

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника»

для студентов дневной и заочной форм обучения
направления
6 070.104

Эксплуатация судовых энергетических установок

Севастополь
2009



Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника» для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.070.104 «Эксплуатация судовых энергетических установок» / Сост. В.Г.Гагаринов, Н.Н.Чепендюк, В.В.Костюков– Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – 40с.

Целью методических указаний является привитие студентам навыков исследования основных режимов работы электрических машин. Лабораторные работы предполагают изучение конструкций трансформаторов и электрических машин различных типов. Каждая лабораторная работа кроме кратких теоретических сведений и указаний по её выполнению содержит требования к оформлению и содержанию отчета, а также перечень контрольных вопросов.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры СПЭМС (протокол № 12 от 9 июня 2009г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Конева С.А.- доцент кафедры СП ЭМС СевНТУ

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Принятые обозначения	3
1. Лабораторная работа №1. Экспериментальное определение параметров однофазного трансформатора.....	4
2. Лабораторная работа №2. Исследование работы однофазного трансформатора под нагрузкой	13
3. Лабораторная работа №3. Изучение конструкции, анализ паспортных данных асинхронных двигателей.....	18
4. Лабораторная работа №4. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	24
5. Лабораторная работа №5. Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.....	30
Библиографический список.....	37

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум включает пять лабораторных работ, охватывающих основные разделы изучаемых дисциплин по общей электротехнике, посвященные трансформаторам и электрическим машинам. Каждая лабораторная работа выполняется в течение двух академических часов. В процессе подготовки к выполнению работ студент должен ознакомиться с основными теоретическими положениями, описанием лабораторной установки и выполнить предварительные теоретические расчеты, изучить принцип действия и конструкцию электрических машин и трансформаторов напряжения, а также их основные режимы работы.

Принятые обозначения

I – действующее значение тока, А;
 U – действующее значение напряжения, В;
 I_N – номинальное значение тока, А;
 U_N – номинальное значение напряжения, В;



I_X – ток холостого хода, А;
 U_X – напряжение холостого хода, В;
 I_K – ток короткого замыкания, А;
 U_K – напряжение короткого замыкания, В;
 E – действующее значение ЭДС, В;
 M – момент, Нм;
 η – коэффициент полезного действия (КПД);
 β – коэффициент нагрузки;
 r – активное сопротивление, Ом;
 g – активная проводимость, См;
 Z – комплексное полное сопротивление, Ом;
 x – реактивное сопротивление, Ом;
 P – активная мощность, Вт;
 Q – реактивная мощность, ВАр;
 S – полная мощность, ВА;
 s – скольжение, о.е. или проц.;
 n – частота вращения, об/мин;
 $2p$ – число пар полюсов;
 i – мгновенное значение тока, А;
 φ – угол сдвига фаз между напряжением и током, град;
 $\cos\varphi$ – коэффициент мощности, о.е.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1.1. Цель работы

Изучение экспериментальных методов определения параметров схемы замещения однофазного трансформатора напряжения.

1.2. Теоретические сведения

Электромагнитная схема однофазного трансформатора приведена на рисунке 1.1. Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Передача энергии от источника и нагрузке осуществляется посредством магнитного поля. Сердечник в трансформаторах служит

Контрольные вопросы

1. Какие способы возбуждения (способы включения обмоток возбуждения) ДПТ Вы знаете?
2. Каковы особенности конструкции ДПТ.
3. Изложите принцип действия ДПТ.
4. Что называется механической характеристикой ДПТ.
5. Какие существуют способы регулирования частоты вращения ДПТ.
6. Что представляют собой рабочие характеристики ДПТ.
7. Как определить ток якоря при пуске?
8. Для чего увеличивают сопротивление якорной цепи ДПТ при пуске двигателя путем введения пускового реостата?
9. Предложите сравнительную характеристику достоинств и недостатков двигателей постоянного тока и асинхронных двигателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов И.А. Общая электротехника с основами электроники/ И.А. Данилов, П.М. Иванов. – М.: Высш. шк., 2005. – 751 с.
2. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника/ Ф.Е. Евдокимов. – М.: Высш. шк., 2004. – 367 с.
3. Касаткин А.С. Электротехника/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высш. шк., 2003. – 542 с.
4. Кацман М.М. Электрические машины/ М.М. Кацман. – М.: Высш. шк., 2000. – 464 с.
5. Копылов И.П. Электрические машины/ И.П. Копылов. – М.: Высш. шк., 2002. – 605 с.
6. Кузовкин В.А. Теоретическая электротехника/ В.А. Кузовкин. – М.: Изд-во «Логос», 2002. – 480 с.
7. Методические указания к выполнению лабораторных работ по электротехническим дисциплинам №16-20 для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.0902 – Инженерная механика – Ч.3 / Е.Б. Башук, Г.Ф. Косова, В.Н. Мирянова. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – 36 с.
8. Шебес М.Р. Сборник задач по теории линейных электрических цепей/ М.Р. Шебес. – М.: Высш. шк., 1990. – 530 с.



записать несколько значений частоты вращения и тока якоря ДПТ в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Данные реостатного регулирования ДПТ

Измеряемые величины	Положение движка реостата R_D						
	max	5	4	3	2	1	0
I_A , А							
n , об/мин							

4.2. Осуществить полюсное регулирование частоты вращения ДПТ. В этом случае после завершения пуска двигателя (аналогично предыдущему опыту), величину пускового сопротивления поддерживать неизменным: $R_D=0$.

Изменяя сопротивление реостата в обмотке возбуждения R_B от 0 до R_{Bmax} , получить данные для построения зависимости $f=n(I_B)$. При этом частота вращения двигателя не должна превышать номинальную величину (не выше, чем на 15 – 20%). Результаты эксперимента занести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Данные реостатного полюсного регулирования ДПТ

Измеряемые величины	Положение движка реостата R_B						
	0	1	2	3	4	5	макс.
I_B , А							
n , об/мин							

5. По данным таблицы 5.1 рассчитать, используя формулы (5.1), (5.3)–(5.7), а также паспортные данные ДПТ, и построить механическую характеристику $f=n(M)$ и рабочие характеристики $f=I_A(P_1)$, $f=M(P_2)$, $f=\eta(P_2)$, $f=n(P_2)$.

6. По данным таблиц 5.2 и 5.3 построить графики: $f=n(I_A)$, $f=n(I_B)$.

5.4. Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки (рисунок 5.3).
2. Расчет характеристик ДПТ по формулам (5.1), (5.3)–(5.7).
3. Результаты эксперимента и расчета (заполненные таблицы 5.1 – 5.3)
4. Графики зависимостей $f=n(M)$, $f=I_A(P_1)$, $f=M(P_2)$, $f=\eta(P_2)$, $f=n(P_2)$, $f=n(I_A)$, $f=n(I_B)$.
5. Выводы.

для усиления магнитной связи между первичной и вторичной обмотками, то есть для уменьшения магнитного сопротивления среды [1].

Первичное переменное напряжение $\dot{U}_1$ создает ток $\dot{I}_1$ который возбуждает переменный магнитный поток $\dot{\Phi}_0$, который индуцирует в первичной обмотке переменную противо-ЭДС самоиндукции $\dot{E}_1$, а во вторичной – переменную ЭДС взаимной индукции $\dot{E}_2$. При подключении ко вторичным зажимам нагрузки, во вторичной цепи возникает ток $\dot{I}_2$. Токи $\dot{I}_1$ и $\dot{I}_2$ создают потоки рассеяния $\dot{\Phi}_{p1}$, $\dot{\Phi}_{p2}$ сцепляющиеся только со своими обмотками W_1 и W_2 . Обмотки электрически не связаны.

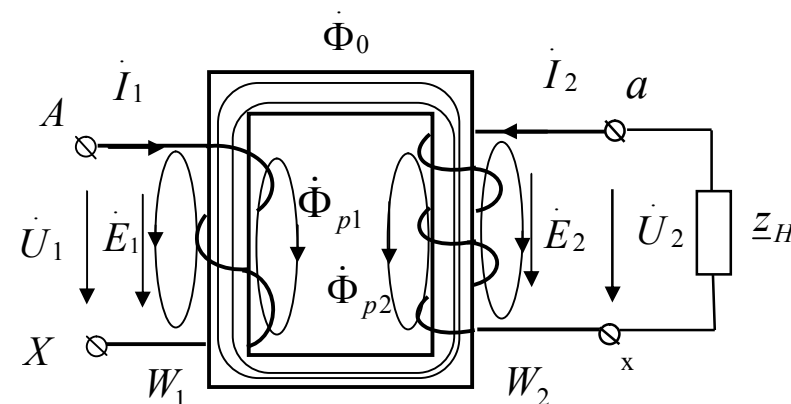


Рисунок 1.1 – Электромагнитная схема однофазного трансформатора

Уравнения электрического состояния для обмоток трансформаторов имеют вид:

$$\begin{aligned} E_1 &= R_1 \dot{I}_1 + jx_1 \dot{I}_1 - \dot{U}_1 \\ E_2 &= R_2 \dot{I}_2 + jx_2 \dot{I}_2 - \dot{U}_2 \end{aligned} \quad (1.1)$$

Уравнение ЭДС трансформатора:

$$\dot{I}_1 W_1 + \dot{I}_2 W_2 = \dot{I}_{1X} W_1, \quad (1.2)$$



где $\dot{I}_{1X}$ – ток холостого хода трансформатора при номинальном напряжении в первичной обмотке $\dot{U}_{1H}$.

