \cdot \frac{I_{\hat{D}}}{I_{\beta, \hat{I}\hat{E}}} = 2 \cdot M_{\hat{I}\hat{E}} = 2 \cdot 14,2 = 28,4 \text{ Н}.$$

Естественная механическая характеристика $\Omega = f(M)$ строится по двум точкам:

1) в режиме холостого хода $M = 0$, частота вращения

$$n_0 = \frac{U_{\hat{I}\hat{E}}}{\dot{N}_{\hat{L}} \cdot \hat{O}_{\hat{I}}} = \frac{U_{\hat{I}\hat{E}} \cdot n_{\hat{I}\hat{E}}}{E_{\hat{I}}},$$

где $E_{\hat{I}\hat{E}} = U_{\hat{I}\hat{E}} - R_{\beta} \cdot I_{\beta, \hat{I}\hat{E}} = 440 - 10,45 \cdot 3,3 = 405,5 \text{ В}$

$$n_0 = \frac{440 \cdot 800}{405,5} = 868,1 \text{ об / мин}$$

$$n_0 \cdot \dot{N}_{\hat{L}} \cdot \hat{O} = U_{\hat{I}\hat{E}},$$

$$\dot{N}_{\hat{L}} \cdot n_{\hat{I}\hat{E}} \cdot \hat{O} = E_{\hat{I}\hat{E}},$$

$$C_{\hat{L}} = \frac{E_{\hat{I}\hat{E}}}{n_{\hat{I}\hat{E}} \cdot \hat{O}},$$

$$n_0 = \frac{U_{\hat{I}\hat{E}} \cdot n_{\hat{I}\hat{E}}}{E_{\hat{I}\hat{E}}}.$$

Угловая скорость вращения якоря:

1) в режиме холостого хода

$$\Omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 868,1}{30} = 90,86 \text{ с}^{-1}$$

2) при номинальной нагрузке $M = M_n$ угловая скорость вращения якоря:

$$\Omega_{\hat{I}\hat{E}} = \frac{\pi \cdot n_{\hat{I}\hat{E}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 800}{30} = 83,73 \text{ с}^{-1}$$

Определим скорость вращения при номинальном моменте и добавочном сопротивлении в цепи якоря.

Т.к. ток якоря прямопропорционален моменту $I_{\text{я}} \equiv M$, то при $M = \text{const}$ сила тока $I_{\text{я}}$ после включения $R_{\text{доб}}$ остаётся прежней $I_{\text{я}} = I_{\text{я, ном}} = 3,3 \text{ А}$.

Из выражений:

$$\begin{aligned} \dot{N}_L \cdot \hat{O} \cdot n &= U - I_{\beta, \dot{I}\dot{I}\check{E}} \cdot (R_{\beta} + R_{\check{A}\check{I}\check{A}}); \\ \dot{N}_L \cdot \hat{O} \cdot n_{\dot{I}\dot{I}\check{E}} &= U - I_{\beta, \dot{I}\dot{I}\check{E}} \cdot R_{\beta} \end{aligned}$$

получим:

$$\begin{aligned} \frac{n}{n_{\dot{I}\dot{I}\check{E}}} &= \frac{U - I_{\beta, \dot{I}\dot{I}\check{E}} \cdot (R_{\beta} + R_{\check{A}\check{I}\check{A}})}{U - I_{\beta, \dot{I}\dot{I}\check{E}} \cdot R_{\beta}} \\ \Omega &= \Omega_{\dot{I}\dot{I}\check{E}} \cdot \frac{U - I_{\beta, \dot{I}\dot{I}\check{E}} \cdot (R_{\beta} + R_{\check{A}\check{I}\check{A}})}{U - I_{\beta, \dot{I}\dot{I}\check{E}} \cdot R_{\beta}} = \\ 83,73 &\cdot \frac{440 - 3,3(10,45 + 56,2)}{440 - 3,3 \cdot 10,45} = 45,44 \text{ } \dot{n}^{-1} \end{aligned}$$

На рис. 8 показаны естественная и регулировочная механические характеристики двигателя.

