

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА  
КАРИМОВА**

**С.М. Гиясов, Ф.С. Исаков**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

**Методические указания для выполнения  
лабораторных работ**

**Ташкент 2019**

## УДК 621.313

Сост.: Гиясов С.М., Исаков Ф.С.

Электрические машины: Методические указания для выполнения лабораторных работ. – Ташкент: ТашГТУ, 2019. – 40 с.

В методических указаниях приводится методика изучения лабораторных работ по предмету «Электрические машины».

В методических указаниях для трехфазных двухобмоточных трансформаторов (характеристики холостого хода (х.х.х.), короткого замыкания (к.з.), нагрузки, группы соединений, параллельная работа), асинхронные двигатели с к.з. ротором (х.х.х., к.з. и нагрузки), синхронного генератора (х.х.х., к.з. и индукционной нагрузки), машины постоянного тока (х.х.х., к.з., нагрузки, внешняя и регулировочная) приведены порядок выполнения лабораторных работ и составления отчетов.

Методические указания предназначены для студентов бакалавриатуры направления обучения 5312100 – Энергоаудит и энергетическое обследование промышленных предприятий

Печатаются по решению научно–методического совета Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова

**Рецензенты:** к.ф-м.н, доц. **Ахмедов А.П.** (Ташкентский институт по проектированию, строительства и эксплуатации автомобильных дорог);  
к.т.н, доц. **Туляганов М.М.** (ТашГТУ)

©Ташкентский государственный технический университет, 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных требований развития Республики Узбекистан является подготовка высококвалифицированных специалистов для различных отраслей народного хозяйства. Для этого необходимо дальнейшее совершенствование учебного процесса в высших учебных заведениях, обучение студентов к самостоятельной работе и развитие их профессиональных навыков. Обучение студентов академическим знаниям в течение учебного года, отслеживание их домашней работы и самостоятельной работы, а также обучение их ориентированному на учащихся курсу обучения делают их углубленным экспертом. Одним из способов, с помощью которого студенты могут самостоятельно изучать информацию во время занятий, является лабораторное обучение.

Эти руководящие принципы представляют собой руководство для студентов по работе в масштабах промышленных предприятий по проектированию, изготовлению и расчету электрооборудования, а также по установке экономичного электрооборудования с учетом экономического положения предприятия.

Электрические машины и трансформаторы широко используются в различных отраслях промышленности, энергетике, транспорте (аэрокосмической, железнодорожной, автомобильной, метро, трамвайной, троллейбусной), сельском хозяйстве и водном хозяйстве, строительстве и других отраслях.

Методические указания подготовлены по программе «Электрические машины» для студентов высших учебных заведений по направлению «Энергоаудит и энергетическое обследование промышленных предприятий», в которую входят трансформаторы, асинхронные машины, синхронные машины и машины постоянного тока.

Данные методические указания могут оказаться полезными при выполнении лабораторных работ по предмету «Электрические машины» для получения степени бакалавра в области высшего образования 5312100 - Энергоаудит и энергетическое обследование промышленных предприятий.

# Лабораторная работа №1

## Исследование трехфазного двухобмоточного трансформатора при холостом ходе и коротком замыкании

### 1.1. Цель работы

1. Целью настоящей работы является ознакомление с конструкцией и характеристиками трансформатора.
2. Определение параметров холостого хода и короткого замыкания.

### 1.2. Программа работы

1. Произвести внешний осмотр трансформатора, собрать схему и записать номинальные данные трансформатора.
2. Снять и построить характеристику холостого хода трансформатора  $I_0, P_0, \cos\varphi_0 = f(U_0)$  при  $f = f_H = \text{const}$  и  $I_2 = 0$ .
3. Снять и построить характеристику короткого замыкания  $I_K, P_K, \cos\varphi_K = f(U_K)$  при  $f = f_H = \text{const}$  и  $U_2 = 0$ .
4. По данным опытов определить:
  - а) коэффициент трансформации  $k_{\text{тр}}$
  - б) ток холостого хода в % от номинального тока при  $U_0 = U_H$ .
  - в) параметры холостого хода:  $Z_0, R_0, X_0$ .
  - г) напряжение короткого замыкания в % от номинального напряжения при  $I = I_H$ .
  - д) параметры короткого замыкания  $Z_K, R_K, X_K$ .

### 1.3. Порядок выполнения работы и составление отчета

1. Ознакомиться с конструкцией трансформатора и записать его номинальные данные. Собрать схему для проведения опыта холостого хода, (рис 1.1).
2. Для выполнения опытов холостого хода и короткого замыкания требуется устройство для понижения напряжения, подводимого к трансформатору, и плавного регулирования его. Для этого используется индукционный регулятор. Перед включением надо установить то положение ротора, при котором напряжение на выходных зажимах наименьшее, так как ток включения может в

несколько раз превышать номинальное значение и повредить приборы.

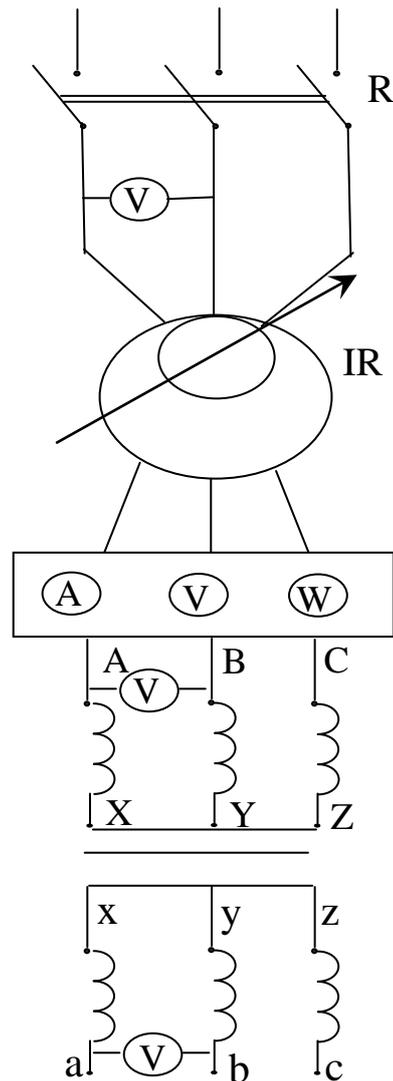


Рис. 1.1. Схема для проведения опыта холостого хода.

Таблица 1.1.

Опытные данные									Расчетные данные						
$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$I_0$	$U_0$	$P_0$	$\cos\varphi_0$	$Z_0$	$X_0$	$r_0$

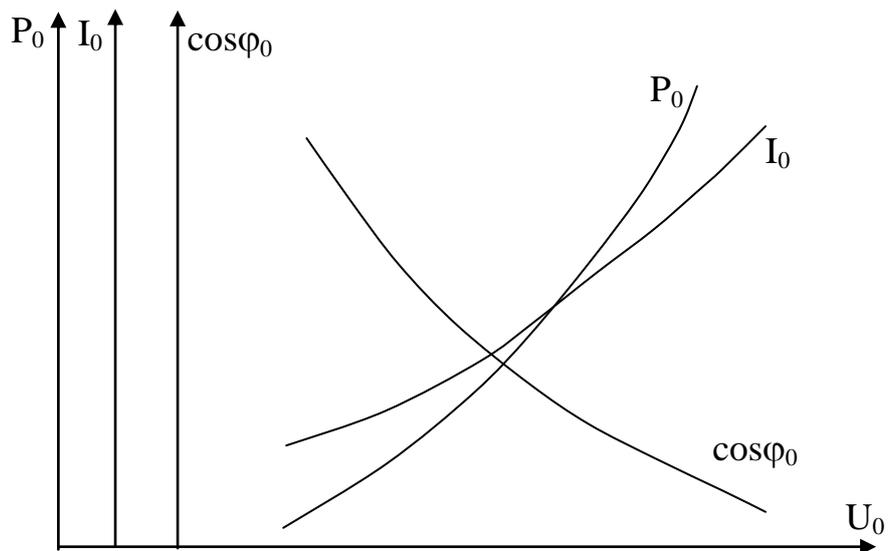


Рис.1.2. Характеристики холостого хода

$P_0$  – мощность холостого хода,  $I_0$  – ток холостого хода,  $\cos\varphi_0$  – коэффициент мощности холостого хода,  $U_0$  – напряжение холостого хода.

Опыт холостого хода снимается при разомкнутой вторичной обмотке, а к первичной обмотке подводится напряжение, изменяющееся в пределах от  $U_0 = 0,3U_H$  до  $U_0 \approx 1,1U_H$ . Амперметр устанавливается на предел тока, составляющего не более 10%  $I_H$ , т.к. ток холостого хода  $I_0 \approx (1 \div 10)\% I_H$ . Большие значения соответствуют для трансформаторов малой мощности. Записываются показания тока, мощности и напряжения во всех трех фазах трансформатора в табл.1. Всего целесообразно снять 5 ÷ 6 точек.

3. Из опыта холостого хода определяют  $U_0$ ,  $P_0$ ,  $\cos\varphi_0$ ,  $Z_0$ ,  $R_0$ ,  $X_0$ ,  $K_{тр}$  и заносят их в табл. 1.1.

Вычисления производятся по следующим формулам:

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} C_A ;$$

$$I_0 = \frac{I_0}{I_H} 100\% \text{ – определяется при } U_H ;$$

$$U_0 = \frac{U_A + U_B + U_C}{3} C_V ;$$

$$P_0 = (P_A + P_B + P_C) C_W ,$$

где  $C_A$ ,  $C_V$ ,  $C_W$  – цена деления амперметра, вольтметра и ваттметра

$$K_{np} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_0}{U_a} ,$$

Коэффициент мощности при холостом ходе равен:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{3 \cdot I_0 \cdot U_0} ,$$

$$P_0 = P_{ст} + P_M = P_{ст} + 3I_0^2 r_1 ,$$

так как потери в меди при холостом ходе малы, то вся мощность холостого хода идет на потери в стали

$$P_0 \approx P_{ст}$$

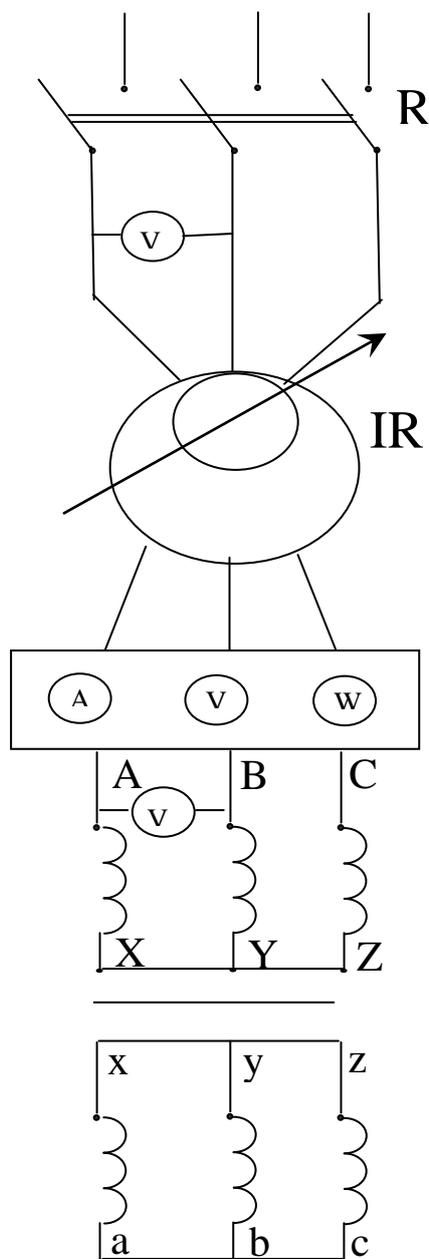


Рис.1.3. Схема для проведения опыта короткого замыкания

Из опыта холостого определяют также параметры цепи намагничивания трансформатора:  $Z_m, R_m, X_m$ .

