

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Часть 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ



Санкт-Петербург
2005

УДК 621.3

Кардонов Г.А., Никитина М.В., Толмачев В.А., Усольцев А.А. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Электротехника”/ Часть 2. Электрические машины. – СПб: СПб ГУИТМО, 2005 – 43 с.

Пособие содержит методические указания к семи лабораторным работам по исследованию режимов работы и характеристик электрических машин различного типа.

Пособие составлено с учетом проведения лабораторных работ на специализированных стендах в лаборатории электрических машин кафедры Электротехники и прецизионных электромеханических систем.

Методические указания рекомендованы студентам всех специальностей, изучающих дисциплины “Общая электротехника”, “Электротехника и электроника” и “Электрические машины”.

Рекомендовано учебно-методической комиссией факультета КТ и У СПб ГУИТМО, протокол №1 от 20 сентября 2005 г.

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2005

© Кардонов Г.А., Никитина М.В., Толмачев В.А., Усольцев А.А., 2005.

Лабораторная работа 1

Исследование однофазного трансформатора

Цель работы – экспериментальное исследование характеристик трансформатора.

Указания по выполнению работы

К выполнению работы следует приступать после изучения раздела “Электрические трансформаторы” одного из учебников [1]-[5] рекомендованной учебной литературы, расположенной в конце настоящего пособия.

1. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис.1.1) содержит испытуемый однофазный трансформатор малой мощности типа ТН36-50Гц (Тр), лабораторный автотрансформатор (ЛАТр), предназначенный для регулирования напряжения на первичной обмотке испытуемого трансформатора и комплект измерительных приборов.

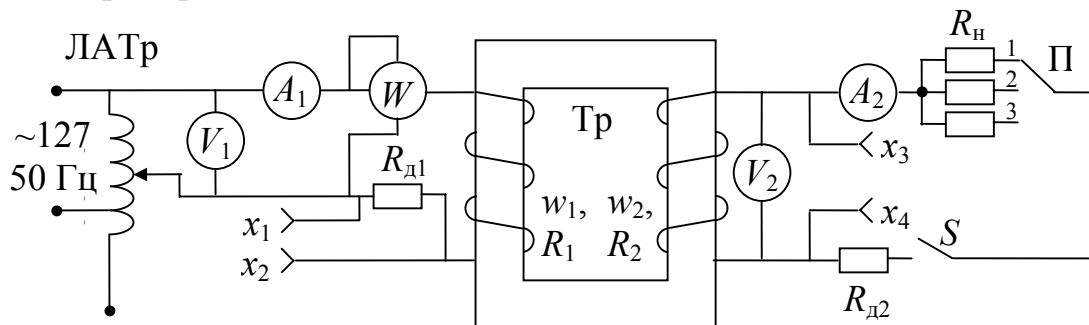


Рис. 1.1

Паспортные данные испытуемого трансформатора приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Паспортные данные	Значение
Номинальная полная мощность S_n , В·А	36
Номинальное напряжение первичной обмотки $U_{1н}$, В	127
Номинальный ток первичной обмотки $I_{1н}$, А	0,284
Номинальное напряжение вторичной обмотки $U_{2н}$, В	28
Номинальный ток вторичной обмотки $I_{2н}$, А	1,2
Активное сопротивление первичной обмотки R_1 , Ом	20

Для измерения действующего значения напряжения на первичной обмотке трансформатора, действующего значения тока первичной обмотки и активной мощности, потребляемой трансформатором, служат соответственно вольтметр V_1 , амперметр A_1 и ваттметр W . Измерения напряжения на зажимах вторичной обмотки и тока в ее цепи производятся соответственно вольтметром V_2 и амперметром A_2 . На лицевой панели стенда установлены

тумблер S , позволяющий замыкать и размыкать цепь нагрузки трансформатора и трехпозиционный переключатель Π , служащий для ступенчатого изменения сопротивления резистивной нагрузки R_n трансформатора. Зажимы вторичной обмотки трансформатора подключены к гнездам x_3 и x_4 . Наблюдение формы тока в первичной обмотке трансформатора осуществляется с помощью электронного осциллографа, на рис.1.1 не показанного. Вход последнего при осциллографировании подключается к гнездам x_1 и x_2 , на которые выведены зажимы резистора $R_{д1}$ с малым сопротивлением, включенного последовательно в цепь первичной обмотки испытуемого трансформатора.