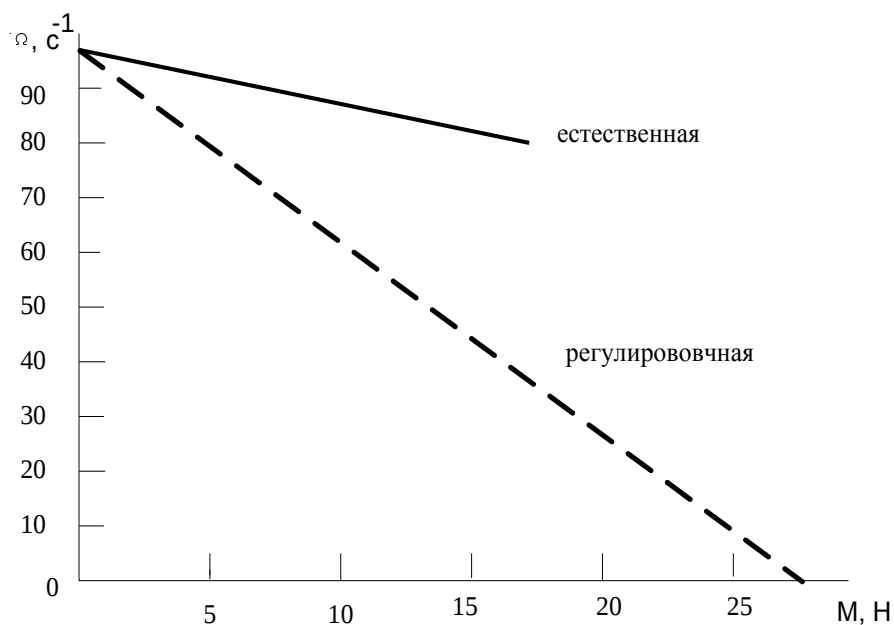


Рис. 8. Естественная и регулировочная характеристики машины постоянного тока

5. АСИНХРОННАЯ МАШИНА

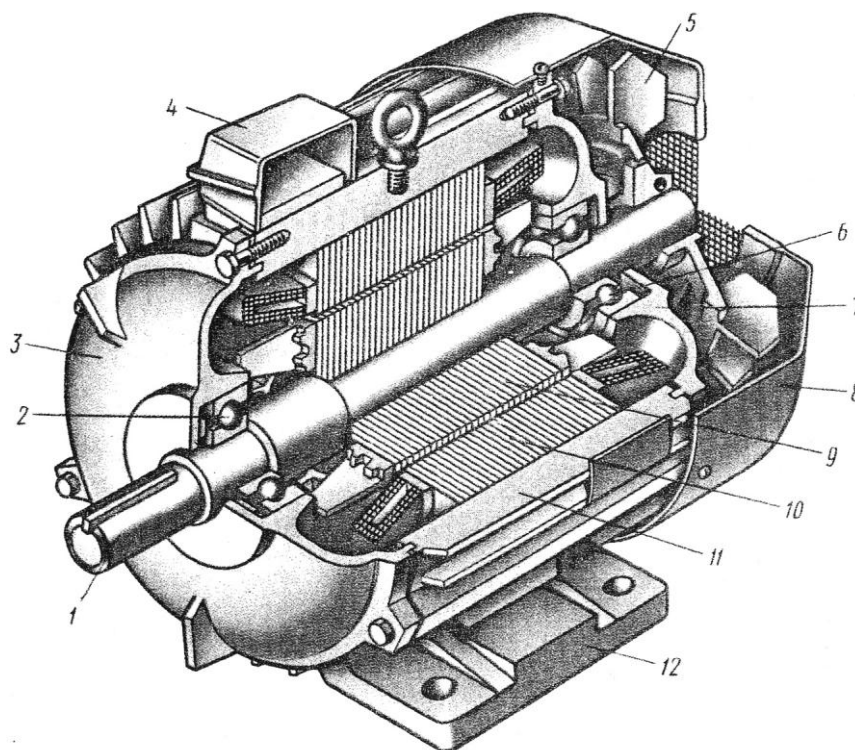
Асинхронная машина является самой распространенной, применяемой в качестве двигателя. Это обусловлено относительной простотой ее конструкции по сравнению с другими типами машин – синхронными и машинами постоянного тока.

К недостаткам асинхронных машин относятся сложность и неэкономичность регулирования режимов работы.

Конструкция и принцип действия асинхронного двигателя.

Двигатель состоит из неподвижной части, называемой статором и вращающейся части, называемой ротором (рис. 9). Статор представляет собой полый шихтованный цилиндр, в пазах которого располагается статорная обмотка.

Обмотка статора может быть соединена в схему «звезда» или «треугольник». Она включается в сеть и является первичной.



*Рис. 9. Устройство трехфазного асинхронного двигателя
с короткозамкнутым ротором:*

- 1- вал; 2, 6 - подшипники; 3, 7 – подшипниковые щиты; 4 - коробка выводов;
5 - вентилятор; 8 – кожух вентилятора; 9 - сердечник ротора
с короткозамкнутой обмоткой; 10 - сердечник статора с обмоткой;
11 - корпус; 12 - лапы

Ротор двигателя может быть выполнен короткозамкнутым или фазным. Наибольшее распространение получили двигатели с короткозамкнутым ротором. Устройство асинхронно двигателя с короткозамкнутым ротором показано на рис.

Неподвижная часть двигателя – статор состоит из корпуса 11 и сердечника 10 с трехфазной обмоткой. Корпус двигателя отливают из алюминиевого сплава или из чугуна, либо делают сварным. В корпусе располагается сердечник статора 10, имеющий шихтованную конструкцию: штампованные листы из электротехнической стали толщиной 0,5 мм покрыты слоем изоляционного лака, собраны в пакет и скреплены специальными скобами или продольными сварными швами по наружной поверхности пакета. Такая конструкция сердечника позволяет значительно снизить вихревые токи, возникающие в процессе перемагничивания сердечника вращающимся магнитным полем. На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых расположены пазовые части обмотки статора, соединенные в определенном порядке лобовыми частями, находящимися за пределами сердечника по его торцевым сторонам.

В расточке статора расположена вращающаяся часть двигателя – ротор, состоящий из вала 1 и сердечника 9 с короткозамкнутой обмоткой.

Короткозамкнутая обмотка ротора в большинстве двигателей выполняется заливкой собранного из тонких листов электротехнической стали сердечника ротора расплавленным алюминиевым сплавом. При этом одновременно со стержнями обмотки отливаются короткозамыкающие кольца и вентиляционные лопасти (рис. 10),

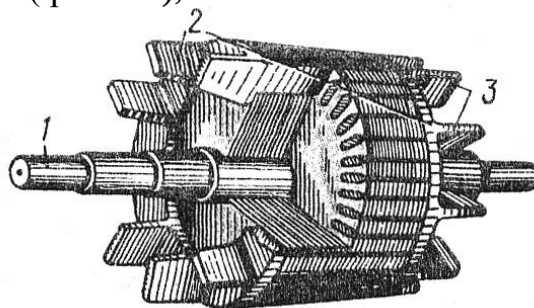


Рис. 10. Короткозамкнутый ротор:

1- вал; 2- короткозамыкающие кольца; 3 – вентиляционные лопасти

Вал ротора вращается в подшипниках качения 2 и 6, расположенных в подшипниковых щитах 3 и 7. Охлаждение двигателя осуществляется методом обдува ребер корпуса двигателя. Поток воздуха создается центробежным вентилятором 5, закрытым кожухом 8.

Концы статорной обмотки выводят на клеммы коробки выводов 4.

Если на статорную обмотку подать напряжение сети U_1 , то в обмотке будет протекать ток I_1 . Этот ток создает вращающийся магнитный поток Φ , замыкающийся через статор и ротор. Поток создает в обеих обмотках ЭДС E_1 и E_2 . ЭДС обмотки статора, являясь ЭДС самоиндукции, действует встречно приложенному напряжению U_1 и ограничивает значение тока в обмотке. Обмотка ротора замкнута, поэтому под действием E_2 в ней начинает протекать ток I_2 . Взаимодействие тока I_2 и магнитного потока Φ создает электромагнитные силы F , приводящие ротор во вращение с частотой n_2 . Частота вращения ротора n_2 меньше частоты вращения магнитного поля n_1 , поэтому двигатель называется асинхронным. Относительная разность частот n_1 и n_2 называется скольжением S асинхронной машины

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

Номинальные данные асинхронной машины. Полезная мощность, на которую рассчитан двигатель по условиям нагрева и длительной безаварийной работы, называется номинальной. Все величины, характеризующие работу двигателя при номинальной мощности, называются номинальными и указываются в паспортной табличке, прикрепляемой к корпусу двигателя, и паспорте двигателя. К паспортным относятся следующие данные: тип двигателя, число фаз - , частота тока- f_1 , полезная мощность на валу – P_H , линейное напряжение – U_H , схема соединения статорной обмотки, линейный ток - I_H , КПД - η_H , частота вращения ротора - n_H , коэффициент мощности - $\cos\varphi_H$, режим работы, класс изоляции, год выпуска, масса двигателя, завод-изготовитель.