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0}; R_0 = \frac{P_0}{3I_0^2}; X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2};$$

$$Z_0 = Z_1 + Z_m, \text{ т.к. } Z_1 \ll Z_m, \text{ то } Z_m \approx Z_0;$$

$$r_0 = r_1 + r_m, \text{ т.к. } r_1 \ll r_m, \text{ то } r_m \approx r_0;$$

$$X_0 = X_1 + X_m, \text{ т.к. } X_1 \ll X_m, \text{ то } X_m \approx X_0.$$

По вычисленным данным строят характеристики холостого хода  $I_0, P_0, \cos\varphi_0 = f(U_0)$ , примерный вид которых показан на рис.1.2.

4. Опыт трехфазного короткого замыкания проводится по схеме рис.1.3, т.е. при замкнутой вторичной обмотке и  $U_2 = 0$ .

В опыте короткого замыкания подается на первичную обмотку такое пониженное напряжение, чтобы ток первичной обмотки изменился от 0 до  $I_H$ . Снимают 4÷5 точек. Опытные данные записывают в табл.1.2.

Таблица 1.2.

Опытные данные									Расчетные данные						
$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$I_K$	$U_K$	$P_K$	$\cos\varphi_K$	$Z_K$	$X_K$	$R_K$

2. По данным короткого замыкания находят  $U_K, I_K, P_K, \cos\varphi_K$  по формулам аналогичным формулам опыта холостого хода:

$$I_K = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} C_A;$$

$$U_K = \frac{U_A + U_B + U_C}{3} C_V;$$

$$P_K = (P_A + P_B + P_C) C_W;$$

$$\cos\varphi_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_K \cdot U_K};$$

Напряжение короткого замыкания  $U_K$  в % определяют при  $I_H$  по формуле:

$$U_K \% = \frac{U_K}{U_H} 100\%$$

Параметры короткого замыкания равны:

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K}; R_K = \frac{P_K}{3I_K^2}; X_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}$$

По вычисленным данным строят характеристики короткого замыкания  $I_K$ ,  $P_K$ ,  $\cos\varphi_K = f(U_K)$ , (рис. 1.4).

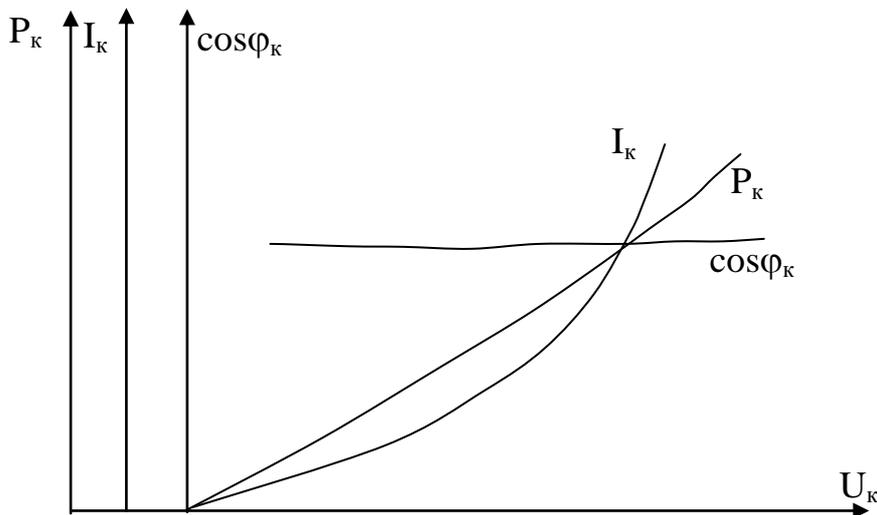


Рис. 1.4. Характеристики короткого замыкания

$P_K$  – мощность короткого замыкания,  $I_K$  – ток короткого замыкания,  $\cos\varphi_K$  – коэффициент мощности короткого замыкания,  $U_K$  – напряжение короткого замыкания

### 1.4. Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия и конструкцию трансформатора.
2. Как определяется коэффициент трансформации?
3. Почему при холостом ходе коэффициент мощности с увеличением напряжения падает?
4. Почему при коротком замыкании зависимость  $\cos\varphi_K = f(U_K)$  остается постоянной?
5. Куда тратится мощность, потребляемая трансформатором из сети при холостом ходе?
6. Что называется напряжением короткого замыкания и в каких пределах оно лежит?
7. Почему трансформаторы не работают от сети постоянного тока?

## Лабораторная работа №2

### Исследование трехфазного двухобмоточного трансформатора при нагрузке

#### 2.1. Цель работы

1. Построение рабочих характеристик трансформатора и определение коэффициента полезного действия и изменения напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

#### 2.2. Программа работы

1. Произвести внешний осмотр трансформатора и собрать схему.  
2. Снять и построить рабочие характеристики трансформатора  $I_1, \eta, U_2, \cos\varphi_1 = f(I_2)$  при различных нагрузках.

#### 2.3. Порядок выполнения работы и составление отчета

1. Произвести внешний осмотр трансформатора и собрать схему (рис.2.1).

2. Рабочие характеристики трансформатора снимают путем загрузки трансформатора от  $I_2 = 0$  до  $I_2 = I_{2н}$ , при  $\cos\varphi_2 = 1$ , поддерживая при этом номинальное напряжение на первичной обмотке трансформатора постоянным.

Опытные данные и расчетные записывают в табл. 2.1.

3. Вычисления производятся по формулам:

$$I_1 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} C_A ;$$

$$P_1 = (P_A + P_B + P_C) C_w ;$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{3 \cdot U_1 \cdot I_1} ;$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} ;$$

Коэффициент полезного действия в данной работе определяется расчетным путем по формулам:

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + K_{нг}^2 P_{кн}}{K_{нг} S_n \cos\varphi_2 + P_0 + K_{нг}^2 P_{кн}} ;$$

где  $K_{нг} = \frac{I_2}{I_{2н}}$ ;  $\cos\varphi_2 = 1$ ;  $P_0$  – потери в стали, определенные в опыте холостого хода при  $U_1 = U_{н}$ ;

$P_{кн}$  – потери короткого замыкания, определенные в опыте короткого замыкания при номинальном токе.

$$S_H = \sqrt{3} U_{2H} I_{2H}.$$

По вычисленным данным строят рабочие характеристики  $I$ ,  $\eta$ ,  $U_2$ ,  $\cos\varphi_1 = f(I_2)$  при  $f_1 = f_H$ ,  $U_1 = U_H$  и  $\cos\varphi_2 = 1$ , примерный вид которых показан на рис.2.2.

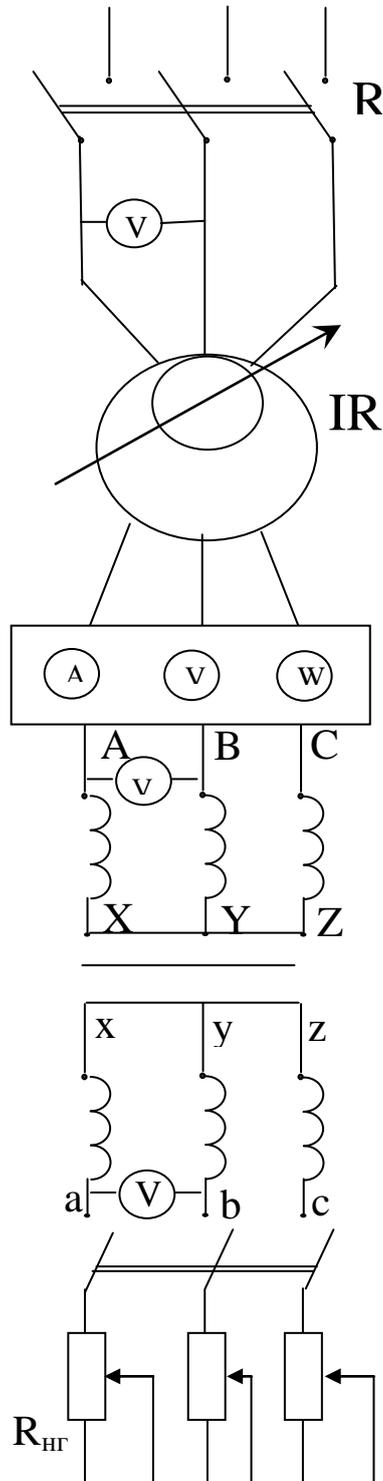


Рис.2.1. Схема для проведения опыта нагрузки трансформатора

4. Наибольшее значение КПД наступает при нагрузке, при которой потери в обмотках становятся равными потерям в стали,

$$\text{т.е. } P_0 = k_{\text{нг}}^2 P_{\text{кн}},$$

$$\text{Отсюда } k_{\text{нг}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{\text{кн}}}}.$$

Таблица 2.1

Опытные данные								Расчетные данные					
$I_A$	$I_B$	$I_C$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$U_2$	$I_2$	$U_1$	$P_1$	$I_1$	$P_2$	$\cos\varphi_1$	$\eta$

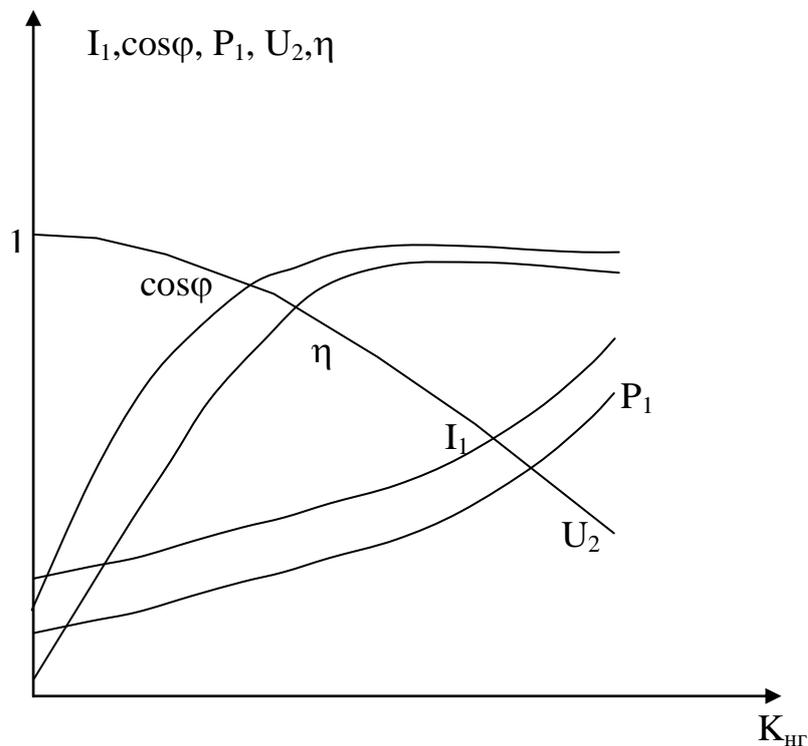


Рис.2.2. Рабочие характеристики трансформатора

$I_1$  – ток первичной обмотки,  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности,  $P_1$  – мощность,  $U_2$  – напряжение вторичной обмотки,  $\eta$  – К.П.Д,  $K_{\text{нг}}$  – коэффициент нагрузки.