Вследствие перемagnetивания стали в магнитопроводе трансформатора возникают потери энергии от гистерезиса и вихревых токов. Следовательно, ток I_{1X} наряду с реактивной составляющей I_{px} , идущей на создание основного потока Φ , имеет еще и активную составляющую I_{ax} . В итоге, на основании первого закона Кирхгофа:

$$I_{1X} = \sqrt{I_{px}^2 + I_{ax}^2}. \quad (1.3)$$

Для удобства анализа и расчета параметров трансформатора создают единую схему замещения обмоток 1 и 2, а также осуществляют приведение вторичной обмотки к первичной, сохраняя все мощности и сдвиги фаз неизменными. Это достигается умножением уравнения (1.1) на коэффициент трансформации $k = W_1/W_2$, а уравнения (2.2) – на $1/W_2$:

$$\begin{aligned} \dot{E}_2 k &= \dot{U}_2 k + k R_2 \dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_{1X} - \dot{I}_2 \frac{W_2}{W_1} = \dot{I}_{1X} - \dot{I}_2', \end{aligned}$$

где $\dot{I}_2' = \dot{I}_2 W_2 / W_1$ – является приведенным вторичным током. Вводя обозначения для вторичных величин, приведенных к числу витков первичной обмотки:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2' &= k \dot{U}_2, \quad \dot{E}_2' = k \dot{E}_2 = \dot{E}_1, \\ \dot{I}_2' &= \frac{\dot{I}_2}{k}, \quad R_2' = k^2 R_2, \quad X_2' = k^2 X_2, \end{aligned}$$

запишем основные уравнения для приведенных параметров:

$$\begin{aligned} \dot{E}_2' &= R_2' \dot{I}_2' + j X_2' \dot{I}_2', \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_{1X} - \dot{I}_2'. \end{aligned}$$

Такое приведение облегчает исследование режимов работы трансформатора и позволяет рассматривать соответствующую схему замещения (рисунок 1.2), в которой индуктивная связь между обмотками трансформатора заменена соответствующими электрическими соединениями.

Порядок выполнения работы

1. Переписать номинальные паспортные данные исследуемого двигателя со стенда.

2. Собрать схему, изображенную на рисунке 5.3. Исследовать ДПТ в режиме холостого хода. Перед пуском установить движок реостата в положение $R_{II} = \max$, а сопротивление реостата возбуждения принять $R_B = 0$. Включить источники питания двигателя и тахогенератора. По мере разгона двигателя уменьшить R_{II} до нуля. Окончательные показания приборов занести в первую строку таблицы 5.1.

3. Испытать двигатель под нагрузкой. Подать напряжение на обмотку возбуждения нагрузочного генератора, предварительно отключив резисторы нагрузки.

Увеличивая нагрузку, включая сопротивления R_H от минимального значения до максимального, установить ток якоря двигателя $I_A = I_{ном}$. Записать в таблицу 5.1 данные 6-7 режимов работы.

Таблица 5.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Режим	Измерено			Вычислено				
	I_A	I_B	n	I	P_1	P_2	η	M
	А	А	об/мин	А	Вт	Вт	%	Н·м
Холостой ход								
1								
⋮								
7								

4. Исследовать способы регулирования частоты вращения ДПТ.

Примечание. Все пуски ДПТ производить при полностью введенном сопротивлении пускового реостата R_p (максимальном значении его сопротивления) для избежания аварийного режима работы двигателя!

4.1. Осуществить реостатное регулирование. Подготовить двигатель к пуску в режиме холостого хода (см. пункт 2). Запустить двигатель при $R_{II} = \max$. Изменяя сопротивление пускового реостата R_{II} от $R_{II\max}$ до 0,



где:

$$P_1 = UI \quad (5.4)$$

– потребляемая из сети мощность;

$$P_2 = P_1 - \Delta P \quad (5.5)$$

– мощность на валу двигателя;

$$\Delta P = P_{1xx} + (I_{\text{я}} - I_{\text{яxx}})^2 \cdot R_{\text{я}} \quad (5.6)$$

– приближенная величина суммарной мощности потерь АД.

Величина электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{э}} = 9550 \cdot P_2 / n, \quad (5.7)$$

где n – в об/мин, P_2 – в кВт.

В настоящей лабораторной работе в качестве нагрузки ДПТ с ШОВ используется генератор G постоянного тока с общим механическим валом. Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 5.3. Генератор нагружен магазином сопротивлений R_H . Для измерения частоты вращения двигателя используется тахогенератор BR , имеющий жесткую механическую связь с двигателем M . Оборудование расположено за лабораторным стендом, а основные выводы находятся на наклонной панели этого стенда.

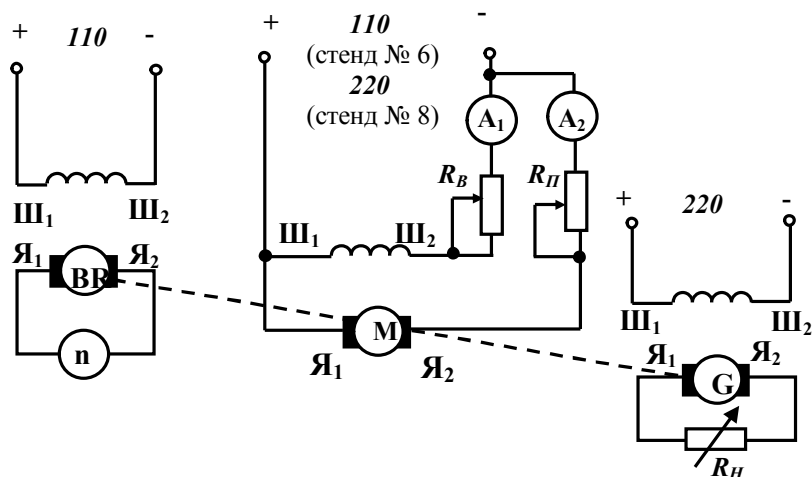


Рисунок 5.3 – Схема экспериментальной установки

Параметры схемы замещения приведенного трансформатора определяются экспериментальным путем.

Для этого при номинальном первичном напряжении $U_1 = U_{1H} = U_X$ проводится **опыт холостого хода (XX)** (рисунок 1.3).

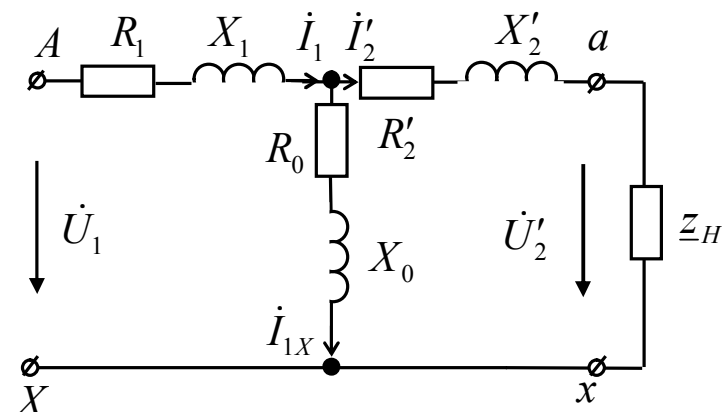


Рисунок 1.2 – Схема замещения однофазного трансформатора

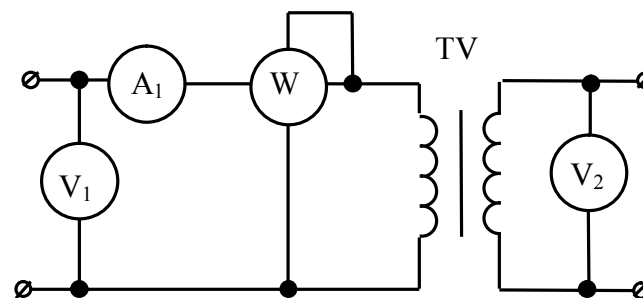


Рисунок 1.3 – Схема эксперимента для режима холостого хода

Измеряемые величины: ток холостого хода I_{1X} , мощность P_{1X} , вторичное напряжение U_{2X} . Входное сопротивление трансформатора совпадает с полным сопротивлением ветви намагничивания, поскольку в трансформаторах общего назначения величины R_0 , X_0 в сотни раз превы-



шают соответствующие значения R_I , X_I . По этой причине справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} Z_0 &= \frac{U_{1H}}{I_{1X}}, \quad k = \frac{U_{1H}}{U_{2X}}, \quad R_0 = \frac{P_{1X}}{I_{1X}^2}, \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}, \\ \cos \varphi_X &= \frac{P_{1X}}{U_{1H} \cdot I_{1X}}, \quad \delta = 90^\circ - \varphi_X, \end{aligned} \quad (1.4)$$

где δ – угол магнитных потерь.