Важной характеристикой двигателя является номинальный момент M_H , который определяется по формуле

$$\check{E}_2 = D_2 / \omega_2 = 60 D_2 / (2\pi n_2) = 9,55 D_2 / n_2,$$

где P_2 – полезная мощность на валу двигателя, Вт; $\omega_2 = 2\pi f_1 / 60$ - угловая частота вращения ротора.

Отношение пускового момента M_{Π} к номинальному M_H называется кратностью пускового момента λ_{Π} :

$$\lambda_{\Pi} = M_{\Pi} / M_H.$$

Отношение максимального пускового момента $M_{\Pi\max}$ к номинальному M_H называется перегрузочной способностью двигателя:

$$\lambda = M_{\Pi\max} / M_H.$$

Кратность пускового момента и перегрузочная способность двигателя приводятся также в паспортных данных двигателя.

Максимальному моменту двигателя соответствует критическое скольжение $S_{кр}$, которое определяется по формуле

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{н}} (\lambda_{\text{п}} + \sqrt{\lambda_{\text{п}}^2 - 1}),$$

где $S_{\text{н}}$ - номинальное скольжение двигателя; $\lambda_{\text{п}}$ - кратность пускового момента.

Номинальное скольжение двигателя соответствует номинальной частоте вращения вала двигателя $n_{\text{н}}$

$$S_{\text{н}} = \frac{n_1 - n_{\text{н}}}{n_1}.$$

Значение момента на валу двигателя при разных нагрузках можно определить по формуле Клосса

$$\check{M} = \check{M}_{\text{MAX}} \frac{2}{S / S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}} / S}.$$

Выбор мощности асинхронного двигателя.

Выбор электродвигателей состоит в удовлетворении ряда требований потребителя, среди которых основными являются: род тока и напряжения, конструктивное исполнение, уровень вибрации и шума, мощность и режим работы. От правильного выбора электродвигателя по мощности зависят надежность его работы в электроприводе и энергетические показатели в процессе эксплуатации. В тех случаях, когда нагрузка двигателя существенно меньше номинальной, он недоиспользуется по мощности, что свидетельствует об излишних капитальных вложениях, его КПД и коэффициент мощности заметно снижаются. Если нагрузка превышает номинальную, это приводит к увеличению токов и потерь мощности выше соответствующих номинальных значений, вследствие чего температура (превышение температуры) обмоток и магнитопровода двигателя может превысить допустимое значение. Рост температуры выше заданных значений приводит к резкому ускорению старения изоляции вследствие изменения ее физико-химических свойств и соответственно уменьшению срока службы и надежности двигателя в целом, поэтому одним из основных критериев выбора двигателя по мощности является температура (превышение температуры) обмоток.

Задача выбора электродвигателя по мощности осложняется тем обстоятельством, что нагрузка на его валу в процессе работы, как правило, изменяется во времени, вследствие чего изменяются также потери мощности и соответственно температура двигателя. Если при этих условиях выбрать двига-

тель таким образом, чтобы его номинальная мощность была равна наибольшей мощности нагрузки, он будет недоиспользован по мощности. Очевидно также, что недопустимо выбирать номинальную мощность двигателя равной минимальной мощности нагрузки.

Для обоснованного решения вопроса выбора электродвигателя по мощности необходимо знать характер изменения нагрузки двигателя во времени, т. е. зависимость от времени мощности, электромагнитного момента и потерь двигателя. С этой целью для машин, работающих в циклическом режиме, обычно строится нагрузочная диаграмма, представляющая собой зависимость нагрузки электропривода от времени в течение рабочего цикла. Зависимость изменения нагрузки от времени позволяет судить об изменениях потерь в электродвигателе, что в свою очередь дает возможность оценить температуру его отдельных частей при известном характере процесса их нагрева. Этот подход позволяет выбрать двигатель таким образом, чтобы максимальная температура изоляции обмоток не превышала допустимого значения. Это условие является одним из основных для обеспечения надежной работы электродвигателя в течение всего срока его эксплуатации. Второе условие выбора двигателя заключается в том, что его перегрузочная способность должна быть достаточной для устойчивой работы электропривода в периоды максимальной нагрузки или аварийного снижения напряжения.

Режимы работы двигателей делятся на следующие:

1. Продолжительный S1 – режим работы при постоянной нагрузке в течение времени, за которое температура двигателя достигает установившегося значения. Мощность двигателя, работающего в данном режиме, рассчитывается исходя из потребляемой механизмом мощности. В таком режиме работают насосы, вентиляторы, компрессоры и др.

2. Кратковременный S2 – режим, при котором за время включения на постоянную нагрузку температура двигателя не успевает достичь установившегося значения, а за время отключения двигатель охлаждается до температуры окружающей среды. В случае использования двигателя S1 для работы в режиме S2 необходимо проверить его только по перегрузочной способности, так как температура не успевает достичь допустимого значения. Этот режим работы характерен для двигателей шлюзов, заслонок и др.

3. Повторно-кратковременный S3 – режим с периодическим отключением двигателя, при котором за время включения температура не успевает достичь установившегося значения, а за время отключения – температуры окружающей среды. Расчет мощности электродвигателя обычного исполнения для работы в режиме S3 производится по методам эквивалентных величин с учетом пауз и потерь в переходных режимах. Кроме того, двигатель необходимо проверить на допустимое число включений в час. В случае большого

числа включений в час рекомендуется использовать двигатели с повышенным скольжением. Данные электродвигатели обладают повышенным сопротивлением обмотки ротора, а, следовательно, меньшими пусковыми и тормозными потерями. В повторно-кратковременном режиме работают двигатели подъемно-транспортных механизмов.

4. Повторно-кратковременный с частыми пусками S4 и повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением S5. Данные режимы рассматриваются аналогично режиму S3.

5. Перемежающийся S6 – режим, при котором работа двигателя под нагрузкой периодически заменяется работой на холостом ходу. Большинство двигателей, работающих в продолжительном режиме, имеют меняющийся график нагрузки. При этом для обоснованного выбора двигателя с целью оптимального его использования рекомендуется применять методы эквивалентных величин.