## 2.4. Контрольные вопросы

1. Как изменяется напряжение на вторичной обмотке с увеличением активной нагрузки на трансформаторе?
2. Как изменяется напряжение на вторичной обмотке с увеличением емкостной нагрузки на трансформаторе?
3. При каких условиях КПД трансформатора достигает максимума?
4. Что называется внешней характеристикой трансформатора?

## Лабораторная работа №3 Определение групп трехфазного двухобмоточного трансформатора

### 3.1. Цель работы

1. Углубленное изучение понятия группы трансформатора, методики ее определения.

### 3.2. Программа работы

1. Соединить обмотки по схеме  $Y/Y-12$  и проверить правильность соединения.
2. Соединить обмотки по схеме  $Y/Y-6$  и проверить правильность соединения.
3. Соединить обмотки по схеме  $Y/\Delta-11$  и проверить правильность соединения.
4. Построить потенциальные диаграммы для схем  $Y/Y-12$ ,  $Y/Y-6$ ,  $Y/\Delta-11$ .

### 3.3. Методические указания по проведению работы

1. Группа соединения обмоток трансформатора характеризуется угловым смещением линейных напряжений обмотки НН по отношению к векторам линейных напряжений обмотки ВН. Группа обозначается числом, которое получается, если угловое смещение разделить на  $30^0$  (угловое смещение, принятое за единицу). При этом угол смещения всегда отсчитывается от вектора линейного напряжения ВН по часовой стрелке до одноименного вектора напряжения НН.

Соединение обмоток в различные схемы и группы производится в последовательности, указанной в программе, по схемам рис. 3.1.

Группы соединения обмоток определяются с помощью вольтметра и последующих построений совмещенных векторных диаграмм. Для этого проводом соединяют два каких-нибудь одноименных зажима, например, зажимы А и а, что соответствует совмещению одноименных точек диаграммы линейных напряжений ВН и НН.

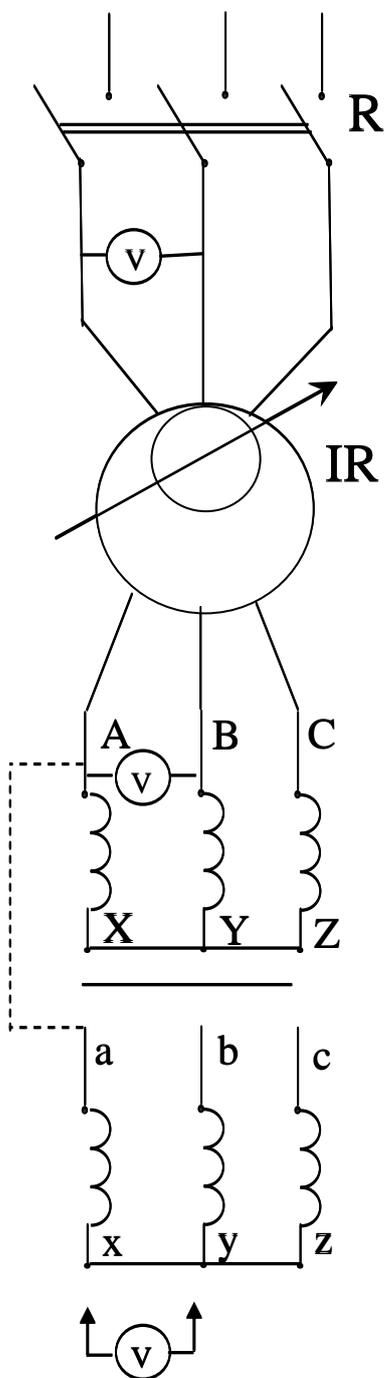


Рис. 3.1. Схема для определения групп трехфазного двухобмоточного трансформатора

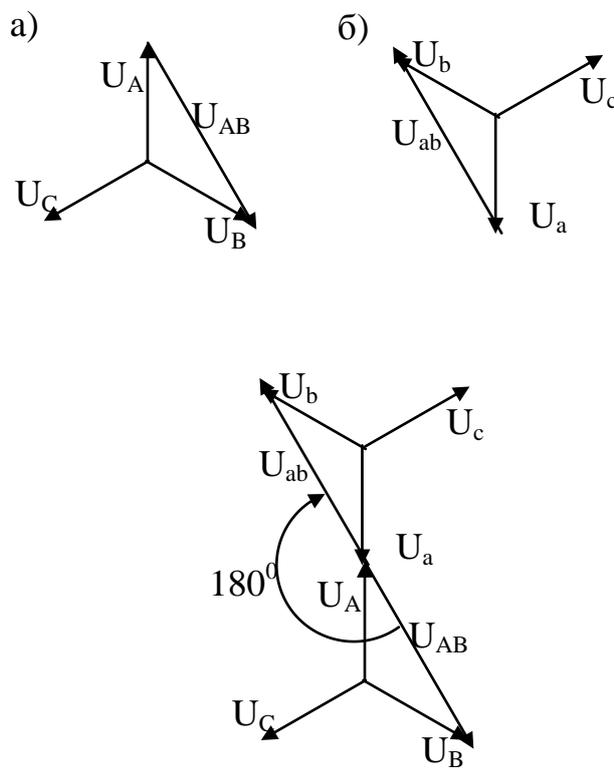


Рис. 3.2. Векторная диаграмма

Питание трансформатора производят со стороны обмотки ВН во избежание больших вторичных напряжений, могущих вызвать поражение током (обычно не более 250В) и измеряют напряжения между зажимами В-в, В-с, С-с, С-в, А-В, а-в, записывая их в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Группа соединений по схеме	$U_{AB}$	$U_{ab}$	$U_{Bb}$		$U_{Bc}$		$U_{Cc}$		$U_{Cb}$	
			из опыта	по расч						
1. Y/Y <sub>0</sub>										
2. Y/Y <sub>6</sub>										
3. Y/Δ <sub>11</sub>										
4. Y/Δ <sub>5</sub>										

2. Определяют коэффициент трансформации

$$K = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}$$

Затем строят совмещенные векторные диаграммы методом засечек, в определенном масштабе, на рис.3.2 .

По таким совмещенным диаграммам, если их построить в масштабе, напряжение между двумя любыми точками можно определить графически или расчетным путем по формулам табл. 2.

Например, для соединения Y/Y<sub>12</sub> из рис.3.2. а видно, что  $U_{Bb} = U_{AB} - U_{ab} = U_{ab} (K - 1)$ , а для соединения Y/Y<sub>6</sub>  $U_{Bb} = U_{AB} + U_{ab} = U_{ab}(K + 1)$ . Совпадение расчетных и измеренных значений свидетельствует о правильности соединения обмоток трансформатора по заданной схеме и группе.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Как определить группу трансформатора?
2. В каких случаях принимают соединение Y?
3. В каких случаях принимают соединение Δ?
4. При каких соединениях получают четные группы, при каких – нечетные?

## **Лабораторная работа №4**

### **Параллельная работа трехфазных двухобмоточных трансформаторов**

#### **4.1. Цель работы**

1. Изучить правила включения и работы при параллельном соединении трансформаторов.

#### **4.2. Программа работы**

1. Ознакомиться с установкой и записать данные табличек трансформаторов.

2. Включить на параллельную работу два трехфазных трансформатора, имеющих равные напряжения короткого замыкания.

3. Нагрузить трансформаторы и проследить распределение нагрузки между ними. Построить зависимости:

$$U_{2I}, U_{2II}, U_{2I}, I_{2II} = f(I_{\text{нагр}})$$

#### **4.3. Методические указания по проведению работы**

1. Для опыта параллельной работы трансформаторов собирают схему, показанную на рис. 4.1.

Два трехфазных трансформатора №1 и №2 со стороны первичных обмоток присоединяют к питающей сети рубильниками 1 и 2. Вторичные обмотки включают рубильником 3 на параллельную работу.

В качестве нагрузки применяется реостат 5, подключаемый рубильником 4.

2. Для нормальной параллельной работы трансформаторов должны быть соблюдены следующие условия:

а) первичные и вторичные номинальные напряжения д.б. соответственно равны;

б) трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения;

в) напряжения короткого замыкания не должны отличаться друг от друга более чем на  $\pm 10\%$  их среднего значения, т.е.

$$U_{кI} - U_{кII} \leq \left(0,1 \frac{U_{кI} + U_{кII}}{2}\right)$$

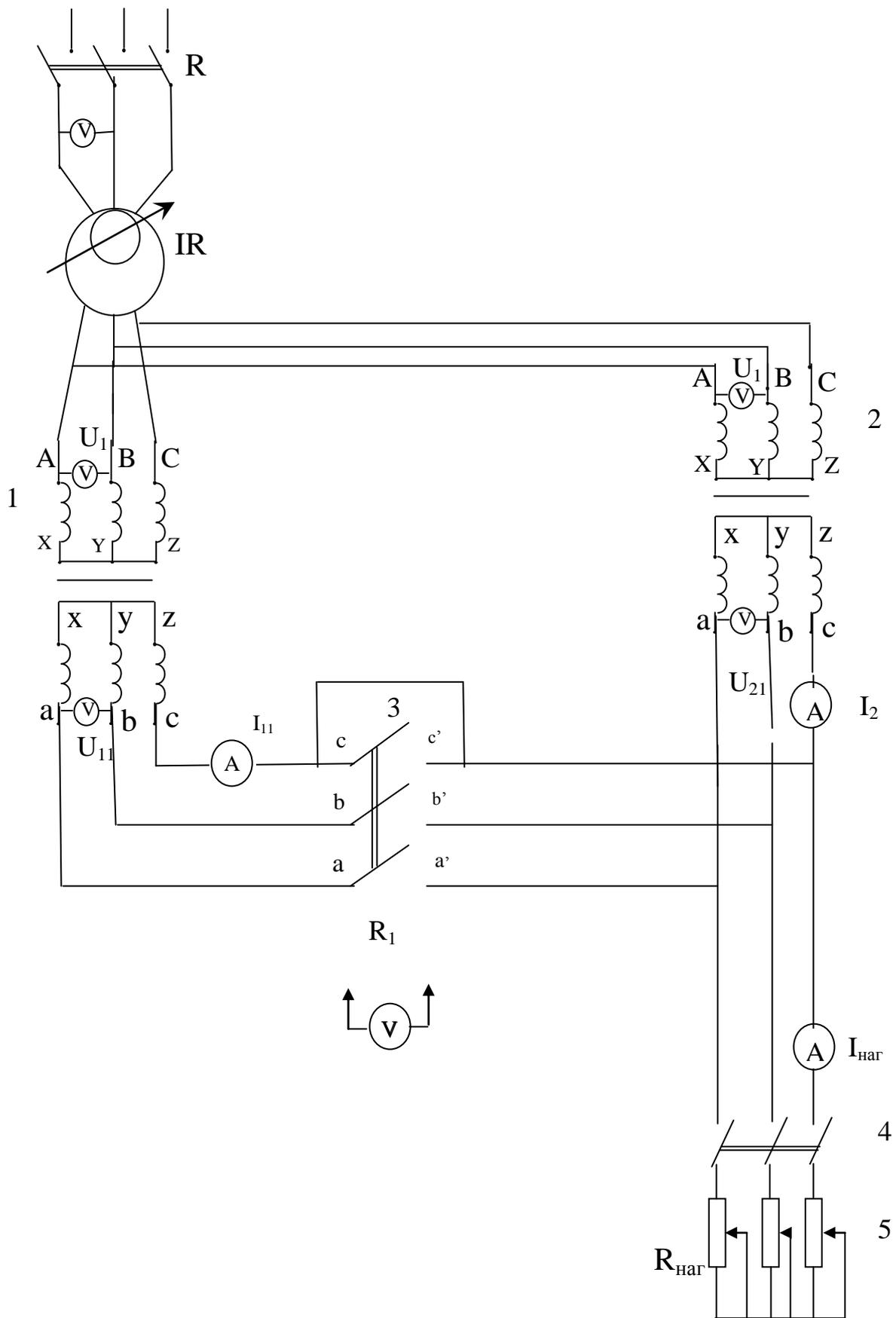


Рис. 4.1. Схема для проведения параллельных работ трансформатора

При первом включении трансформаторов на параллельную работу проверяют, что трансформаторы принадлежат к одной группе. Для этого, перемкнув проводом два соответствующих зажима рубильника 3, например, с и с<sub>1</sub>, измеряют напряжения между b и b<sub>1</sub>, а и а<sub>1</sub>. Если группы соединения одинаковы, то показания вольтметра должны равняться нулю и рубильник 3 может быть включен. Если при измерении напряжений между зажимами b–b<sub>1</sub> и а–а<sub>1</sub> вольтметр показывает некоторое напряжение, то это может происходить от неправильного присоединения вторичных зажимов к рубильнику 3 или первичных зажимов к рубильникам 1, 2. В этих случаях следует поменять местами присоединение зажимов к рубильникам.