Помимо этого проводится **опыт короткого замыкания (КЗ)** при сильно сниженном первичном напряжении $U_1 = U_{1K} \cong (0,05 \div 0,15) \cdot U_{1H}$ (рисунок 1.4), величина которого соответствует току первичной обмотки трансформатора, равному номинальному $I_1 = I_{1K} = I_{1H}$.

С учетом вышеуказанного, относительно сопротивлений ветви намагничивания, током намагничивания в режиме КЗ можно пренебречь и определить параметры короткого замыкания Z_K, R_K, X_K , с помощью соотношений:

$$\begin{aligned} Z_K &= \frac{U_{1K}}{I_{1H}}, \quad R_K = \frac{P_{1K}}{I_{1H}^2}, \\ X_K &= \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}, \quad \cos \varphi_K = \frac{P_{1K}}{U_{1K} \cdot I_{1H}}. \end{aligned} \quad (1.5)$$

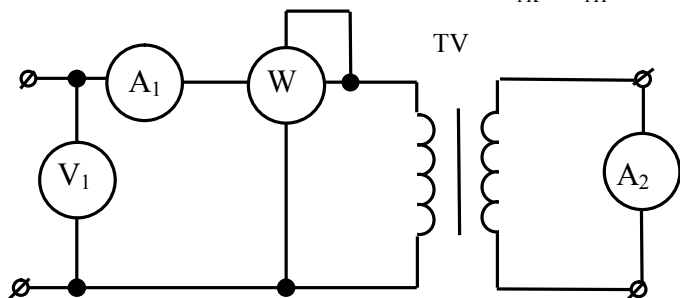


Рисунок 1.4 – Схема эксперимента для режима короткого замыкания

Зависимость, связывающая между собой частоту вращения ДПТ и электромагнитный момент, называется механической характеристикой:

$$n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{R_{\Sigma 0} + R_n}{C_E C_M \Phi^2} \cdot M_{\Sigma}. \quad (5.2)$$

При $R_{\Sigma} = 0$ механическую характеристику называют естественной, а при $R_{\Sigma} \neq 0$ – искусственной характеристикой (рисунок 5.2, а).

Точка холостого хода ($M_0 = 0$) с частотой вращения

$$n_0 = \frac{U}{C_E \cdot \Phi}$$

является общей для всех механических характеристик ДПТ.

Изменение частоты вращения ДПТ в пределах от холостого хода до номинальной по естественной механической характеристике, составляет 3÷5 % от n_0 . Анализируя выражение (5.2), укажем основные способы регулирования частоты вращения двигателя при неизменном моменте сопротивления нагрузки:

1) реостатное регулирование (в цепи якоря ДПТ) – изменением сопротивления пускового регулирующего реостата R_n ;

2) полюсное регулирование (в цепи обмотки возбуждения ДПТ) – осуществляется уменьшением I_B за счет увеличения сопротивления реостата R_B , что приводит к уменьшению магнитного потока обмотки возбуждения ДПТ и, в свою очередь, к увеличению его частоты вращения;

3) регулирование частоты вращения ДПТ изменением напряжения питания. С уменьшением напряжения уменьшается частота вращения. Этот способ энергетически выгоден, особенно при использовании тиристорных регуляторов напряжения (так называемые схемы ТП-Д – тиристорный преобразователь – двигатель).

Рабочими характеристиками ДПТ называются зависимости тока якоря, момента на валу двигателя M_{Σ} , КПД, частоты вращения от мощности на валу двигателя P_2 . Их вид показан на рисунке 5.2, б).

КПД двигателя определяется соотношением:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%, \quad (5.3)$$



где $I_{\text{я}}$ – ток якоря; $I_{\text{в}}$ – ток возбуждения, создающий магнитный поток статора Φ .

Для ограничения тока якоря при пуске ДПТ в якорную цепь последовательно включают пусковой реостат $R_{\text{п}}$.

Начальный пусковой ток якоря:

$$I_{\text{яп}} = U / (R_{\text{я0}} + R_{\text{п}}),$$

где $R_{\text{я0}}$ – малое внутреннее сопротивление якоря ДПТ.

Ток якоря не должен превышать допустимого тока по условиям искрения на коллекторе:

$$I_{\text{яп}} \leq I_{\text{я.доп}} = (2 \div 2.5) I_{\text{ян}},$$

где $I_{\text{ян}}$ – номинальный ток якоря.

Принцип действия двигателя основан на взаимодействии тока якоря $I_{\text{я}}$ с магнитным потоком Φ главных полюсов статора. При этом создается вращающий электромагнитный момент якоря:

$$M_{\text{э}} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}},$$

где C_M – механическая постоянная ДПТ (приводится в каталогах).

Для увеличения пускового момента с помощью реостата возбуждения $R_{\text{в}}$ устанавливают наибольший (номинальный) поток $\Phi_{\text{н}}$ (при токе возбуждения $I_{\text{вн}}$). При этом начальный пусковой момент двигателя:

$$M_{\text{п}} = (2 \div 2.5) M_{\text{н}},$$

где $M_{\text{н}}$ – номинальный момент.

При вращении якоря ДПТ возникает противо-ЭДС:

$$E_{\text{я}} = C_E \cdot \Phi \cdot n,$$

где C_E – электрическая постоянная ДПТ (выбирается по каталогу);

n – частота вращения якоря;

Φ – магнитный поток обмотки возбуждения ДПТ.

Ток якоря ДПТ может определяться формулой:

$$I_{\text{я}} = (U - E_{\text{я}}) / (R_{\text{я0}} + R_{\text{п}}).$$

Для поддержания темпа разгона якоря нужно уменьшать величину значения пускового реостата $R_{\text{п}}$, поддерживая условие: $I_{\text{я}} = \text{const}$. Когда вращающий электромагнитный момент двигателя станет равным моменту сопротивления, дальнейший разгон прекратится, якорь будет продолжать вращаться с установившейся частотой вращения.

Одновременно определяется величина напряжения КЗ:

$$U_{\text{к}} = \frac{U_{1\text{к}}}{U_{1\text{н}}} \cdot 100\% \approx 3 \div 10\%, \quad (1.6)$$

которую указывают в паспорте трансформатора. Обычно у трансформаторов параметры первичной обмотки и приведенной вторичной обмотки определяют по формулам:

$$R_1 = R_2' = \frac{R_{\text{к}}}{2}, \quad X_1 = X_2' = \frac{X_{\text{к}}}{2}. \quad (1.7)$$

Располагая параметрами схемы замещения трансформатора, задаваясь сопротивлением нагрузки $Z_{\text{н}}$, при неизменных значениях напряжения U_1 , частоты f и коэффициента мощности нагрузки $\cos \varphi_2$, можно вычислить все величины, характеризующие работу трансформатора, и построить его характеристики.

Векторные диаграммы токов и напряжений трансформатора в режимах ХХ и КЗ приведены на рисунках 1.5, 1.6 соответственно.