Рассмотрим расчет мощности двигателя в повторно-кратковременном режиме работы, который характеризуется периодами работы с постоянной нагрузкой (рабочие периоды) и периодами отключения электродвигателя (паузы). При этом температура отдельных частей машины при неизменной температуре окружающей среды не успевает достигнуть практически установившихся значений. В таком случае выбор мощности двигателя из серии двигателей единой серии нормального исполнения ориентировочно производится аналогично случаю длительной переменной нагрузки. При этом производится пересчет заданного графика повторно-кратковременного режима в некоторый одноступенчатый эквивалентный график. Рабочая (действительная) мощность нагрузки при повторно-кратковременном режиме P_p (Вт) находится из выражения

$$D_D = \sqrt{\frac{D_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}},$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ - нагрузка на ступенях графика продолжительностью $t_1, t_2, \dots, t_n$ соответственно.

Из паспортных данных двигателей выбирается двигатель с номинальной мощностью P_H большей или равной рабочей мощности нагрузки.

Выбранный двигатель необходимо проверить по перегрузочной способности, т.к. на отдельных участках графика нагрузки момент нагрузки может оказаться больше максимально допустимого. Перегрузочная способность проверяется по условию: $0,9M_{\max} \geq M_{C,\max}$, где $M_{\max}$ - максимальный момент на валу двигателя, $M_{C,\max}$ - максимальный статический момент нагрузки. В момент пуска двигателя должно выполняться условие $M_{\Pi} \geq M_{C,\Pi}$, где M_{Π} –

пусковой момент двигателя, $M_{с,п}$ – статический момент на валу двигателя в момент пуска.

Пример 3

Выбрать трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме по графику нагрузки, приведенному на рис. 11. Синхронная частота двигателя 1500 об/мин, номинальное напряжение двигателя $U_H = 380$ В.

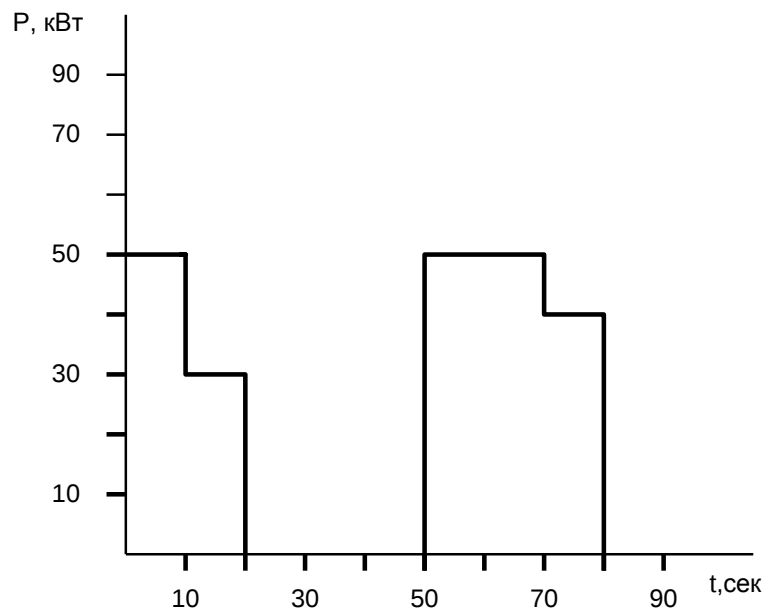


Рис. 11. График нагрузки двигателя

Решение

1. Определяем рабочую мощность нагрузки

$$D_D = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} =$$

$$\sqrt{\frac{50^2 \cdot 10 + 30^2 \cdot 10 + 50^2 \cdot 20 + 40^2 \cdot 10}{80}} = 35,36 \text{ кВт}$$

2. Из каталожной таблицы выбираем двигатель типа 5А200М4 со следующими характеристиками $U_H = 380/220$ В; $P_H = 37$ кВт; $n_H = 1470$ об/мин; $\eta_H = 92,3\%$; $\cos \varphi_H = 0,85$; $\lambda_{п} = 2,4$; $\lambda = 2,6$; $I_{п}/I_H = 6,7$.

3. Проверим выбранный двигатель на перегрузочную способность, для этого рассчитаем номинальный момент на валу двигателя M_H , максимальный момент двигателя $M_{\max}$ и максимальный статический момент нагрузки $M_{C,\max}$:

$$\check{E}_i = \frac{9550 \cdot D_i}{n_i} = \frac{9550 \cdot 37}{1470} = 240,38 \text{ } \acute{I} \cdot \check{e};$$

$$M_{\max} = \lambda \cdot M_H = 2,6 \cdot 240,38 = 624,99 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Максимальный статический момент имеет место при максимальной нагрузке 50 кВт (см. график нагрузки рис. 11)

$$\check{E}_{N,\max} = \frac{9550 \cdot D_{\max}}{n_i} = \frac{9550 \cdot 50}{1470} = 324,83 \text{ } \acute{I} \cdot \check{e}.$$

Выбранный двигатель по перегрузке проходит, т.к. выполняется условие

$$0,9M_{\max} \geq M_{C,\max}$$

$$0,9 \cdot 624,99 = 562,49 > 324,38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, развиваемый двигателем при пуске составит

$$\check{E}_D = \lambda_D \cdot \check{E}_i = 2,4 \cdot 240,38 = 576,91 \text{ } \acute{I} \cdot \check{e},$$

а статический момент сопротивления нагрузки при пуске

$$\check{E}_{N,D} = \frac{9550 \cdot D_{N,D}}{n_i} = \frac{9,55 \cdot 50}{1470} = 324,83 \text{ } \acute{I} \cdot \check{e}.$$

Как следует из расчетов, выбранный двигатель проходит по пусковому моменту.