Таблица 4.1.

№ измер	U <sub>2I</sub> , В	U <sub>2II</sub> , В	I <sub>2I</sub> , А	I <sub>2II</sub> , А	I <sub>нагр</sub> , А
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

Если трансформаторы принадлежат к разным группам, то включение рубильника 3 недопустимо.

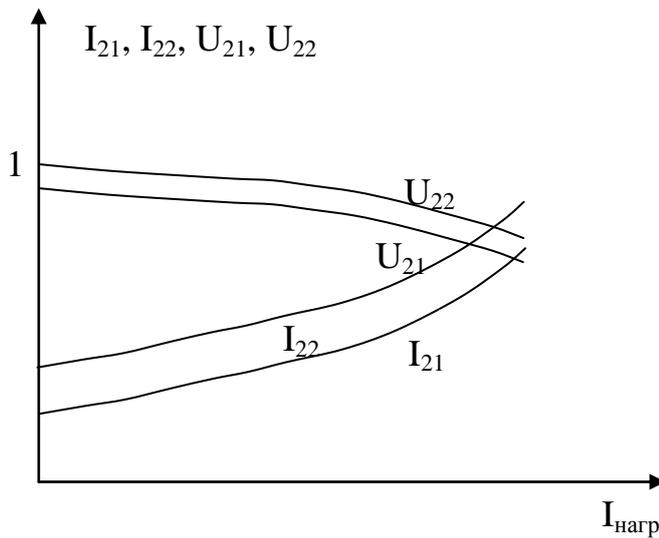


Рис. 4.2. Характеристики трансформаторов при параллельной работе

I<sub>2I</sub>, I<sub>2II</sub>, - токи вторичных обмоток трансформаторов, U<sub>2I</sub>, U<sub>2II</sub>- напряжение вторичных обмоток трансформаторов, I<sub>нагр</sub>- ток нагрузки.

3. После включения трансформаторов на параллельную работу включают рубильник 4 и нагружают их. Целесообразно снять 4-5 точек. Показания приборов записывают в табл. 4.1 и строят зависимости  $U_{2I}, U_{2II}, U_{2I}, I_{2II} = f(I_{\text{нагр}})$

#### **4.4. Контрольные вопросы**

1. Что будет, если на параллельную работу включить трансформаторы с разными группами соединения обмоток?

2. Что называется напряжением короткого замыкания?

3. На сколько процентов могут отличаться коэффициенты трансформации при включении трансформаторов на параллельную работу?

4. Известны напряжения короткого замыкания трансформаторов:  $U_{кI} = 6\%$ ,  $U_{кII} = 7\%$ . Можно ли эти трансформаторы включить на параллельную работу, если другие условия выполнены?

5. Как распределяется нагрузка между параллельно работающими трансформаторами:

а) при соблюдении всех условий;

б) с неодинаковыми напряжениями короткого замыкания.

### **Лабораторная работа №5**

#### **Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при холостом ходе и коротком замыкании**

##### **5.1. Цель работы**

1. Целью работы является ознакомление с конструкцией и принципом действия асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

2. Ознакомиться с методами пуска в ход.

3. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при холостом ходе и коротком замыкании.

##### **5.2. Программа работы**

1. Ознакомиться с конструкцией двигателя. Собрать схему.

2. Пустить двигатель в ход прямым включением в сеть.

3. Пустить двигатель в ход переключением обмотки статора со звезды на треугольник.

4. Снять и построить характеристики холостого хода  $I_0$ ,  $P_0$ ,  $\cos\varphi_0 = f(U_0)$  при  $f_1 = f_n = \text{const}$  и  $P_2 = 0$ .

5. Снять и построить характеристики короткого замыкания  $I_k$ ,  $P_k$ ,  $\cos\varphi_k = f(U_k)$  при  $f_1 = f_n = \text{const}$  и  $n = 0$

### 5.3. Порядок выполнения работы и составления отчета

1. Пуск двигателя в ход.

В зависимости от мощностей сети и двигателя, применяют либо прямой пуск – непосредственным включением двигателя в сеть, либо пуск при пониженном напряжении.

Одним из методов пуска асинхронного двигателя при пониженном напряжении является пуск с переключением обмотки статора со звезды на треугольник.

При прямом пуске пусковой ток в 4–7 раз больше номинального, поэтому этот способ применяется, обычно, для двигателей малой и средней мощности. При этом кратность пускового момента должна быть  $M_{п}/M_n = (1,1 \div 1,4)$ .

Прямой пуск осуществляется включением рубильника  $P_1$  (рис. 5.1) при соединении обмотки статора в треугольник. При этом (и в других способах пуска) токовые обмотки измерительных приборов должны быть зашунтированы, а после окончания пуска шунты снимаются.

Схема, показанная на рис. 5.1, предусматривает переключение со звезды на треугольник. Пуск производится в следующем порядке. В начале переключатель  $\Pi$  ставят в положение  $\gamma$  – обмотка статора соединена в «звезду» и включают двигатель в сеть с помощью рубильника  $P_1$ . При этом, вследствие уменьшения в  $\sqrt{3}$  раз приложенного к статору фазного напряжения, пусковой ток будет в 3 раза уменьшен.

После того, как частота вращения ротора двигателя достигает установившейся, переключатель  $\Pi$  переводят в положение  $\Delta$  – обмотка статора соединена в «треугольник», и напряжение на зажимах обмотки становится равным номинальному, снимаются шунты с приборов и пуск завершен.

Момент асинхронного двигателя зависит от квадрата подведенного напряжения. Поэтому в рассмотренном способе пуска при уменьшении напряжения в  $\sqrt{3}$  раз пусковой момент

уменьшается в 3 раза. Это является одним из недостатков данного способа и ограничивает его применение.

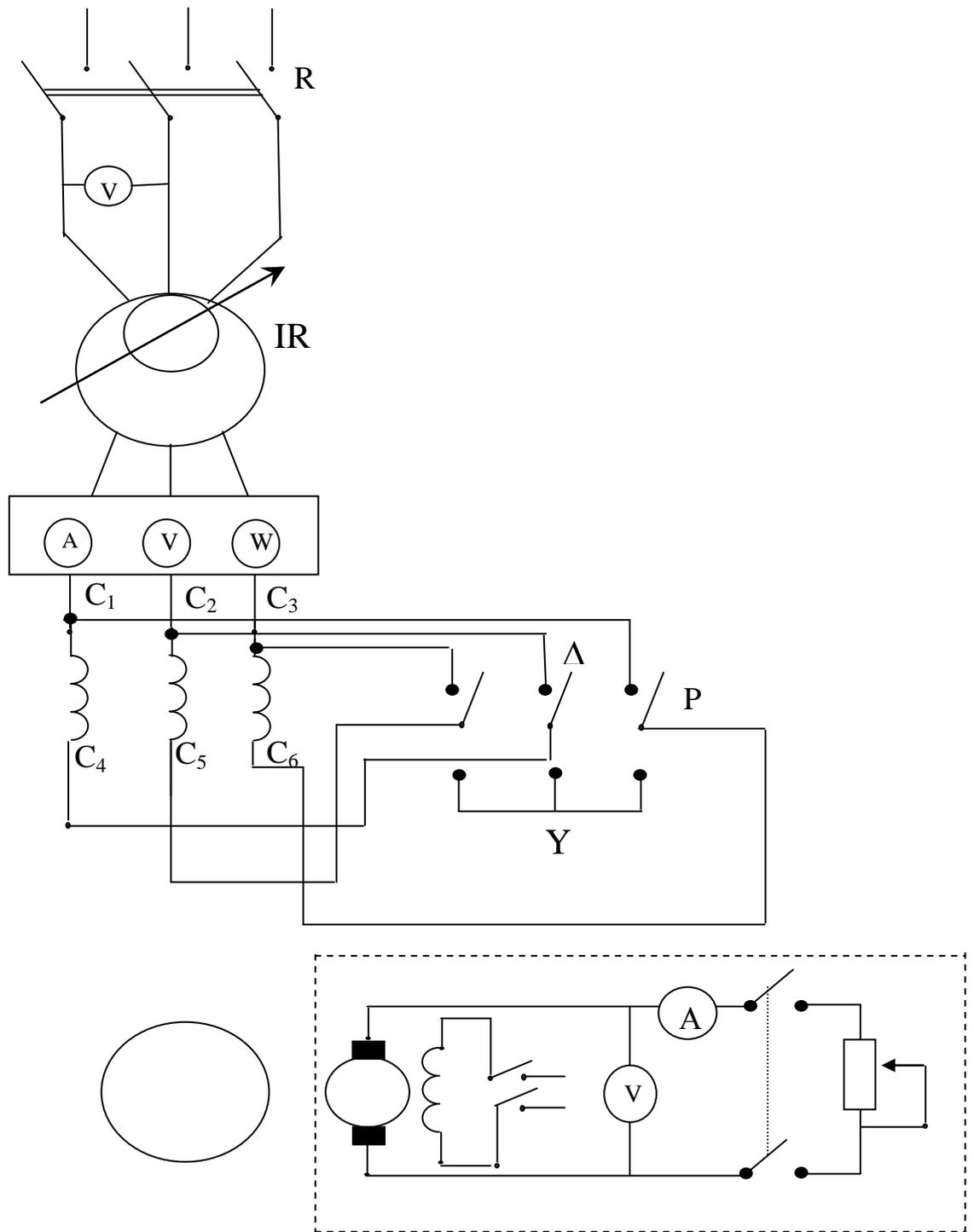


Рис.5.1. Схема для проведения опыта х. х и к.з. асинхронной машины

2. Опыт холостого хода. Под холостым ходом подразумевают работу двигателя, подключенного к сети и не соединенного с нагрузкой.

Опыт холостого хода дает возможность изучить свойства магнитной цепи машины и определить потери, возникающие при холостом ходе.

Для проведения опыта собирается схема, показанная на рис 5.2. Обмотки статора двигателя присоединяются к источнику питания рубильником  $P_1$  через индукционный регулятор (ИР), служащий для изменения напряжения на зажимах обмотки статора.