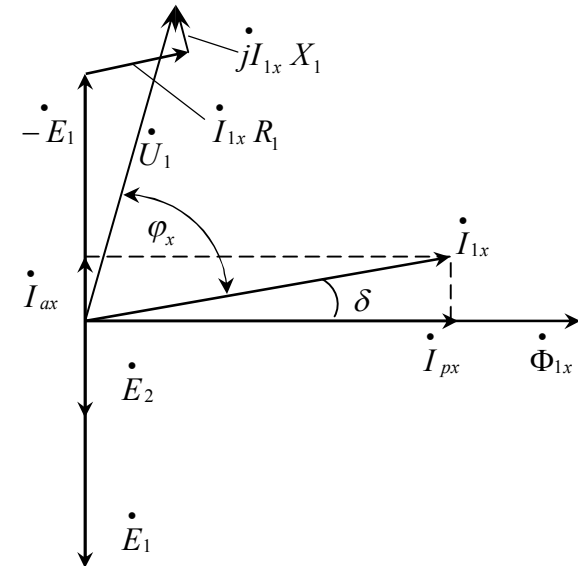


Рисунок 1.5 – Векторная диаграмма токов и напряжений трансформатора в режиме холостого хода (ХХ)



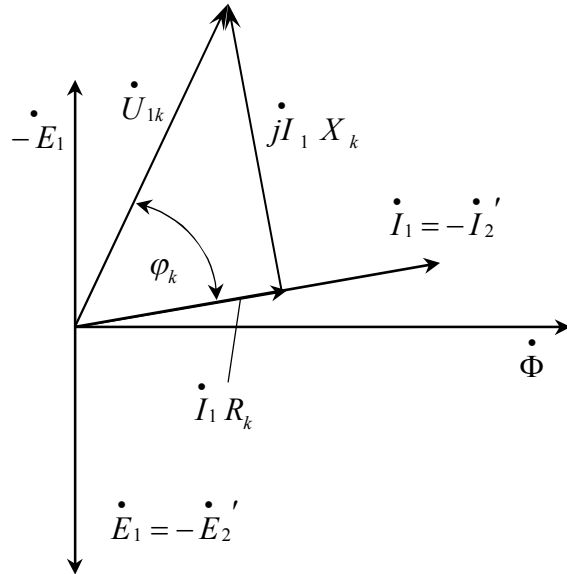


Рисунок 1.6 – Векторная диаграмма токов и напряжений трансформатора в режиме короткого замыкания (КЗ)

Для построения векторной диаграммы токов и напряжений в режиме ХХ может использоваться следующий алгоритм:

1. Горизонтально откладывается вектор потока $\dot{\Phi}_{1x}$ произвольной длины.
2. Под углом δ (см. формулы (1.4)) к вектору потока откладывается вектор тока $\dot{I}_{1x}$ (измерен в опыте ХХ).
3. На основании формулы (1.3) строятся векторы $\dot{I}_{px}$ (совпадает с $\dot{\Phi}_{1x}$) и $\dot{I}_{ax}$ (опережает вектор $\dot{I}_{px}$ на угол 90°).
4. Под углом φ_x (см. формулы (1.4)) к вектору тока $\dot{I}_{1x}$ откладывается вектор напряжения $\dot{U}_1$ (измерено в опыте ХХ).
5. Под углом 90° к вектору тока $\dot{I}_{1x}$ строится вектор $j\dot{I}_{1x} X_1$ напряжения на реактивном сопротивлении X_1 первичной обмотки.

Якорь ДПТ (рисунок 5.1) и шунтовая обмотка возбуждения (ШОВ) подключаются параллельно друг другу и сети постоянного тока U .

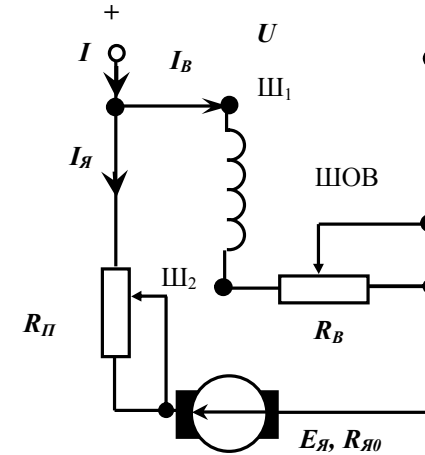


Рисунок 5.1 – Электрическая схема включения ДПТ параллельного возбуждения

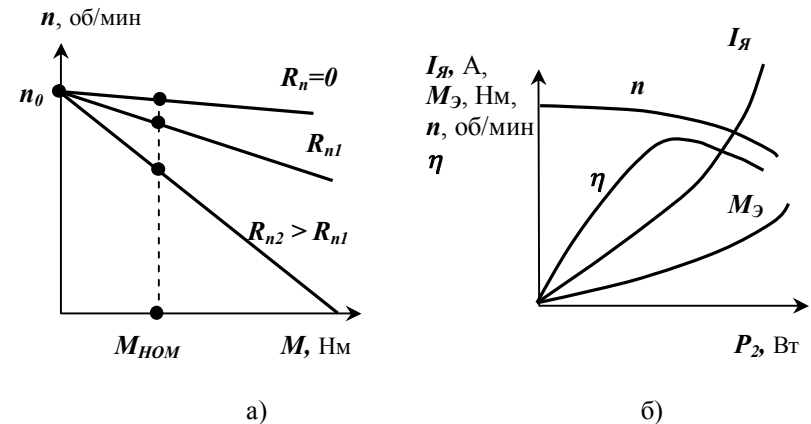


Рисунок 5.2 – Механические (а) и рабочие (б) характеристики ДПТ

Общий ток двигателя определяется выражением:

$$I = I_{Я} + I_B, \quad (5.1)$$



Содержание отчета

1. Схема экспериментальной установки (рисунок 4.4).
2. Расчет механических, скоростных и рабочих характеристик АД.
3. Экспериментальные и расчетные данные (заполненная таблица 4.1). Графики зависимостей $M=f(n)$, $I=f(n)$, $\cos \varphi=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$, $M_2=f(P_2)$, $n=f(P_2)$.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое синхронная скорость асинхронного двигателя? От каких параметров зависит ее величина?
2. Изложите принцип действия АД.
3. Что такое скольжение АД? От чего зависит величина скольжения?
4. Укажите характерные точки механической характеристики АД.
5. Перечислите основные параметры схемы замещения АД.
6. Что представляют собой рабочие характеристики АД?
7. Почему частота вращения ротора АД меньше синхронной?
8. Какие существуют способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя? Дайте их сравнительную оценку.

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

5.1. Цель работы

1. Испытания двигателя постоянного тока (ДПТ) параллельного возбуждения в режиме холостого хода и под нагрузкой.
2. Построение механической и рабочих характеристик ДПТ.
3. Изучение способов регулирования частоты вращения ДПТ.

5.2. Теоретические сведения

ДПТ выгодно отличаются возможностью получения различных значений частоты вращения, в том числе и свыше 3000 об/мин, а также простотой ее регулирования в широком диапазоне, возможностью создавать значительные пусковые и рабочие моменты на валу.

6. Вектор напряжения на активной составляющей первичной обмотки $\dot{I}_{1x} R_1$ строится совпадающим по фазе с вектором тока $\dot{I}_{1x}$.

7. По второму закону Кирхгофа (первое уравнение формул (1.1)) определяется вектор $-\dot{E}_1$ и ему противоположный $\dot{E}_1$.

8. ЭДС $\dot{E}_2$ по величине будет равна напряжению $\dot{U}_{2x}$. Векторы $\dot{E}_2$ и $\dot{E}_1$ направлены в одну сторону.

Аналогично строится векторная диаграмма для режима КЗ.

1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Выписать со стенда паспортные данные исследуемого трансформатора. В настоящей работе исследуется однофазный трансформатор напряжения типа ТС-180 мощностью 220 ВА, который установлен внутри лабораторного стенда, а выводы его обмоток находятся в зоне условного обозначения трансформатора на горизонтальной панели стенда.

2. Исследовать трансформатор в режиме холостого хода. Для этого собрать цепь по схеме, изображенной на рисунке 1.3. Установить входное напряжение регулируемого источника равным номинальному напряжению $U_1=U_{1H}$ (значение взять из паспортных данных трансформатора). Снять показания приборов и занести их в таблицу 1.1.

3. По данным опыта на основании формул (2.4) рассчитать коэффициент трансформации k , параметры ветви намагничивания Z_0 , R_0 , X_0 , угол сдвига фаз между током и напряжением первичной обмотки φ_X , угол магнитных потерь δ . Результаты расчетов занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Данные опыта холостого хода

Установлено	Измерено			Вычислено						
$U_1=U_{1H}$	I_{1X}	P_{1X}	U_{2X}	k	Z_0	R_0	X_0	$\cos \varphi_X$	φ_X^0	δ^0
V	A	Вт	V	---	Ом	Ом	Ом	о.е.	---	---

4. Исследовать трансформатор в режиме короткого замыкания.

Регулятор напряжения установить в положение, соответствующее минимальному напряжению! При проведении опыта следует обеспечить



точный контроль величины тока первичной цепи (не превышающей номинального значения) во избежание создания аварийной ситуации.

Выводы вторичной обмотки трансформатора подключить к выводам амперметра переменного тока, который обладает минимальным внутренним сопротивлением (обеспечив, таким образом, режим КЗ).

Включить источник напряжения. Контролируя значение тока, плавно увеличивая регулятором напряжение, достичь условия: $I_{1K} = I_{1H}$ (это значение взять из паспортных данных трансформатора). Данные опыта занести в таблицу 1.2.