Мощность, потребляемая двигателем из сети в номинальном режиме составит

$$D_{1f} = \frac{D_i}{\eta_i} = \frac{37}{0,923} = 40,09 \text{ кВт}.$$

Номинальный ток двигателя определяется по формуле

$$I_i = \frac{D_i}{\sqrt{3} \cdot U_i \cdot \eta_i \cdot \cos \varphi_i} = \frac{37000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,923 \cdot 0,85} = 71,74 \text{ А}.$$

Пусковой ток определяется с учетом паспортного значения кратности пускового тока $I_{\Pi}/I_H = 6,7$, заданного в паспортных данных двигателя

$$I_{\Pi} = I_H \cdot (I_{\Pi}/I_H) = 71,74 \cdot 6,7 = 480,66 \text{ А}.$$

Номинальное скольжение двигателя составит

$$S_i = \frac{n_1 - n_i}{n_1} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02.$$

Критическое скольжение двигателя равно

$$S_{\text{крит}} = S_{\text{крит}} (\lambda_D + \sqrt{\lambda_D^2 - 1} = 0,02(2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1} = 0,092.$$

Для построения механической характеристики двигателя, представляющей собой зависимость $M=f(S)$, следует воспользоваться формулой Клосса для разных значений скольжения. Приведем расчет для скольжения равного значению 0,01

$$\dot{E} = \dot{E}_{\text{MAX}} \frac{2}{S / S_{\text{крит}} + S_{\text{крит}} / S} = 624,99 \frac{2}{0,01/0,092 + 0,092/0,01} = 134,41 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Частота вращения ротора при скольжении 0,01 составит

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - S) = 1500 \cdot (1 - 0,01) = 1485 \text{ об/мин}.$$

Рассчитаем n_2 и M для разных значений скольжения и представим их в виде табл. 3.

Таблица 3

Расчетные параметры для построения механической характеристики

S	0	0,01	0,02	0,092	0,4	0,6	0,8	1,0
n, об/мин	1500	1485	1470	1362	900	600	300	0
M, Н·м	0	134,41	240,38	624,99	272,92	187,40	141,72	114,05

Необходимо заметить, что расчетные значения моментов на валу двигателя при скольжении больше критического и рассчитанные по формуле Клосса не отражают реально свойства двигателя. Так при скольжении равном 1 пусковой момент двигателя составит 576,1 Н·м, что отражено на механической характеристике, показанной на рис. 12.

В [4] показано, что электромагнитный момент асинхронного двигателя, а также его максимальное и пусковое значения пропорциональны квадрату напряжения, подводимого к обмотке статора двигателя: $M \propto U_1^2$. В то же время значение критического скольжения не зависит от подводимого напряжения. Это позволяет построить механические характеристики двигателя для разных напряжений U_1 . На рис. 12 показаны механические характеристики двигателя при $U_1 = U_N$; $0,9U_N$; $0,8U_N$ и $0,7 U_N$. Расчетные значения $M_{\text{пmax}}$, $M_{\text{п}}$ при разных значениях U_1 приведены в табл.4.

Таблица 4

Расчетные значения $M_{\text{пmax}}$, $M_{\text{п}}$ при разных значениях U_1

$U_1, \text{В}$	380	342	304	266
$M_{\text{п}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	576,9	467,3	369,2	282,7
$M_{\text{пmax}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	624,9	506,0	399,9	306,2

Как следует из приведенной таблицы, запуск двигателя и работа при напряжении 266 В невозможны.

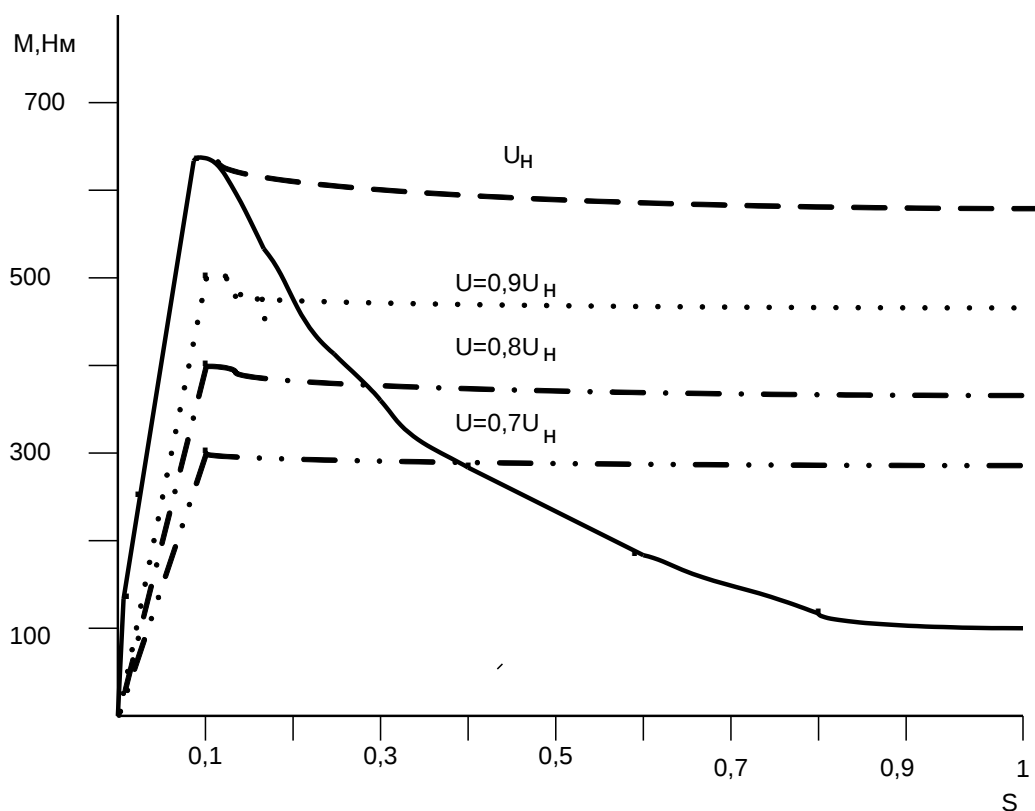


Рис. 12. Механические характеристики двигателя при номинальном напряжении и напряжении отличном от номинального

6. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 1

Для заданного варианта, в соответствии с таблицей 5 технических характеристик трансформатора рассчитать:

- 1) сопротивления обмоток трансформатора R_1, R_2, X_1, X_2 ;
- 2) сопротивления намагничивающей цепи;
- 3) угол магнитных потерь;
- 4) КПД- β трансформатора при коэффициенте нагрузки $\beta = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1$ и $\cos\varphi = 0,75$ построить зависимость $\eta = f(\beta)$;
- 5) Рассчитать значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_2 при коэффициенте нагрузки $\beta = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1$ и $\cos\varphi = 0,7$ и построить внешнюю характеристику $U_2 = f(\beta)$;
- 6) показать Т-образную схему трансформатора с нанесенными численными значениями сопротивлений.