Напряжение, ток и активная мощность измеряются при помощи измерительного прибора К–505.

После запуска двигателя напряжение на зажимах двигателя повышается индукционным регулятором до  $1,2 U_n$ , делают первую запись показаний приборов. Дальнейшие записи производят, постепенно понижая напряжение индукционным регулятором до возможно низких значений.

Показания измерительных приборов, полученные в процессе проведения опытов, сводятся в таблицу 5.1.

За действующие линейное значение  $I_0$  и фазное  $U_0$  принимаются среднее арифметические из трех измеренных значений:

$$I_0 = \frac{C_I}{3}(I_A + I_B + I_C); U_0 = \frac{C_U}{3}(U_A + U_B + U_C),$$

где  $C_I$ —цена деления амперметра;

$C_U$ —цена деления вольтметра.

Подведенная к двигателю мощность холостого хода  $P_0$  измеряется при помощи трех ваттметров. При использовании измерительного прибора К–505 один ваттметр поочередно переключают во все три фазы машины. Тогда мощность  $P_0$  определяется как сумма показаний ваттметра каждой фазы:

$$P_0 = (P_A + P_B + P_C) \cdot C_w,$$

где  $C_w$ —цена деления ваттметра,  $P_A, P_B, P_C$ — показания ваттметра.

Таблица 5.1.

Опытные данные									Расчетные данные						
$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$I_0$	$U_0$	$P_0$	$\cos\varphi_0$	$Z_0$	$X_0$	$r_0$

Коэффициент мощности определяется по формуле:

$$\cos\varphi_0 = P_0 / (3U_0 \cdot I_0)$$

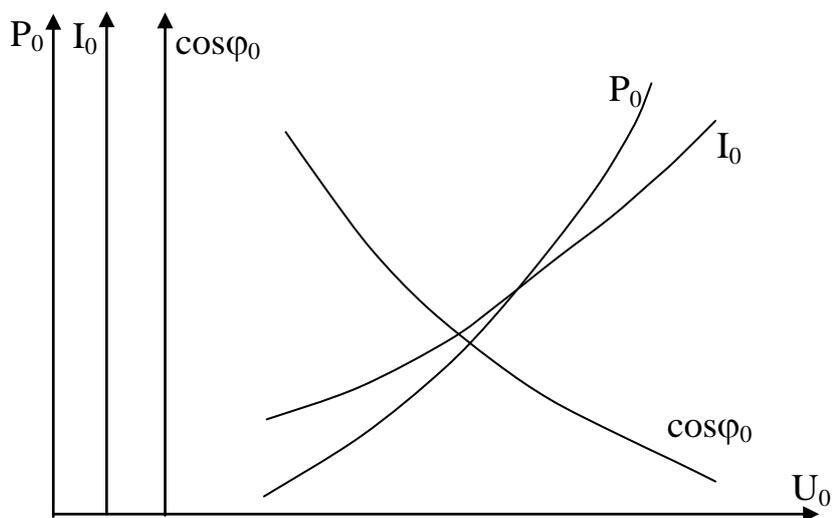


Рис.5.2. Характеристики холостого хода АД

$P_k$  – мощность короткого замыкания,  $I_k$  – ток короткого замыкания,  $\cos\varphi_k$  – коэффициент мощности короткого замыкания,  $U_k$  – напряжение короткого замыкания

3. Опыт короткого замыкания. Под коротким замыканием асинхронного двигателя подразумевается питание обмотки статора при замкнутом накоротко и заторможенном роторе. Если при таких условиях к зажимам двигателя подвести номинальное напряжение, то он будет потреблять ток в несколько раз превосходящий номинальный. При этом неподвижный двигатель сильно нагревается и сохранность его изоляции подвергается большой опасности.

Таблица 5.2.

Опытные данные									Расчетные данные						
$I_A$	$I_B$	$I_C$	$U_A$	$U_B$	$U_C$	$P_A$	$P_B$	$P_C$	$I_{к3}$	$U_{к3}$	$P_{к3}$	$\cos\varphi_{к3}$	$Z_{к3}$	$X_{к3}$	$R_{к3}$

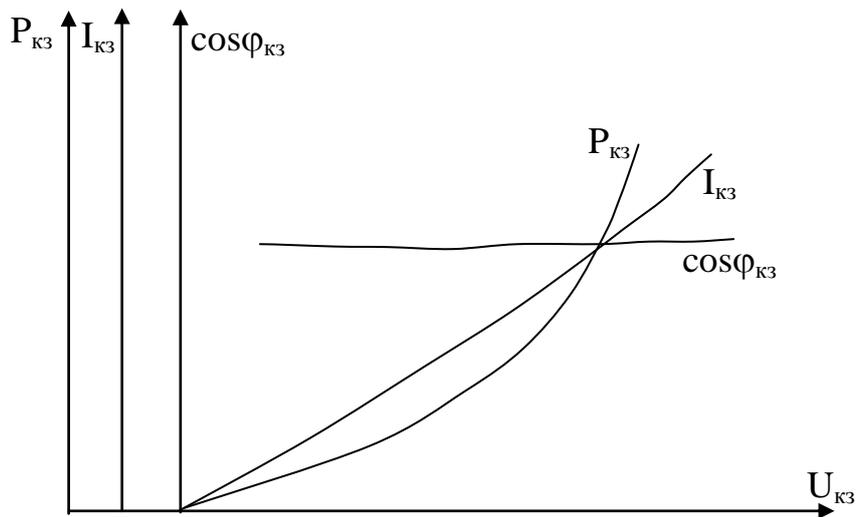


Рис.5.3. Характеристики короткого замыкания

$P_k$  – мощность короткого замыкания,  $I_k$  – ток короткого замыкания,  $\cos\varphi_k$  – коэффициент мощности короткого замыкания,  $U_k$  – напряжение короткого замыкания

## 5.4. Контрольные вопросы

1. Чем отличается асинхронная машина с короткозамкнутым ротором от машины с фазным ротором?
2. Объяснить принцип действия асинхронного двигателя.
3. Объяснить по какой причине пусковой ток двигателя в несколько раз превышает номинальный?
4. Перечислить способы пуска в ход двигателя с короткозамкнутым ротором.

## Лабораторная работа №6

### Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при нагрузке

#### 6.1. Цель работы

Целью работы является исследование рабочих характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

## 6.2. Программа работы

Снять рабочие характеристики двигателя при соединении обмоток в треугольник:  $P_1, I, \cos\varphi_1, \eta, s, n, M_2 = f(P_2)$  при  $U_1 = U_H = \text{const}$  и  $f_1 = f_H = \text{const}$ .

1) Снять рабочие характеристики двигателя при соединении обмоток в звезду:  $P_1, I, \cos\varphi_1, \eta, s, n, M_2 = f(P_2)$  при  $U_1 = U_H/\sqrt{3} = \text{const}$  и  $f_1 = f_H = \text{const}$ .

2) Снятые при различных соединениях обмоток статора характеристики построить на одном графике, разделив их на 2 части.

## 6.3. Порядок выполнения работы и составления отчета

1. Под рабочими характеристиками асинхронного двигателя понимается зависимость ряда величин, характерных для условий эксплуатации: потребляемой мощности, тока, коэффициента мощности, коэффициента полезного действия, скольжения скорости вращения ротора, полезного момента от полезной мощности на валу при условии неизменности приложенного напряжения и частоты.

$P_1, I, \cos\varphi_1, \eta, s, n, M_2 = f(P_2)$  при  $U_1 = U_{H3} = \text{const}$  и  $f_1 = f_H = \text{const}$ . Собрать схему, как в лабораторной работе А-1, т.е. схему 6.1. В лабораторных условиях нагрузка двигателя осуществляется с помощью спаренного с ним генератора постоянного тока (ГПТ) в соответствии со схемой рис.6.1.

После окончания пуска асинхронного двигателя, возбуждают до номинального напряжения нагрузочный генератор и, включив нагрузочный реостат  $R_H$ , загружают двигатель до нагрузки, соответствующей потребляемому току  $I = 1,2I_H$ . После этого делают первую запись показания приборов. Затем, выводя  $R_H$ , постепенно разгружают двигатель до холостого хода, записывая показания измерительных приборов

Данные испытаний (5÷6 точек) записываются в табл 6.1.

Ток статора:  $I_1 = C_a \frac{I_a + I_b + I_c}{3}$ .

Коэффициент полезного действия определяется следующим образом:

$$\eta \approx \sqrt{\frac{U_r I_r}{P_1}},$$

где  $P_1 = P_A + P_B + P_C$  или  $P_1 = 3P_\phi$ .

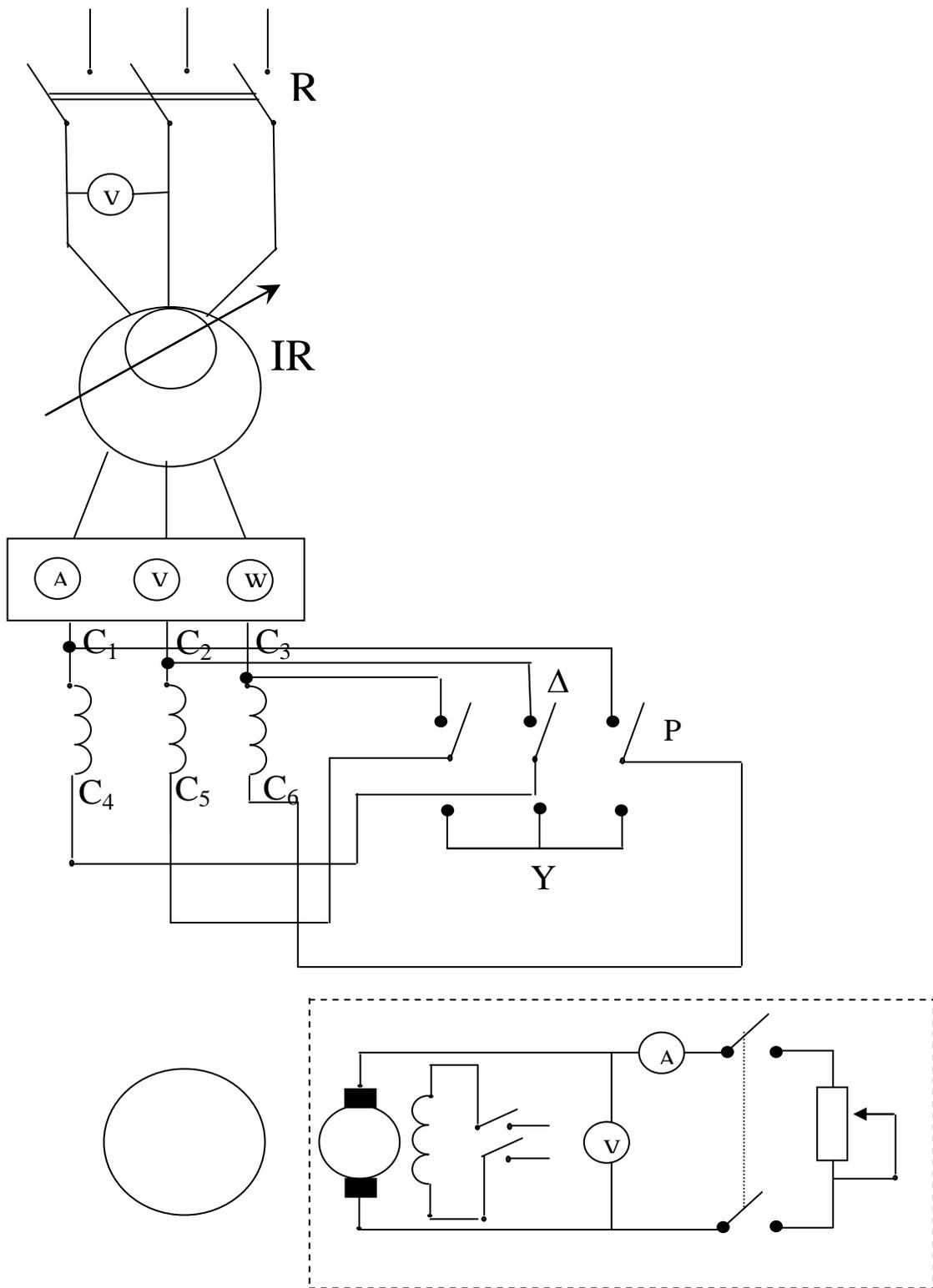


Рис.6.1. Схема для проведения опыта нагрузка АД.

$$P_2 = P_1 \cdot \eta ;$$

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n} ;$$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{3U_1 I_1} ;$$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100\% .$$

Результаты обработки данных заносятся в табл. 6.1.