5. Рассчитать параметры КЗ: Z_K , R_K , X_K и сопротивления первичной и вторичной обмоток: R_1 , R_2 , X_1 , X_2 , используя формулы (1.5), (1.6), (1.7). Результаты занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Данные опыта короткого замыкания

Устано- лено	Измерено			Вычислено									
	$I_{1K}=I_{1H}$	U_{1K}	I_{2K}	P_{1K}	U_K	Z_K	R_K	X_K	φ_K	R_1	X_1	R_2	X_2
А	В	А	Вт	В	Ом	Ом	Ом	гр ад	Ом	Ом	Ом	Ом	

6. Построить векторные диаграммы токов и напряжений трансформатора для режимов холостого хода и короткого замыкания.

1.4. Содержание отчета

1. Схемы эксперимента (рисунки 1.3, 1.4).
2. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненные таблицы 1.1, 1.2).
3. Рисунок схемы замещения трансформатора. Расчет параметров схемы замещения трансформатора сделать по формулам (1.4), (1.5), (1.6).
4. Векторные диаграммы режимов холостого хода и короткого замыкания однофазного трансформатора напряжения (векторные диаграммы необходимо строить, выбрав соответствующие масштабы токов и напряжений).
5. Выводы.

Контрольные вопросы.

1. Перечислите виды потерь в трансформаторе.
2. Изложите принцип действия трансформатора напряжения.

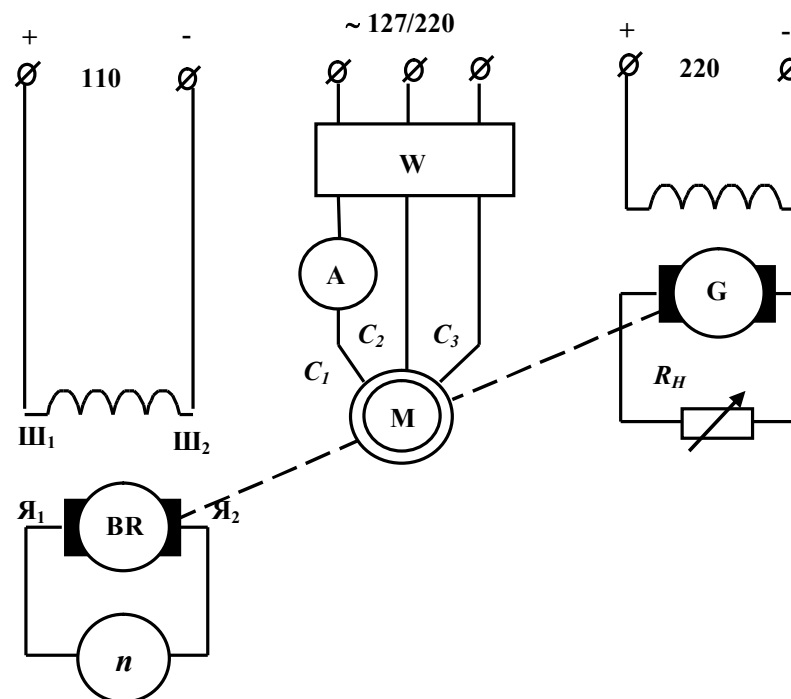


Рисунок 4.4 – Схема экспериментальной установки

5. Отключить все источники питания. Соединить статорные обмотки АД треугольником. Повторить испытания АД по пунктам 3, 4.

6. По данным измерений рассчитать параметры, необходимые для построения $M=f(s)$, $I=f(P_2)$, $M=f(P_2)$, $n=f(P_2)$, $\cos\varphi=f(P_2)$. При расчетах рекомендуется использовать приближенные соотношения для мощности на валу двигателя:

$$P_2 = P_1 - P_{1\text{XX}};$$

$$\text{для вращающего момента двигателя: } M = \frac{9550}{n} P_2.$$

7. По данным таблицы 4.1 построить в одних координатных осях механические характеристики $M=f(n)$ и зависимость $I=f(n)$.

Построить рабочие характеристики $\cos\varphi=f(P_2)$, $\eta=f(P_2)$, $M_2=f(P_2)$, $n=f(P_2)$ в одной системе координат.

8. Сравнить полученные результаты для соединения обмоток статора звездой и треугольником, сделать выводы.



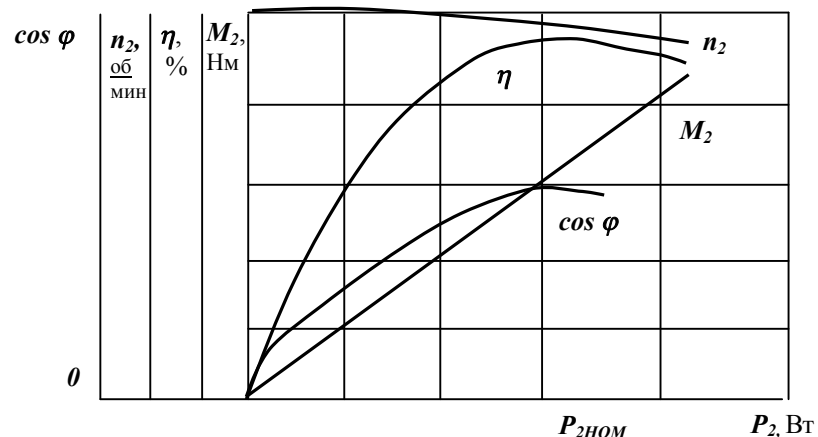


Рисунок 4.3 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя

4.3. Порядок выполнения работы

1. Записать номинальные паспортные данные исследуемого двигателя.
2. Собрать цепь, схема которой изображена на рисунке 4.4. Соединить обмотки статора звездой.
3. Включить все источники при отключенной нагрузке. Измерить пусковой ток двигателя. Записать показания приборов при холостом ходе двигателя в таблицу 4.1.
4. Подключить магазин сопротивлений $R_l - R_6$. Снять показания приборов при изменении сопротивления нагрузки путем поочередного отключения сопротивлений $R_l - R_6$ и занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Режим работы	Измерено			Вычислено				
	I	P_l	n	S	P_2	η	M	$\cos \varphi$
	А	Вт	об/мин	о.е.	Вт	%	Н·м	о.е.
Холостой ход								
Y	1							
	⋮							
	6							
Δ	1							
	⋮							
	6							

3. Дайте характеристику режиму холостого хода.
4. Как определить коэффициент трансформации однофазного трансформатора?
5. Дайте характеристику режиму короткого замыкания.
6. Перечислите основные элементы схемы замещения приведенного трансформатора.
7. Приведите алгоритм построения векторной диаграммы трансформатора в режиме холостого хода.
8. Приведите соотношения для расчета параметров ветви намагничивания трансформатора.
9. Приведите соотношения для расчета параметров первичной и вторичной обмоток трансформатора.
10. Для чего в трансформаторе устанавливается шихтованный ферромагнитный сердечник?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПОД НАГРУЗКОЙ

2.1. Цель работы. Изучение зависимостей основных характеристик трансформатора (коэффициент мощности, вторичного напряжения и к.п.д.) от нагрузки.

2.2. Теоретические сведения

Ввиду наличия активного сопротивления обмоток трансформатора и магнитных потоков рассеяния, напряжение на зажимах вторичной обмотки зависит от нагрузки. Иллюстрируют эту зависимость внешние характеристики, показывающие изменение вторичного напряжения U_2 при изменении вторичного тока I_2 при неизменном коэффициенте мощности нагрузки $\cos \varphi_2 = \text{const}$, номинальных значениях первичного напряжения U_{1H} и частоты. Об изменении вторичного напряжения судят по величине

$$\Delta U = \frac{U_{2X} - U_2}{U_{2X}}, \quad (2.1)$$

где U_{2X} – вторичное напряжение в режиме холостого хода трансформатора (см. лабораторную работу № 1).

Практически процентное изменение вторичного напряжения вычисляют по приближенной формуле:

$$\Delta U \approx \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \cdot \cos \varphi_2),$$



где

$$\beta = \frac{I_1}{I_{2H}} \quad (2.2)$$

– коэффициент нагрузки;

$U_a = P_{1K}/100S_H\%$ – активная составляющая напряжения короткого замыкания (в процентах);

S_H – номинальная полная мощность;

$U_p = \sqrt{U_K^2 - U_a^2}$ – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания;

U_K – напряжение короткого замыкания в процентах (см. лабораторную работу № 1).

На рисунке 2.1 приведены графики зависимости $\Delta U = f(\beta)$ трансформатора, работающего при различных значениях коэффициента мощности нагрузки $\cos \varphi_2$.