Задача 2

Для заданного варианта, в соответствии с таблицей 6 технических характеристик двигателя постоянного тока с параллельной системой возбуждения рассчитать:

- 1) номинальную мощность двигателя на валу;
- 2) номинальный вращающий момент;
- 3) номинальный КПД;
- 4) значение пускового тока при пусковом токе равном $I_D = 2I_{\text{н}}$ и необходимом сопротивлении пускового реостата при таком пусковом токе;
- 5) построить естественную и реостатную характеристики двигателя.

Задача 3

Для заданного варианта, в соответствии с таблицей 7 графика нагрузок двигателей выполнить следующее:

- 1) построить график нагрузки двигателя;
- 2) рассчитать мощность двигателя и выбрать тип асинхронного короткозамкнутого двигателя;
- 3) произвести проверку выбранного двигателя по перегрузочной способности и возможности прямого пуска;
- 4) определить потребляемую мощность двигателя из сети, номинальный и пусковой токи, номинальное и критическое скольжение;

5) рассчитать максимальный и пусковой моменты двигателя при напряжении сети $U_1 = U_H; 0,9U_H; 0,8U_H$ и $0,7 U_H$;

6) построить механические характеристики двигателя при напряжении сети $U_1 = U_H; 0,9U_H; 0,8U_H$ и $0,7 U_H$;

7) определить возможность пуска двигателя и перегрузочную способность при напряжениях сети $U_1 = U_H; 0,9U_H; 0,8U_H$ и $0,7 U_H$.

Таблица 5

**Технические характеристики трехфазных
двухобмоточных трансформаторов**

№ варианта	Тип	S_H , кВ·А	U_{H1} ,кВ	U_{H2} ,кВ	U_K ,%	P_K , кВт	P_0 , кВт	I_0 ,%	Схема соед. обмоток
1	ТМ-25/6	25	6	0,4	4,5	0,6	0,13	3,2	Y/Y _H
2	ТМ-40/6	40	6	0,4	4,5	0,88	0,19	3	Y/Y _H
3	ТМ-63/6	63	6	0,4	4,7	1,4	0,36	4,5	Y/Y _H
4	ТМ-100/6	100	6	0,4	4,5	1,97	0,36	2,6	Y/Y _H
5	ТМ-160/6	160	6,3	0,4	4,5	2,65	0,46	2,4	Y/Y _H
6	ТМ-250/6	250	6	0,4	4,5	3,7	0,82	2,3	Y/Y _H
7	ТМ-320/6	320	6,3	0,4	5,5	6,07	1,6	6	Y/Y _H
8	ТМ-400/6	400	6	0,4	4,5	5,5	1,05	2,1	Y/Y _H
9	ТМ-630/6	630	6	0,4	5,5	7,6	1,56	2	Y/Y _H
10	ТМ-1000/6	1000	6	0,4	5,5	12,2	2,45	1,4	Δ/Y _H
11	ТМ-1000/6	1000	6	0,4	5,5	11	2,45	1,4	Δ/Y _H
12	ТМ-2500/6	2500	6	0,4	5,5	26	4,6	1	Y/Y _H
13	ТМ-25/10	25	10	0,4	4,5	0,6	0,13	3,2	Y/Y _H
14	ТМ-40/10	40	10	0,4	4,5	1,0	0,19	3	Y/Y _H
15	ТМ-63/10	63	10	0,4	4,5	1,28	0,26	4,5	Y/Y _H
16	ТМ-100/10	100	10	0,4	4,5	1,97	0,36	2,6	Y/Y _H

Продолжение табл. 5

17	ТМ-160/10	160	10	0,4	4,5	2,65	0,46	2,4	Y/Y _H
18	ТМ-250/10	250	10	0,4	4,5	3,7	0,82	2,3	Y/Y _H
19	ТМ-320/10	320	10	0,4	5,5	6,2	0,91	0,7	Y/Y _H
20	ТМ-400/10	400	10	0,4	4,5	6,5	1,08	4,5	Y/Y _H
21	ТМ-630/10	630	10	0,4	5,5	7,6	1,56	2	Y/Y _H
22	ТМ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	12,2	2,45	1,4	Δ/Y _H
23	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	11	2,45	1,4	Δ/Y _H
24	ТМ-2500/10	2500	10	0,4	5,5	26	4,6	1	Y/Y _H
25	ТС3-160/10	160	10	0,4	5,5	2,7	0,7	4,0	Y/Y _H
26	ТС3-250/10	250	10	0,4	5,5	3,8	1,0	3,5	Y/Y _H
27	ТС3-400/10	400	10	0,4	5,5	5,4	1,3	1,5	Y/Y _H
28	ТС3-630/10	630	10	0,4	5,5	7,3	2,0	1,5	Y/Y _H
29	ТС3-1000/10	1000	10	0,4	5,5	7,3	2,0	1,5	Δ/Y _H
30	ТС3-1600/10	1600	10	0,4	5,5	16,0	4,2	1,5	Δ/Y _H
31	ТМ-100/35	100	35	0,4	4,5	5,5	1,9	0,5	Y/Y _H
32	ТМ-160/35	160	35	0,4	6,5	2,6	0,7	2,4	Y/Y _H
33	ТМ-250/35	250	35	0,4	6,5	3,7	1,0	2,3	Y/Y _H
34	ТМН-400/35	400	35	0,4	6,5	7,6	1,9	2	Y/Y _H
35	ТМН-630/35	630	35	0,4	6,5	11,6	2,7	1,5	Y/Y _H
36	ТМН-1000/35	1000	35	0,4	6,5	16,5	3,6	1,4	Y/Y _H

37	ТМН-1600/35	1600	35	11	6,7	26,0	5,1	1,1	Y/ Δ
38	ТМН-2500/35	2500	35	11	6,5	26,0	5,1	1,1	Y/ Δ
39	ТМН-4000/35	4000	35	11	7,5	33,5	6,17	1,0	Y/ Δ
40	ТМН-6300/35	6300	35	11	7,5	46,5	9,2	0,9	Y/ Δ
41	ТСЗ-250/6	250	6	0,4	5,5	3,8	1,0	3,5	Y/Y _H
42	ТСЗ-400/6	400	6	0,4	5,5	5,4	1,3	1,5	Y/Y _H
43	ТСЗ-630/6	630	6	0,4	5,5	7,3	2,0	1,5	Y/Y _H
44	ТСЗ-1000/6	1000	6	0,4	5,5	7,3	2,0	1,5	Δ /Y _H
45	ТСЗ-1600/6	1600	6	0,4	5,5	16	4,2	1,5	Δ /Y _H
46	ТД-10000/35	10000	38	10,5	7,5	65	14,5	0,8	Y/ Δ
47	ТМН-10000/35	10000	36,75	10,5	8,0	60	12,5	0,6	Y/ Δ
48	ТСЗ-160/6	160	6	0,4	5,5	2,7	0,7	4	Y/Y _H
49	ТДНС-16000/35	16000	36,75	10,5	10,0	85	18	0,55	Y/ Δ
50	ТДНС-25000/35	25000	36,75	10,5	9,5	115	25	0,5	Y/ Δ

Примечание. Схемы соединения обмоток трансформатора: Y/Y_H- звезда/звезда с нулевым проводом; Y/ Δ - звезда /треугольник; Δ /Y_H- треугольник/звезда с нулевым проводом.