Таблицу составляют для двух случаев соединения обмотки статора в треугольник и в звезду. По данными таблиц на одном графике строят рабочие характеристики в отдельности  $P_1=f(P_2)$ ,  $I_1=f(P_2)$ ,  $\eta = f(P_2)$  и т.д при двух способах соединения обмотки. Рабочие характеристики  $P_1, I_1, \cos\varphi_1, \eta, s, n, M_2=f(P_2)$  при  $U_H = \text{const}$  и  $f_H = \text{const}$  асинхронного двигателя показаны на рис.6.2.

Таблица 6.1.

Опытные данные								Расчетные данные							
I <sub>A</sub>	I <sub>B</sub>	I <sub>C</sub>	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>	P <sub>C</sub>	U <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	n	P <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	s	M <sub>2</sub>	cosφ <sub>1</sub>	η

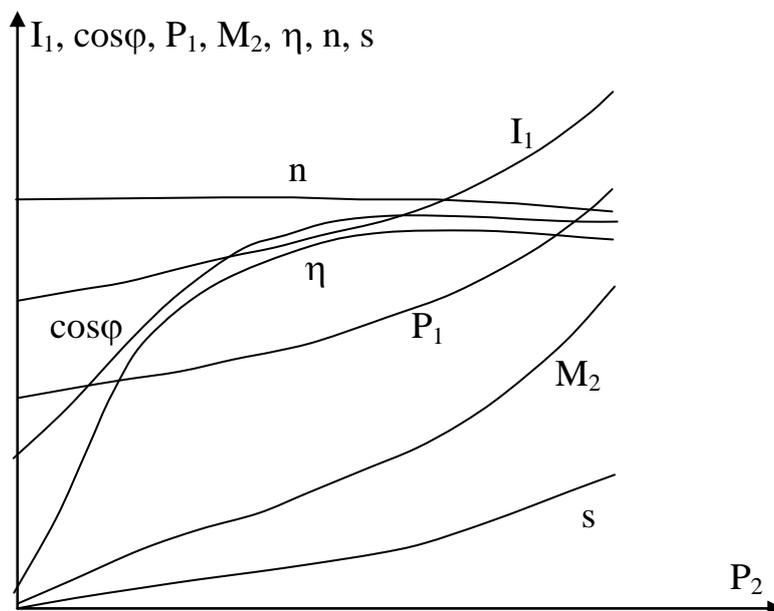


Рис.6.2. Рабочие характеристики АД.

$I_1$  –ток статора,  $\cos\varphi$  - коэффициент мощности,  $P_1$ -мощность,  $n$  - частота вращения ротора,  $s$  - скольжение,  $P_2$  - полезная мощность,  $M_2$  – момент,  $\eta$  - К.П.Д.

## 6.4. Контрольные вопросы

1. Какие зависимости называются рабочими характеристиками асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
2. Что является нагрузкой для асинхронного двигателя?
3. Объясните характер изменения кривой  $\eta = f(P_2)$ .
4. Объясните характер изменения кривой  $I_1 = f(P_2)$ .
5. Объясните характер изменения кривой  $M_2 = f(P_2)$ .
6. Объясните характер изменения кривой  $s = f(P_2)$ .

## Лабораторная работа №7

### Исследование трехфазного синхронного генератора при холостом ходе и нагрузке

#### 7.1. Цель работы

Целью работы является изучение конструкции синхронных машин, экспериментального исследования трехфазного синхронного генератора при холостом ходе и нагрузке.

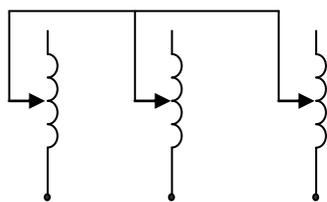
#### 7.2. Программа работы

1. Ознакомиться с конструкцией исследуемой машины записать паспортные данные.
2. Собрать схему.
3. Снять и построить характеристику холостого хода:  
 $E_0 = f(i_B)$  при  $I_1 = 0$ ,  $f = f_H = \text{const}$ .
4. Снять и построить индуктивную нагрузочную характеристику:  
 $U = f(i_B)$  при  $I_1 = 0,5I_H = \text{const}$ ,  $\cos\varphi = \text{const}$ ,  $f = f_H = \text{const}$ .
5. Снять и построить характеристику трехфазного короткого замыкания  $I_K = f(i_B)$  при  $U = 0$ ;  $n = n_H = \text{const}$ .
6. Определить синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси  $x_d$  по характеристике холостого хода и трехфазного короткого замыкания.

#### 7.3. Порядок выполнения работы и составления отчета

1. Ознакомиться с конструкцией синхронного генератора, системой его возбуждения, а также с теми приборами, которыми приходится пользоваться.

### Реактивное сопротивление



### Активное сопротивление

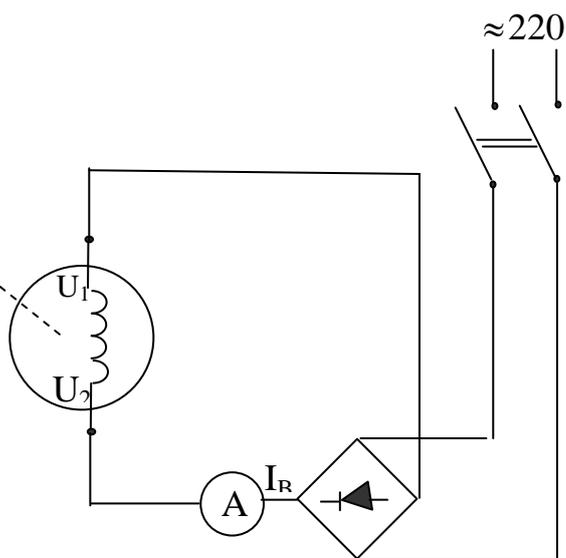
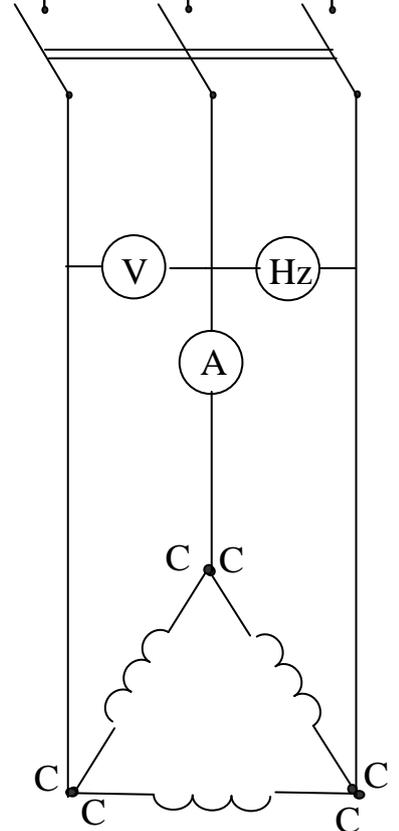
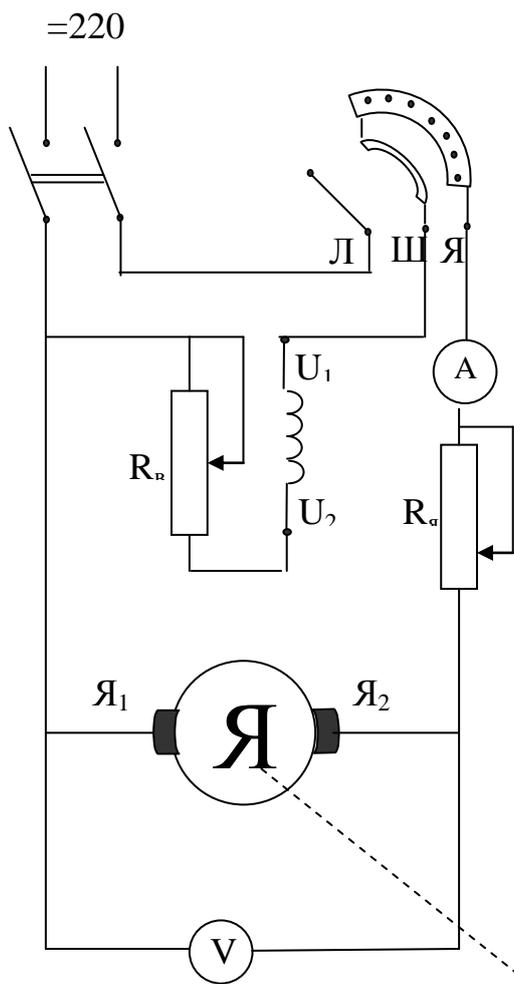
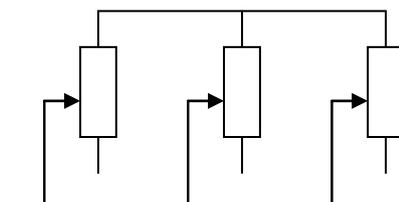


Рис.7.1. Схема для проведения опыта СГ.

Следует также ознакомиться со схемой первичного двигателя, приводящего генератор во вращение.

2. Собрать схему (рис.7.1).

Ротор генератора приводится во вращение вспомогательным двигателем постоянного тока параллельного возбуждения. При неизменной частоте вращения и разомкнутом рубильнике 1 возбуждают генератор, включив рубильник 2, измеряют напряжения. При снятии характеристики холостого хода число оборотов равно синхронному частоту вращения поддерживают реостатом цепи якоря, либо в цепи возбуждения двигателя и контролируется частотомером.

При проведении опыта холостого хода достаточно снять одну нисходящую ветвь характеристики.

После включения двигателя на обмотку возбуждения генератора подается ток от возбудителя, величина тока регулируется реостатом в цепи возбуждения. Генератор возбуждается до напряжения на якоре равного  $1,2U_H$ , затем плавно уменьшая ток возбуждения, доводят его до нуля, записывая показания приборов 5÷7 точек в табл. 7.1.

При  $i_B = 0$  измеряется остаточная ЭДС.

Одновременно со снятием характеристики холостого хода проверяется симметричность напряжений по фазам генератора. Предпочтительно это производить при номинальном напряжении генератора.

Таблица 7.1.