Работа трансформатора сопровождается магнитными и электрическими потерями. Магнитные потери связаны с перемагничиванием сердечника и возникновением в нем вихревых токов. При неизменных значениях первичного напряжения и частоты переменного тока эти потери практически неизменны и соответствуют мощности P_{1x} и измеряемой в опыте холостого хода.

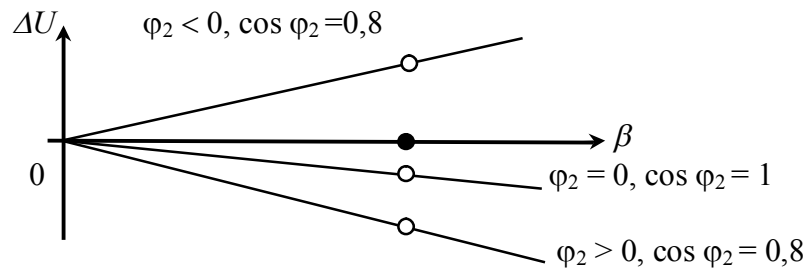


Рисунок 2.1 – Внешние характеристики трансформатора для различного характера нагрузки

Электрические потери определяют нагрев обмоток трансформатора, зависят от нагрузки трансформатора и равны $\beta^2 P_{1K}$.

Следовательно, КПД трансформатора при любой нагрузке:

$M_2 = f(P_2)$ – зависимость полезного момента, $n = f(P_2)$ – зависимость частоты вращения от нагрузки на валу (рисунки 4.2, 4.3).

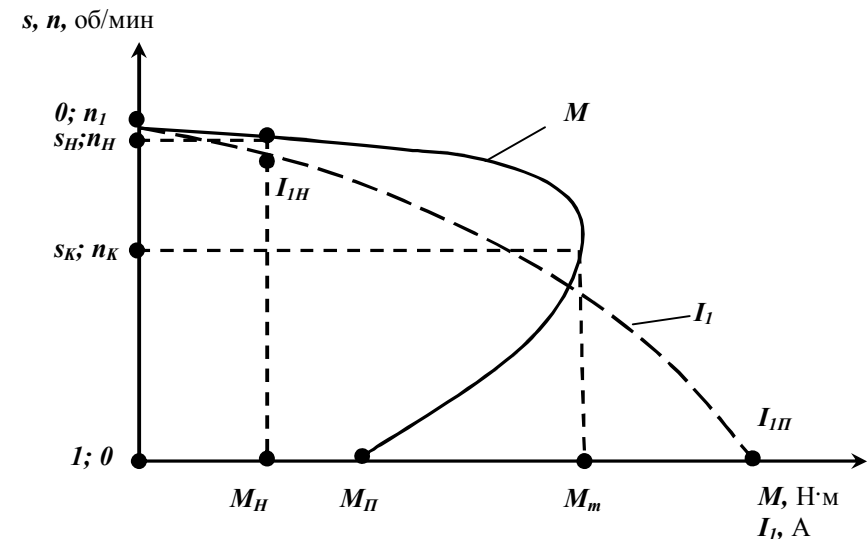


Рисунок 4.2 – Механическая характеристика АД и зависимость тока статора от скольжения

Анализ характеристики АД позволяет считать его в отличие от трансформатора универсальным преобразователем, который изменяет не только значение, но и частоту вторичных напряжений и токов.

В данной лабораторной работе для создания нагрузочного момента M_2 на валу трехфазного АД в установке используется генератор постоянного тока G, вал которого соединен с валом двигателя M. Нагрузкой генератора постоянного тока является группа резисторов $R_1 - R_6$.

Частота вращения АД измеряется электрическим тахогенератором BR, ЭДС якоря которого пропорциональна частоте вращения АД. Общая механическая связь указана на схеме штриховой линией. Указателем скорости является вольтметр, градуированный в единицах частоты вращения (об/мин) и подключенный к якорю тахогенератора BR.



Уравнение токов двигателя:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{1X} - \dot{I}_2' \quad (4.5)$$

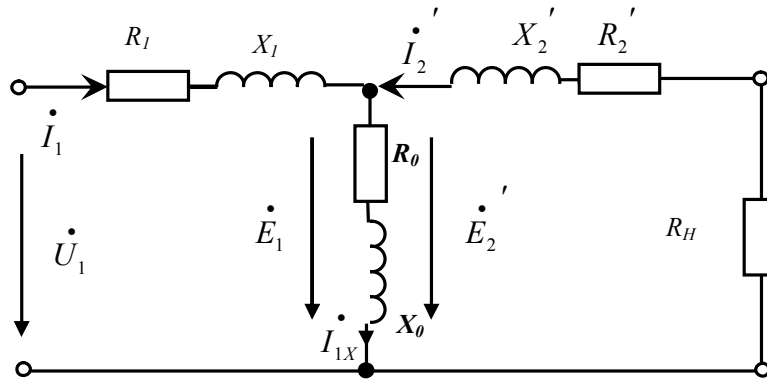


Рисунок 4.1 – Схема замещения асинхронного двигателя

Приведенные величины определяются из соотношений:

$$\dot{I}_2' = \frac{\dot{I}_2}{K_I}; \quad \dot{E}_2' = K_E \dot{E}_2; \quad R_2' = k \cdot R_2; \quad X_2' = k \cdot X_2, \quad (4.6)$$

где

$$K_I = \frac{m_1 \cdot K_{o61} \cdot W_1}{m_2 \cdot K_{o62} \cdot W_2}; \quad K_E = \frac{K_{o61} \cdot W_1}{K_{o62} \cdot W_2}; \quad k = K_I \cdot K_E; \quad (4.7)$$

m_1 и m_2 – число фаз обмоток статора и ротора,

K_{o61} , K_{o62} – обмоточные коэффициенты статора и ротора, учитывающие особенности их конструкции ($K_{o61}=0,95 - 0,96$; для двигателя с короткозамкнутым ротором $K_{o62}=1$).

Ток короткозамкнутого ротора

$$\dot{I}_2' = \dot{E}_2' / (R_2' / s + jX_2') \quad (4.8)$$

зависит от скольжения. Зависимость тока статора от скольжения представлена на рисунке 4.2. Характерными точками графика являются: I_{IH} – номинальный ток, I_{In} – номинальный пусковой ток.

Работа трехфазного АД графически описывается механической характеристикой $n=f(M)$ и рабочими характеристиками: $\cos \varphi=f(P_2)$ – зависимость коэффициента мощности, $\eta=f(P_2)$ – зависимость к.п.д.,

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.3)$$

или

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{1X} + \beta^2 P_{1K}} = \frac{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_H \cdot \cos \varphi_2 + P_{1X} + \beta^2 P_{1K}},$$

где P_1 и P_2 – активная мощность на входе и на выходе трансформатора. КПД трансформатора зависит от коэффициента нагрузки β и коэффициента мощности нагрузки $\cos \varphi_2$. Максимальное значение КПД достигается при равенстве магнитных и электрических потерь. При этом:

$$P_{1X} = \beta_0^2 \cdot P_{1K},$$

где β_0 – коэффициент нагрузки, удовлетворяющий равенству потерь:

$$\beta_0 = \sqrt{\frac{P_{1X}}{P_{1K}}}. \quad (2.4)$$

Учитывая, что эксплуатационные значения $\beta = 0.5 \div 0.8$, трансформаторы рассчитывают так, что $\frac{P_{1X}}{P_{1K}} = 0.25 \div 0.65$. Это обеспечивает для трансформаторов средней и большой мощности максимальный КПД $\eta = 0.95 \div 0.99$, а для трансформаторов малой мощности $\eta = 0.6 \div 0.9$.

Рабочие характеристики трансформатора: зависимость КПД от коэффициента нагрузки, зависимость коэффициента мощности от мощности нагрузки, иллюстрируют графики на рисунке 2.2.



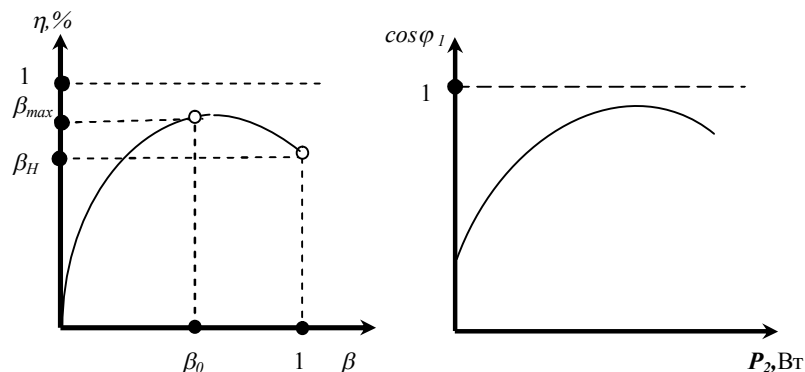


Рисунок 2.2 – Графики зависимостей $\eta = f(\beta)$, $\cos \varphi_1 = f(P_2)$

В работе исследуется маломощный однофазный трансформатор. В качестве нагрузки исследуемого трансформатора (потребителей, подключаемых ко вторичной обмотке) используется группа резисторов, которые подключаются к общим выводам (R_H) теми же переключателями, что и конденсаторы лабораторного стенда.