Таблица 6

**Технические характеристики двигателя постоянного тока
с параллельной системой возбуждения**

№ вари- анта	U _н , В	n _н об/мин	I _н , А	I ₀ , А	R _я , Ом	R _в , Ом
1	110	750	3,3	0,35	5,85	600
2	110	1000	4,05	0,45	3,88	600
3	110	1120	2,2	0,45	15,5	600
4	110	1500	5,5	0,6	2,6	610
5	110	2360	10,0	1,05	1,0	450
6	110	3000	12,5	1,5	0,6	365
7	110	750	25,0	2,8	0,35	135
8	110	1000	35,0	4,05	0,25	135
9	110	1120	60,0	6,5	0,08	105
10	110	1500	63,0	6,8	0,08	105
11	110	2360	42,5	4,65	0,105	200
12	110	3000	50,5	5,5	0,045	200
13	110	750	5,5	0,55	7,4	650
14	110	1000	22	1,8	0,35	190
15	110	1120	28	2,5	0,4	220
16	220	1500	32	3,6	0,3	110
17	220	2360	22	2,4	0,38	220
18	220	3000	25	2,76	0,185	200
19	220	750	12	2,4	1,3	135
20	220	1000	18	1,9	0,85	140
21	220	1120	32	3,5	0,35	140
22	220	1500	35	3,8	0,42	160
23	220	2360	45	5,0	0,18	90
24	220	3000	75	8,5	0,08	85
25	220	750	12	2,5	1,25	125
26	220	1000	20	2,0	0,9	150
27	220	1120	15	1,55	0,75	400
28	220	1500	20	1,8	0,345	210
29	220	2360	40	4,5	0,165	165
30	220	3000	50	5,5	0,15	150
31	440	750	8	3,4	0,5	235
32	440	1000	10	3,5	0,7	235
33	440	1120	20	2,2	0,345	220
34	440	1500	8	0,8	2,85	850
35	440	2360	12	1,12	1,38	920
36	440	3000	12,5	1,25	0,75	950

37	440	750	6,5	2,5	6,5	250
38	440	1000	8,5	3,5	1,5	240
39	440	1120	15,5	3,0	1,3	230
40	440	1500	7,5	0,78	2,85	950
41	440	2360	10,5	1,15	1,4	950
42	440	3000	12,5	1,4	0,75	950
43	440	750	5,15	1,85	3,5	240
44	440	1000	7,5	2,5	3,05	230
45	440	1120	6,5	2,0	2,8	220
46	440	1500	5,5	0,55	2,4	650
47	440	2360	18,0	2,0	0,65	820
48	440	3000	40,5	4,5	0,35	175
49	440	1000	8,2	2,8	3,5	230
50	440	1500	15,7	2,7	1,25	225

Таблица 7

Графики нагрузок производственных механизмов

№ вари- анта	t,сек					P, кВт					n, об/мин
	t ₁ ,сек	t ₂ ,сек	t ₃ ,сек	t ₄ ,сек	t ₅ ,сек	P ₁ , кВт	P ₂ , кВт	P ₃ , кВт	P ₄ , кВт	P ₅ , кВт	
1	10	10	20	15	15	50	0	20	0	30	3000
2	10	20	10	20	20	50	30	0	0	40	3000
3	20	10	20	10	20	20	30	0	30	10	3000
4	15	15	10	10	20	40	40	0	20	10	3000
5	20	40	20	10	40	20	0	15	20	5	3000
6	30	20	10	30	20	40	0	20	0	40	3000
7	20	30	40	60	20	40	20	0	0	60	3000
8	25	20	15	20	10	60	0	40	0	20	3000
9	10	30	10	30	10	50	25	0	0	50	3000
10	40	10	20	40	20	70	0	50	60	0	3000
11	15	20	15	20	10	8	6	0	8	0	3000
12	40	20	30	20	10	15	0	20	10	0	3000
13	10	20	20	25	15	30	0	40	0	30	1500
14	30	20	10	20	30	20	30	0	0	40	1500
15	20	30	20	25	20	25	0	40	0	10	1500
16	15	15	10	10	20	40	20	0	20	10	1500
17	25	45	20	10	40	60	0	0	40	25	1500
18	30	20	10	30	20	10	0	20	0	30	1500

19	25	35	40	60	20	15	20	0	60	15	1500
20	25	25	15	20	10	60	0	40	0	20	1500
21	10	40	10	40	10	50	0	25	0	50	1500
22	40	10	10	40	20	65	0	55	40	0	1500
23	15	25	15	25	10	18	16	0	18	0	1500
24	30	20	30	20	10	15	0	20	10	0	1500
25	30	10	20	30	20	60	0	40	60	0	1000
26	25	20	25	20	10	18	16	0	18	0	1000
27	40	40	10	20	10	25	0	25	15	0	1000
28	60	20	20	35	10	35	0	40	0	35	1000
29	30	40	20	20	30	25	35	0	0	45	1000
30	25	35	25	35	20	55	0	55	0	15	1000
31	15	15	20	20	20	40	30	0	20	10	1000
32	25	40	25	10	40	60	0	0	40	25	1000
33	30	25	15	30	20	15	0	25	0	35	1000
34	25	35	45	55	25	25	25	0	60	15	1000
35	30	25	35	20	10	60	0	40	0	20	1000
36	20	45	15	40	10	50	0	25	0	60	1000
37	40	10	15	40	25	65	0	35	25	0	750
38	15	35	25	20	10	28	26	0	28	0	750
39	30	25	30	25	10	35	0	30	15	0	750
40	45	15	20	45	25	50	0	30	40	0	750
41	15	25	15	25	10	18	26	0	22	0	750
42	20	40	35	25	10	15	0	25	15	0	750
43	10	20	20	15	15	25	0	45	0	35	750
44	30	25	10	25	30	20	35	0	0	45	750
45	25	30	40	25	20	25	0	45	0	30	750
46	15	15	10	20	20	40	20	0	40	10	750
47	25	45	25	15	40	60	0	0	60	25	3000
48	20	20	10	30	20	20	0	25	0	35	1500
49	25	35	40	40	20	45	20	0	40	15	1000
50	25	25	15	20	10	55	0	35	0	45	750