$E_0$	В						
	о.е						
$i_B$	А						
	о.е						

Все характеристики строятся в относительных единицах. За единицу тока возбуждения принимается ток  $i_{B0}$ , соответствующий номинальному напряжению холостого хода

$$U_* = \frac{U}{U_H}; \quad E_{0*} = \frac{E_0}{U_H}; \quad i_{B*} = \frac{I}{I_H}; \quad I_* = \frac{I}{I_H}.$$

На основании опытных данных строится характеристика холостого хода в относительных единицах, показанная на рис.7.1.

Характеристики холостого хода современных синхронных машин, построенные в относительных единицах, очень близки друг к другу.

По характеристике холостого хода определяют коэффициент насыщения машины –  $K_M$ . Для этого проводят спрямленную характеристику холостого хода.

$$K_M = \frac{a\bar{b}}{a\bar{b}}$$

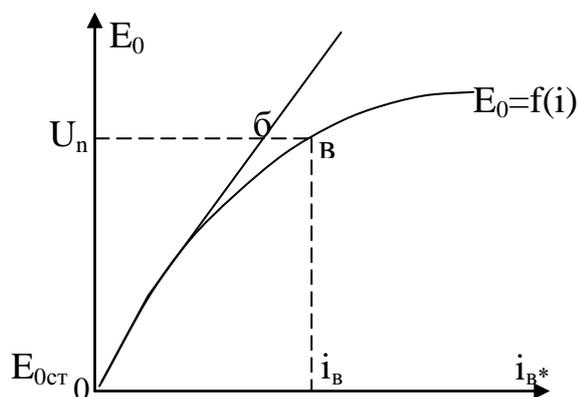


Рис.7.2. Характеристики холостого хода

$E_0$  - ЭДС холостого хода,  
 $i_q$  – ток возбуждения ,  
 $U_n$  – номинальное напряжение

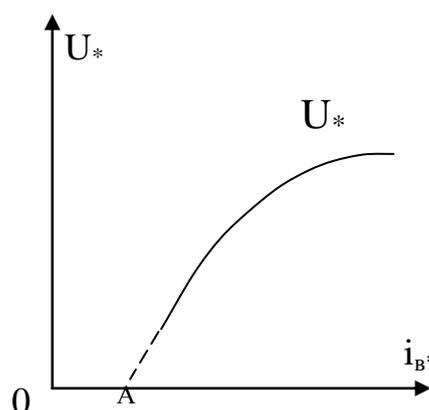


Рис.7.3. Характеристики индуктивной нагрузки

$U_*$  - напряжения,  
 $i_q$  – ток возбуждения

Результаты измерений записывают в табл.7.2.

Таблица 7.2.

U	B						
	о.е						
$i_B$	A						
	о.е						

#### 7.4. Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия и конструкцию синхронных генераторов.

2. Объясните характер изменения характеристики холостого хода.

3. Как определяется коэффициент насыщения в синхронной машине?

4. Почему характеристика короткого замыкания имеет прямолинейный характер?

## Лабораторная работа №8

### Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения при холостом ходе и коротком замыкании

#### 8.1. Цель работы

Изучение физических процессов и характеристик генератора при холостом ходе и коротком замыкании.

#### 8.2. Программа работы

1. Ознакомиться с установкой и записать данные таблички генератора.

2. Ознакомиться с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, приводящем во вращение генератор.

3. Собрать схему генератора и произвести пробный пуск агрегата.

4. Снять и построить характеристику холостого хода генератора, т.е.  $U_0 = f(i_B)$  при  $n_H = \text{const}$  и  $I = 0$ .

5. Снять и построить характеристику короткого замыкания генератора, т.е.  $I = f(i_B)$  при  $n_H = \text{const}$  и  $U = 0$ .

#### 8.3. Порядок выполнения работы и составления отчета

1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, частота вращения которого меняется очень незначительно. При изменении нагрузки наиболее пригоден для вращения генератора постоянного тока, т.к. намного упрощается операция пуска агрегата. Она осуществляется включением сетевого рубильника.

2. Схема для снятия характеристик приведена на рис 8.1. Для устранения влияния гистерезиса ток возбуждения  $i_B$  следует изменять только в одном направлении, а именно, начав его уменьшать от значения  $i_{B\text{max}}$ , ни в коем случае уже его не увеличивая, до 0.

Данные опыта записать в табл. 8.1.

Характеристики строятся в относительных единицах:

$$U_* = \frac{U_0}{U_H} \text{ (o.e.); } i_{B*} = \frac{i_B}{i_{B0}} \text{ (o.e.); } I_* = \frac{I}{I_H} \text{ (o.e)}$$

Примерный вид характеристики холостого хода показан на рис.8.2

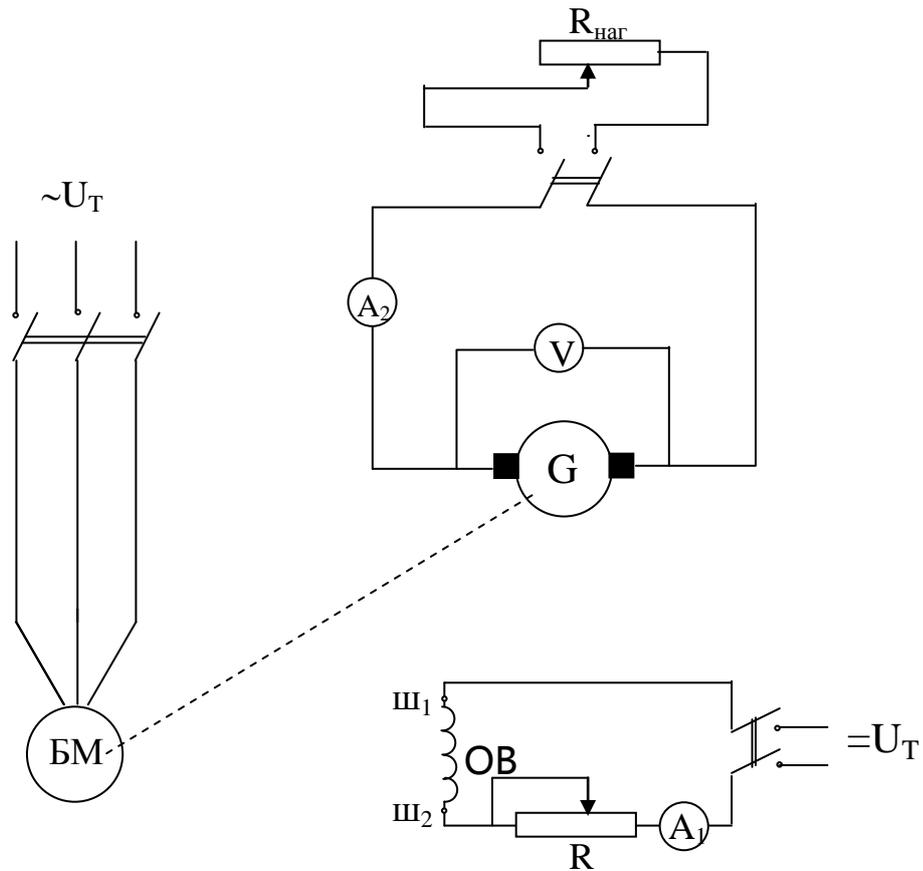


Рис. 8.1. Схема для исследования генератора с независимым возбуждением

Таблица. 8.1.

$U_0$	В						
	о.е.						
$i_q$	А						
	о.е.						

Таблица. 8.2.

$I_{qt}$	А						
	о.е.						
$i_q$	А						
	о.е.						

4. Характеристика короткого замыкания  $I_k = f(i_b)$ , в дальнейшем сокращенно называемая х.к.з., представляет зависимость тока короткого замыкания якорной цепи от тока возбуждения.

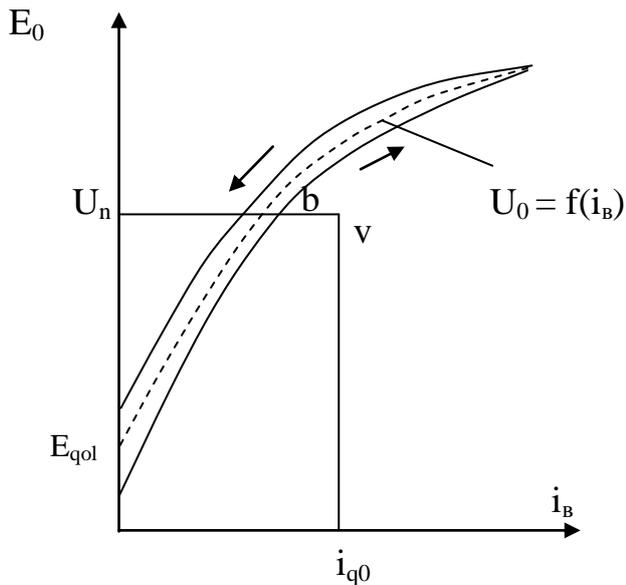


Рис.8.2. Характеристика холостого хода  
 $E_0$  – ЭДС холостого хода,  $i_B$  – ток возбуждения,  $U_n$  – номинальное напряжение

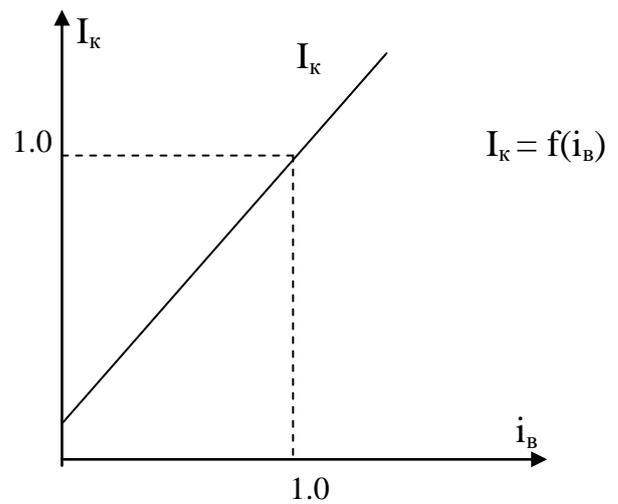


Рис.8.3. Характеристика короткого замыкания  
 $I_K$  – ток короткого замыкания,  $i_B$  – ток возбуждения

В связи с этим при снятии х.к.з. могут иметь место два характерных случая: первый, когда при  $i_B = 0$  величины  $I_K < I_n$  и второй, когда при этом же условии  $I_K > I_n$ . В первом случае х.к.з. снимается путем плавного увеличения тока возбуждения (прямая 1 на рис.8.3). Во втором же случае (прямая 2) для снятия х.к.з. необходимо размагнитить генератор, изменив направление тока в обмотке возбуждения.

Величину наибольшего тока якоря при снятии х.к.з. следует ограничить значением  $(1,1 \div 1,2)I_n$ .

Данные опыта записать в табл.8.2.

#### 8.4. Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия и конструкцию МПТ.
2. Что называется геометрической нейтральной в МПТ?
3. Что называется физической нейтральной в МПТ?
4. Что называется реакцией якоря в МПТ?
5. Почему характеристика холостого хода начинается не с 0?
6. Почему характеристика короткого замыкания имеет прямолинейный характер?

## **Лабораторная работа №9**

### **Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения при нагрузке**

#### **9.1. Цель работы**

Изучение физических процессов и характеристик генератора постоянного тока независимого возбуждения при нагрузке.