2.3. Порядок выполнения работы

1. Переписать со стенда номинальные паспортные данные исследуемого трансформатора ТС-180.

2. Исследовать трансформатор под нагрузкой. Для этого собрать схему, изображенную на рисунке 2.3. Включить источник переменного регулируемого напряжения. Установить напряжение источника $U_1 = U_{1H}$. Изменяя сопротивление нагрузки путем включения резисторов $R_1 \div R_6$, увеличить ток нагрузки трансформатора от нуля до значения I_{2H} (сделать 7 переключений). Данные опытов записать в таблицу 2.1.

3. Построить экспериментальный график внешней характеристики. Для этого рассчитать значения ΔU и коэффициента нагрузки β , используя формулы (2.1), (2.2).

4. Построить зависимость КПД трансформатора от коэффициента нагрузки, используя соотношение (2.3). По формуле (2.4) теоретически определить значение коэффициента нагрузки β_0 , соответствующего максимальному КПД и сверить с результатом эксперимента.

Таблица 2.1 – Экспериментальные и расчетные данные

Частота вращения этого поля n_0 или синхронная частота вращения n_1 (об/мин) пропорциональна частоте тока в обмотке статора f_1 и обратно пропорциональна числу пар полюсов $2p$ обмотки статора АД:

$$n_0 = n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}. \quad (4.1)$$

Вращающийся магнитный поток Φ , замыкаясь через статор, воздушный зазор, ротор, пересекает обмотки статора и ротора, индуцируя в них ЭДС (индукционное действие магнитного поля). При замкнутой цепи ротора проявляется механическое действие магнитного поля. Совокупность всех сил, действующих на проводники ротора, создают общий электромагнитный момент, совпадающий с направлением вращения электромагнитного поля. Для создания вращающегося момента ротор должен вращаться медленнее поля, т.е. асинхронно.

В качестве оценки разности частот вращения магнитного поля статора и ротора используется параметр – скольжение АД:

$$s = \frac{(n_0 - n)}{n_0} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

где n – частота вращения ротора, об/мин.

В начальный момент пуска ротор неподвижен, $n=0$, начальное пусковое скольжение $s_H=1$. С ростом частоты вращения ротора n скольжение уменьшается. Зная скольжение, можно определить частоту вращения ротора:

$$n = n_0(1 - s). \quad (4.3)$$

Скольжение, соответствующее номинальной нагрузке АД, называется номинальным скольжением s_H . Для АД скольжение s_H изменяется в пределах от 1% до 8%.

Существует аналогия между АД и трансформаторами, которая очевидна при неподвижном роторе. Несмотря на конструктивные различия, электромагнитные процессы в АД аналогичны электромагнитным процессам в трансформаторе. Схема замещения АД изображена на рисунке 4.1.

Приведенные к статору уравнения электрического равновесия для фазы статора и ротора имеют вид (см. рисунок 4.1):

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1, \\ 0 &= \dot{E}_2' - \frac{R_2'}{S} \dot{I}_2' - jX_2' \dot{I}_2' - \dot{U}_H'. \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$



3.4. Содержание отчета

1. Рисунки основных элементов конструкции асинхронных двигателей.
2. Номинальные паспортные данные АД.
3. Результаты проверки маркировки зажимов фаз статора АД.
4. Расчет механической характеристики АД по паспортным данным и таблица 3.2 с данными расчетов.
5. График механической характеристики $M_2 = f(n)$.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Основные конструктивные элементы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
 1. Условно-графическое обозначение в электрических схемах АД с короткозамкнутым ротором.
 2. Каково расположение соединительных пластин в клеммной коробке АД при соединении обмоток статора «треугольником» или «звездой»?
 3. Как производится маркировка зажимов обмоток статора АД?
 4. Перечислите номинальные паспортные данные АД.
 5. Что такое синхронная скорость двигателя?
 6. Что такое скольжение асинхронного двигателя?
 7. Как рассчитывается механическая характеристика АД с помощью формулы Клосса?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

4.1. Цель работы

1. Испытание асинхронного двигателя (АД) под нагрузкой.
2. Исследование рабочих характеристик АД.

4.2. Теоретические сведения

Принцип действия АД основан на способности обмотки статора создавать вращающееся магнитное поле за счет особенностей конструкции и наличия трехфазной питающей сети переменного тока.

Измерено						Вычислено			
R_H	$U_1 = U_{IH}$	P_1	I_1	U_2	I_2	β	$P_2 = U_2 I_2 \times \cos \varphi_2$	η	$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1}$
Ом	В	Вт	А	В	А	.	Вт	%	о.е.
x.x									
R_1									
R_2									
R_3									
R_4									
R_5									
R_6									

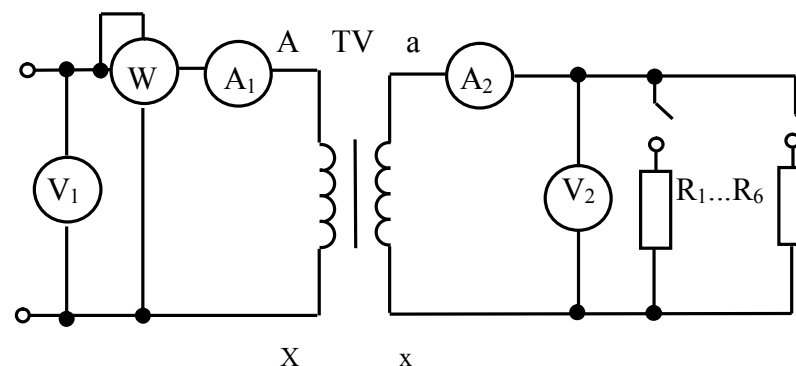


Рисунок 2.3 – Схема экспериментальной установки

5. Построить зависимость коэффициента мощности трансформатора от мощности нагрузки: $\cos \varphi_1 = f(P_2)$. Мощность P_2 следует определять по формуле:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

При этом необходимо учитывать, что коэффициент мощности $\cos \varphi_2 = 1$ ввиду активного характера нагрузки.

2.4. Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки (рисунок 2.3).
2. Результаты экспериментальных и расчетных данных (заполненная таблица 2.1).



3. Графики зависимостей $\Delta U = f(\beta)$, $\eta = f(\beta)$, $\cos \varphi_1 = f(P_2)$.
4. Выводы.

2.5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение к.п.д. трансформатора.
2. Опишите характер изменения коэффициента мощности трансформатора при изменении нагрузки.
3. Как зависят электрические и магнитные потери от нагрузки трансформатора?
4. Дайте характеристику номинального режима работы трансформатора.
5. Какие виды эксплуатационных характеристик трансформатора вы знаете?
6. Что такое внешняя характеристика трансформатора?
7. Как определяются коэффициенты мощности и нагрузки трансформатора? Когда они принимают максимально возможное значение?
8. Перечислите виды потерь в трансформаторе.
9. Разъясните понятия активной, реактивной и полной мощности трансформатора.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, АНАЛИЗ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

3.1. Цель работы

1. Изучение конструктивных особенностей асинхронных двигателей, разметки зажимов фаз, анализ паспортных данных асинхронных двигателей (АД).
2. Построение механической характеристики АД.

3.2. Теоретические сведения

Асинхронные машины – это машины переменного тока, широко применяемые в качестве двигателей. Преимущества АД: простота конструкции, высокая надежность, простейшие требования к обслуживанию.

АД состоит из статора и ротора. Статор состоит из корпуса, в котором помещен сердечник в виде цилиндра, набранного из листов электро-технической стали. В его пазах на внутренней поверхности укладываются

а по соотношению

$$n = n_1(1-s) \quad (3.10)$$

определяют соответствующие значения частоты вращения вала двигателя n , то есть определяют все точки механической характеристики $M_{\Sigma} = f(n)$.

В настоящей работе используется лабораторная установка, представляющая собой стенд с измерительными приборами, реостатом и исследуемым АД, выводы обмоток статора которого расположены на наклонной панели стенда.

3.3 Порядок выполнения работы

1. Ознакомится с конструкцией электрических машин переменного тока.

Записать номинальные паспортные данные исследуемого асинхронного двигателя.

Сделать рисунки, на которых указать основные элементы конструкции асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Указать назначение основных элементов конструкции АД с короткозамкнутым ротором.