Таблица 8

Технические характеристики двигателей серии 5А

Тип	Р _н , кВт	n _н об/мин	η _н %	cos φ _н	I _н , А при U _н =380 В	λ _п	λ	I _п /I _н
n ₁ = 3000 об/мин								
5А80МА2	1,5	2820	81	0,85	3,3	2,5	2,6	6,5
5А80МВ2	2,2	2830	81	0,85	4,8	2,5	2,6	6,5
5А112М2	7,5	2900	89	0,89	14,4	2,0	3,2	7,4
5А160S2	15	2930	90	0,89	28,4	2,7	3,4	7,5
5А160М2	18,5	2930	90,5	0,89	34,8	2,8	3,4	7,5
5А200М2	37	2940	93,5	0,89	67,4	2,3	2,8	7,2
5А200L2	45	2950	93,5	0,89	82,0	2,3	2,8	7,3
5А225М2	55	2950	93,5	0,89	97,9	2,3	2,8	7,5
5АМ250S2	75	2955	93,2	0,89	133	1,8	2,9	6,9
5АМ250М2	90	2955	93,1	0,93	157	1,7	2,7	7,2
5АМ280S2	110	2960	94,1	0,92	193	2,1	3,4	7,2
5АМ280М2	132	2960	94,5	0,92	230	2,3	3,4	7,5
5АМ315S2	160	2970	94,5	0,92	279	1,8	2,8	7,2
5АМ315М2	200	2975	95	0,94	339	1,8	2,8	7,2
n ₁ = 1500 об/мин								
5А80МА4	1,1	1400	74	0,8	2,8	2	2,4	4,8
5А80МВ4	1,5	1405	76	0,81	3,7	2	2,4	5
5А112МА4	5,5	1450	87	0,85	11,3	2	2,6	6,5
5А160S4	15	1450	89,5	0,86	29,5	2	2,6	6,1
5А160М4	18,5	1450	90	0,86	36,2	2,3	2,6	6,4
5А200М4	37	1470	92,3	0,85	71,5	2,4	2,6	6,7
5А200L4	45	1470	92,7	0,84	87,6	2,8	2,8	7,2
5А225М4	55	1475	93,3	0,86	104	2,2	2,3	6,8
5АМ250S4	75	1480	94,3	0,86	140	2,1	2,3	7,2
5АМ250М4	90	1480	94,7	0,88	164	2,2	2,3	7,2
5АМ280S4	110	1485	95,4	0,88	199	2,3	2,8	6,8
5АМ280М4	132	1485	95,9	0,89	234	2,4	2,8	7
5АМ315S4	160	1485	96	0,88	287	1,9	2,2	6,8
5АМ315М4	200	1485	96	0,9	351	1,8	2	6,8
n ₁ = 1000 об/мин								
5А80МА6	0,75	930	71	0,69	2,3	2	4,5	2,4
5А80МВ6	1,1	930	72	0,7	3,3	2	4,5	2,4
5А112МА6	3	950	82	0,8	6,9	2	5	2,4
5А160МВ6	4	950	82,5	0,81	9,1	2	5	2,4

5A160S6	11	970	88,5	0,84	22,5	2	6,5	2,8
5A160M6	15	975	88,5	0,84	31	2	6,5	2,8
5A20M6	22	975	90,5	0,83	44,5	2,3	6,8	2,3
5A200L6	30	980	91,5	0,84	59,5	2,4	5,8	2,4
5A225M6	37	985	92	0,84	72,5	2,4	6,5	2,5
5AM250S6	45	985	93	0,85	86,5	2	6	2,4
5AM250M6	55	985	93	0,84	107	2	6	2,1
5AM280S6	75	985	94,7	0,85	141	2,2	6,3	2,4
5AM280M6	90	985	94,7	0,84	171	2	6,3	2,2
5AM315S6	110	985	95	0,9	195	1,6	6,7	2,4
5AM315M6	132	985	95,2	0,91	231	1,7	7	2,4
n ₁ = 750 об/мин								
5A80MA8	0,37	700	59	0,82	1,5	2,2	3,3	2,2
5A80MB8	0,55	700	60	0,62	2,2	2,2	3,8	2,4
5A112MA8	2,2	710	77	0,69	6,3	1,7	4,2	2,2
5A112MB8	3	710	78	0,7	8,3	1,7	4,2	2,2
5A160S8	7,5	720	81,5	0,7	10,6	3,1	5	2,6
5A160M8	11	720	87	0,74	25,9	1,8	5,3	2,4
5A200M8	18,5	730	90,5	0,77	40,5	2,1	6,7	2,8
5A200L8	22	730	91	0,8	45	2,1	6,7	2,8
5A225M8	30	735	91,5	0,8	62	2,1	5,5	2,3
5AM250S8	37	735	92	0,72	85	1,9	6,7	2,7
5AM250M8	45	735	92,5	0,75	98	1,9	6,7	2,7
5AM280S8	55	735	94,5	0,83	106	2,1	6,2	2,3
5AM280M8	75	735	94,5	0,83	145	2,1	6	2,3
5AM315S8	90	740	94,5	0,85	170	1,5	6	2,1
5AM315M8	110	740	94,5	0,86	205	1,5	6	2,1

Образец титульного листа расчетно-графической работы

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБУ ВПО «ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электроотехники

Контрольная работа по дисциплине
«Теоретические основы электротехники: трансформаторы, машины
постоянного тока, асинхронные машины»

Вариант №

Выполнил: студент группы
Петров В.И.
№ зачетной книжки

Принял:

(должность, Ф.И.О. преподавателя)

Вологда
2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ЗАДАНИЙ	3
2. ПРОГРАММА УЧЕБНОГО КУРСА	4
3. ТРАНСФОРМАТОРЫ	6
4. КОЛЛЕКТОРНАЯ МАШИНА ПОСТОЯННОГО ТОКА	16
5. АСИНХРОННАЯ МАШИНА	24
6. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	34

Подписано в печать 06.11.2013.	Усл. печ. л. 2,75	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ №	_____.

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15