#### **9.2. Программа работы**

1. Ознакомиться с установкой и записать данные таблички генератора.
2. Снять и построить нагрузочную характеристику  $U = f(i_B)$  при  $n = n_H = \text{const}$ ,  $I = \text{const}$ .
3. Снять и построить внешнюю характеристику  $U = f(I)$  при  $n = n_H = \text{const}$ ,  $i_B = \text{const}$ .
4. Снять и построить регулировочную характеристику  $i_B = f(I)$  при  $n = n_H = \text{const}$ ,  $U = U_H = \text{const}$ .

#### **9.3. Порядок выполнения работы и составление отчета**

1. Схема для снятия характеристик приведена на рис.9.1.
2. Нагрузочная характеристика представляет зависимость напряжения на зажимах якоря от тока возбуждения при постоянном значении тока якоря. Ввиду того, что эта характеристика так же как и характеристика холостого хода является неоднозначной, в этом опыте следует учесть замечания, сделанные для опыта холостого хода.

Практически снимается нисходящая ветвь путем уменьшения тока возбуждения от наибольшего значения соответствующего напряжению  $U \approx (1,05 \div 1,1)U_H$  при указанных значениях тока якоря.

Поддержание постоянства тока якоря достигается с помощью нагрузочного реостата. В случае, если при этом невозможно получить плавное изменение тока нагрузки, например, когда в качестве сопротивлений используются лампы накаливания, рекомендуется сначала ступенчато увеличить ток нагрузки, а затем плавным уменьшением тока возбуждения довести его величину до заданной.

Опытные данные записать в табл. 9.1.

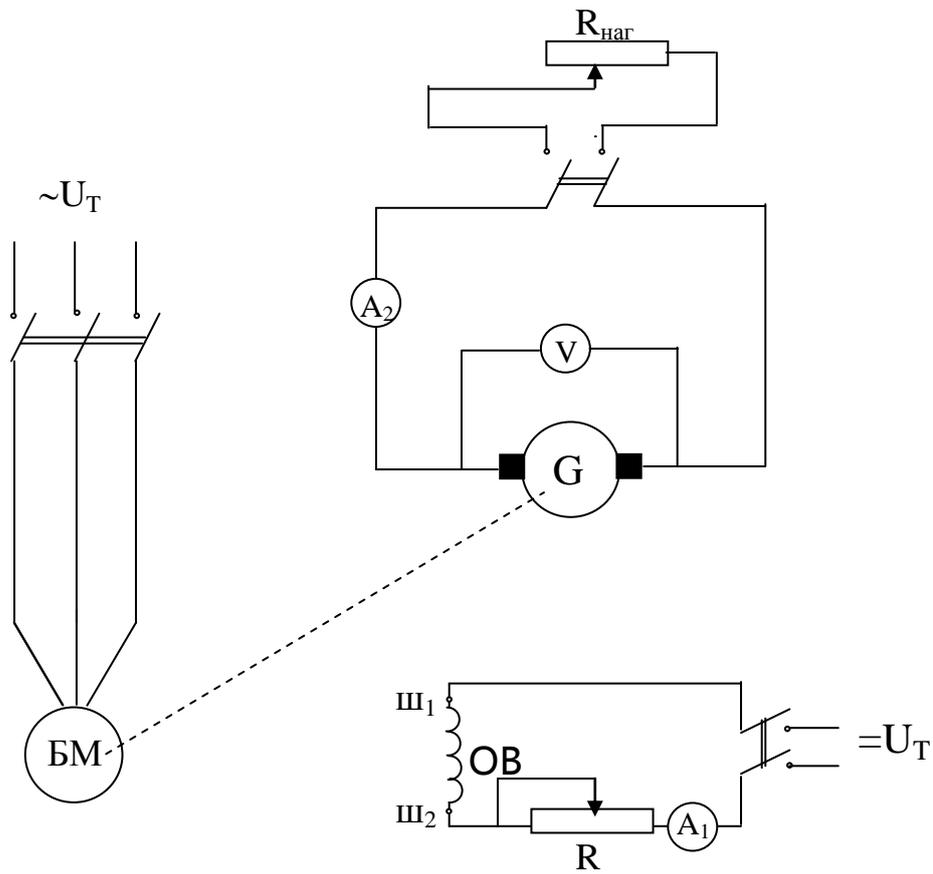


Рис. 9.1. Схема для исследования генератора с независимым возбуждением

Таблица 9.1.

$I_a$	А						
	о.е.						
$i_q$	А						
	о.е.						

Таблица 9.2.

$U_a$	В						
	о.е.						
$I_a$	А						
	о.е.						

Таблица 9.3.

$U_a$	В						
	о.е.						
$i_q$	А						
	о.е.						

Все характеристики с нагрузкой строятся в относительных единицах

$$U_* = \frac{U_0}{U_H} \text{ (o.e.); } i_{B*} = \frac{i_B}{i_{B0}} \text{ (o.e.); } I_* = \frac{I}{I_H} \text{ (o.e)}$$

Примерный вид нагрузочной характеристики показан на рис.9.2

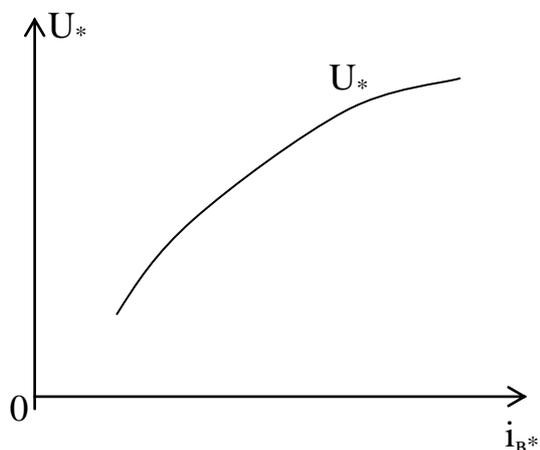


Рис.9.2. Нагрузочная характеристика;  $U_*$  - напряжение,  $i_B$  – ток возбуждения,

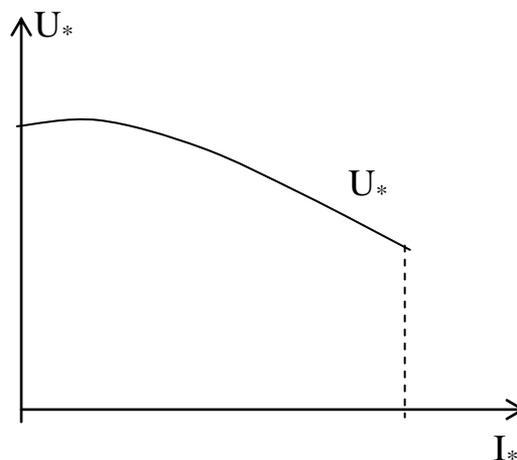


Рис.9.3. Внешняя характеристика:  $U_*$  - напряжение,  $I_a$  – ток нагрузки

3. При снятии внешней характеристики ток нагрузки следует изменять от 0 до  $1,1I_H$ , установив при холостом ходе генератора номинальное напряжение на его зажимах.

Опытные данные записать в табл.9.2.

Внешняя характеристики показана на рис.9.3.

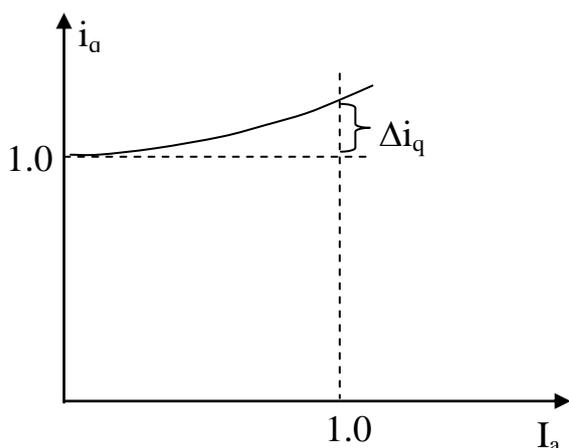


Рис. 9.4. Регулировочная характеристика

$I_a$  – ток нагрузки,  $\Delta i_q$  – изменение тока возбуждения

4. При снятии регулировочной характеристики ток нагрузки генератора изменяется в пределах от 0 до  $I_H$ , а напряжение

поддерживается постоянным и равным номинальному за счет изменения тока возбуждения.

В этом опыте для исключения влияния гистерезиса ток возбуждения  $i_v$  следует изменять строго монотонно, т.е. только в одном направлении. Опытные данные записать в табл. 9.3.

Примерный вид регулировочной характеристики показан на рис.9.4

#### **9.4. Контрольные вопросы**

1. Почему нагрузочная характеристика идет ниже характеристики холостого хода?
2. С увеличением нагрузки от 0 до номинальной напряжение почему падает?
3. Что надо делать с увеличением нагрузки для поддержания напряжения постоянным?

## Литература.

1. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажагимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга курамиз. – Т.: Ўзбекистон НМИУ, 2017. – 488 б.
2. Баклин В.С. Расчет двухполюсных турбогенераторов. Учебное пособие. – Томск.: ТПУ, 2011. - 138 с.
3. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С., Проектирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001.- 430 с.
4. Гольдберг О.Д. Инженерное проектирование и САПР электрических машин: учебник для вузов/ О.Д. Гольдберг, И.С. Свириденко; Под ред. О.А. Гольдберга. – М.:Академия, 2008.-560 с.
5. Извеков В.И., Серихин Н.А., Абрамов А.И. Проектирование турбогенераторов. – М.: Изд МЭИ, 2005.- 440 с.
6. Копилов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П., Токарев Б.Ф. Проектирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2002.- 757 с.
7. Лопухина Е.М. Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности. – М.: Высшая школа, 2002.- 511 с.
8. Макаричев Ю.А. Проектирование турбогенераторов. Учеб. пособие. – Самара.: СамГТУ, 2000. - 69 с.
9. Пирматов Н.Б., Мустафакулова Г.Н., Махмадиев Ф.М. “Электр машиналари” курсидан “Трансформаторларни лойихалаш”. Методик қўлланма. – Т.: ТошДТУ, 2013. - 95 с.
10. Пирматов Н.Б., Ярмухаммедова З.А., Мустафакулова Г.Н., Электр машиналари фанининг трансформаторлар қисми бўйича курс лойихасини бажаришга оид ўқув методик қўлланма – Т.: ТошДТУ, 2012. - 120 б.
11. Салимов Ж.С., Пирматов Н.Б. Электр машиналари. – Т.: Ўзбекистон файласуфлари миллий жамияти нашриёти, 2011. - 408 б.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>Лабораторная работа №1.</b> Исследование трехфазного двух- обмоточного трансформатора при холостом ходе и коротком замыкании .....	4
<b>Лабораторная работа №2.</b> Исследование трехфазного двух- обмоточного трансформатора при нагрузке .....	10
<b>Лабораторная работа №3.</b> Определение групп трехфазного двух обмоточного трансформатора .....	13
<b>Лабораторная работа №4.</b> Параллельная работа трехфазных двухобмоточных трансформаторов .....	16
<b>Лабораторная работа №5.</b> Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при холостом ходе и коротком замыкании .....	19
<b>Лабораторная работа №6.</b> Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при нагрузке .....	24
<b>Лабораторная работа №7.</b> Исследование трехфазного синхронного генератора при холостом ходе и нагрузке .....	24
<b>Лабораторная работа №8.</b> Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения при холостом ходе и коротком замыкании .....	32
<b>Лабораторная работа №9.</b> Исследование генератора постоянного тока независимого возбуждения при нагрузке .....	35
<b>Литература</b> .....	39
<b>Содержание</b> .....	40

**Редактор Ахметжанова Г.М.**