Указать материалы, из которых выполнены элементы конструкции, а также технологию изготовления этих элементов.

2. Осуществить проверку маркировки зажимов фаз статора, предварительно определив зажимы, относящиеся к одной фазе статора (см. рисунки 3.1, 3.2).

3. На основе паспортных данных произвести расчет механической характеристики двигателя $M_{\Sigma} = f(n)$, используя формулы (3.1) – (3.10). Результаты занести в таблицу 3.2 и построить график зависимости $M_{\Sigma} = f(n)$.

Таблица 3.2 – Расчет механической характеристики АД

s	о.е.	1											0
M	Н·м												
n	об/мин												



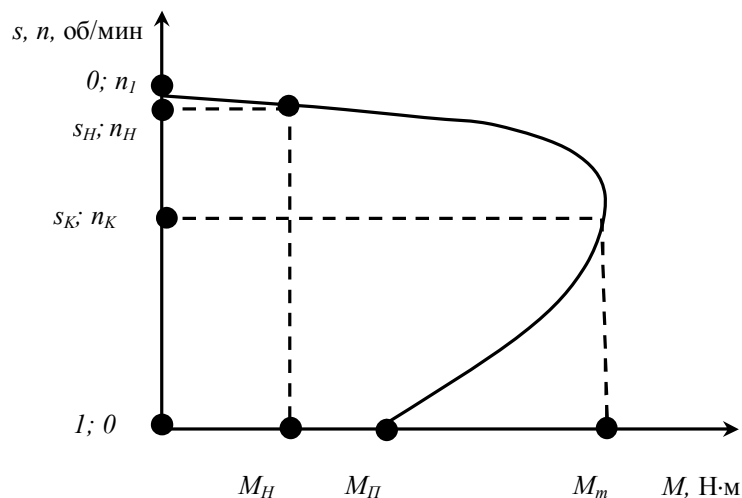


Рисунок 3.3 – Механическая характеристика асинхронного двигателя

При наличии технических паспортных данных АД есть возможность построить эту характеристику. Для этого определяются: номинальный момент:

$$M_H = 9550 P_H / n_H; \quad (3.4)$$

максимальный момент:

$$M_m = \lambda_m \cdot M_H; \quad (3.5)$$

синхронная частота вращения:

$$n_1 = 60 \cdot f_1 / p; \quad (3.6)$$

номинальное скольжение:

$$s_H = (n_1 - n_H) / n_1. \quad (3.7)$$

критическое скольжение:

$$s_K = s_H (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}). \quad (3.8)$$

Используя рассчитанные значения M_m и s_K и задаваясь рядом значений s по формуле Клосса, определяют соответствующие значения вращающего электромагнитного момента:

$$M_{\vartheta} = \frac{2M_m}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (3.9)$$

три катушки (фазы) обмотки статора, каждая из которых занимает 1/3 пазов статора. Концы фаз выводятся в статорную коробку. Фазы обмотки включаются в сеть либо «звездой», либо «треугольником» [5].

Сердечник ротора набран из листов электротехнической стали, имеет пазы у наружной поверхности. Короткозамкнутый ротор создают путем заливки пазов алюминием так, чтобы в пазах оказались алюминиевые стержни, которые на торцах соединены алюминиевыми кольцами. Такую конструкцию обмотки ротора называют обмоткой типа «белчьи клетки».

В собранном двигателе ротор находится внутри статора и вращается в подшипниковых щитах.

Один и тот же АД можно использовать при двух различных линейных напряжениях, отношение которых равно $\sqrt{3}$, например: 127/220, 220/380, 380/660 В.

Это достигается различным соединением обмоток статора АД: в «треугольник» или «звезду».

Если маркировка зажимов фаз отсутствует, то она производится при помощи вольтметра переменного тока, который включается между одним из проводов сети переменного тока и каким-либо выходным зажимом АД. Другой конец сети поочередно присоединяется к остальным зажимам до установления отклонения стрелки вольтметра (рисунок 3.1). Таким образом находят три пары зажимов, относящихся к отдельным фазам статора: C1, C2 и C3 – начала обмоток, а C4, C5 и C6 – концы обмоток статора.

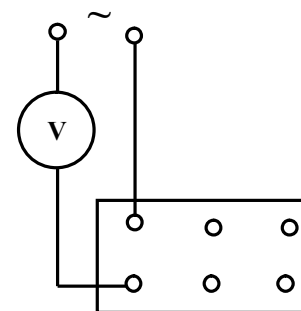


Рисунок 3.1 – Схема для маркировки фаз статора АД с помощью вольтметра

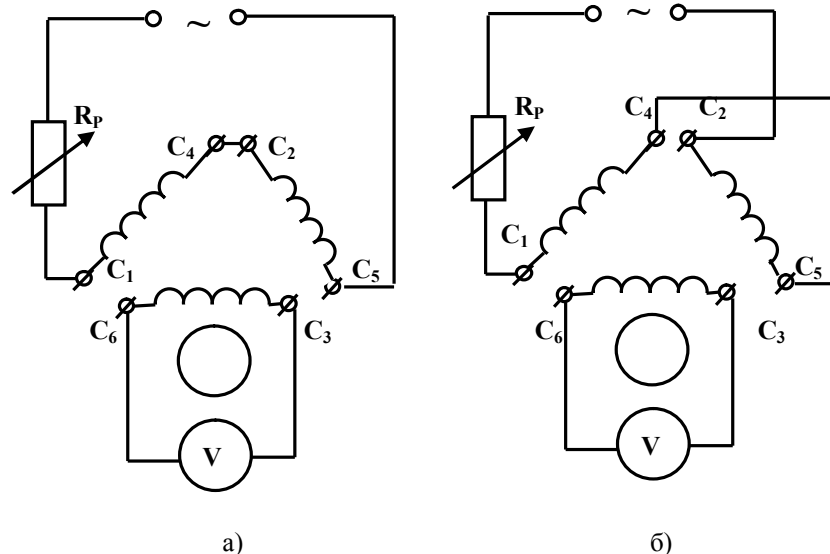


Рисунок 3.2 – Маркировка начала и конца фаз статора АД

Маркировка начала и конца соответствующей фазы производится по схемам на рисунке 3.2, в которой используется регулирующий реостат R_p . Зажимы на одной из фаз произвольно обозначаются C_1, C_4 . Если стрелка вольтметра отклоняется, то зажим C_4 соединен с зажимом C_2 – началом второй фазы статора (рисунок 3.2,а) (так называемое согласное включение двух фаз). Встречное включение – если зажим C_4 соединен с C_5 концом второй фазы статора (рисунок 3.2,б) (вольтметр покажет ноль).

Таким же образом определяются зажимы C_3 и C_6 начала и конца третьей фазы статора.

В каталоге для АД с короткозамкнутым ротором указаны следующие номинальные параметры: P_H – номинальная мощность (механическая, определяемая на валу АД); $2p$ – число пар полюсов статора; n_H – номинальное число оборотов; f_l – частота тока сети; η – номинальный КПД; $\cos \varphi_H$ – номинальный коэффициент мощности; U_{1H} – номинальное напряжение (линейное и фазное); I_{1H} – номинальный ток, потребляемый из сети (линейный и фазный); $\lambda_m = \frac{M_m}{M_H}$; $\lambda_{II} = \frac{M_{II}}{M_H}$ – кратности максимального

M_m и пускового M_{II} моментов соответственно; $K_{II} = \frac{I_{II}}{I_{НОМ}}$ – кратность пускового тока; $\star$ (звезда), $\triangle$ (треугольник) – схемы соединения обмоток статора.

ПРИМЕР: Асинхронный двигатель типа АО2-52-4ОМ2 имеет следующие технические паспортные данные:

Таблица 3.1 - Технические данные двигателя
 $P_{НОМ} = 10$ кВт; $\eta = 89\%$; $\cos \varphi_H = 0,88$; $n_H = 1440$ об/мин;
 $\lambda_m = 2,0$; $\lambda_{II} = 2,0$; $K_{II} = 7,0$;

По этим данным асинхронного двигателя можно определить: активную мощность, потребляемую двигателем из сети:

$$P_{1H} = P_H / \eta_H ; \quad (3.1)$$

полную мощность:

$$S_{1H} = P_{1H} / \cos \varphi_H = P_H / (\eta_H \cdot \cos \varphi_H) ; \quad (3.2)$$

реактивную мощность:

$$Q_{1H} = \sqrt{S_{1H}^2 - P_{1H}^2} . \quad (3.3)$$

Часто в справочной литературе по электрическим машинам приводится график механической характеристики асинхронного двигателя $n=f(M)$ (рисунок 3.3).