2. Программа работы

- 2.1 Исследование режима короткого замыкания трансформатора.
- 2.2 Исследование режима холостого хода трансформатора.
- 2.3 Исследование режима нагрузки трансформатора.
- 2.4 Исследование формы тока в первичной обмотке трансформатора.

3. Методика выполнения работы

3.1 Опыт короткого замыкания трансформатора

- Установить предел шкалы вольтметра V_1 , соответствующий примерно половине номинального напряжения, а предел шкалы амперметра A_1 – примерно номинальному току первичной обмотки трансформатора.
- Замкнуть гнезда x_1 - x_2 и x_3 - x_4 с помощью короткозамкнутых вилок.
- Подать напряжение питания на обмотку лабораторного автотрансформатора (ЛАТр). Постепенно увеличивая выходное напряжение ЛАТра, установить номинальный ток в первичной обмотке. Результаты измерений U_k , I_1 и P_k занести в строку 1 таблицы 1.2.

Таблица 1.2

№ п/п	Результаты измерений			Результаты вычислений								
	I_1	U_k	P_k	$u_k\%$	Z_k	R_k	X_k	R_1	X_{p1}	R'_2	X'_{p2}	φ_k
	А	В	Вт	%	Ом							град
1.												
2.												

- Повторить опыт, установив с помощью ЛАТра ток $I_1 < I_{1н}$. Занести показания приборов в строку 2 таблицы 1.2.
- Извлечь короткозамкнутую вилку из гнезд x_3 - x_4 .
- При оформлении отчета рассчитать параметры схемы замещения трансформатора по формулам

$$Z_k = U_k / I_1, \quad R_k = P_k / I_1^2, \quad X_k = \sqrt{(Z_k^2 - R_k^2)}, \quad R_1 = R'_2 = R_k / 2, \quad X_{p1} = X_{p2}' = X_k / 2,$$

где Z_k – полное сопротивление короткого замыкания, R_k и X_k – соответственно активное и реактивное сопротивления короткого замыкания, R_1 – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора, R'_2 – приве-

денное активное сопротивление вторичной обмотки, X_{p1} – индуктивное сопротивление рассеяния первичной обмотки, X_{p2}' – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния вторичной обмотки.

- Рассчитать процентное напряжение короткого замыкания $u_k\%$ и фазовый сдвиг φ_k между напряжением и током в режиме короткого замыкания по формула

$$u_k\% = 100 \cdot U_k / U_{1н}, \quad \cos\varphi_k = P_k / (U_k \cdot I_1).$$

Результаты расчета поместить в таблицу 1.2.

3.2 Опыт холостого хода

- Установить предел шкалы вольтметра V_1 , соответствующий примерно номинальному напряжению, а предел шкалы амперметра A_1 – примерно половине номинального тока первичной обмотки трансформатора.

- Разомкнуть цепь вторичной обмотки трансформатора ключом S .

- Подать напряжение питания на обмотку лабораторного автотрансформатора (ЛАТр). Постепенно увеличивая выходное напряжение ЛАТра, установить номинальное напряжение $U_{1н}$ на первичной обмотке испытуемого трансформатора. Результаты измерений U_1 , U_{20} , I_{10} и P_{10} занести в строку 1 таблицы 1.3.

Таблица 1.3

№ п/п	Результаты измерений				Результаты вычислений						
	U_1	U_{20}	P_{10}	I_{10}	$K_{тр}$	$I_{10}\%$	$R_{ст}$	Z_{μ}	X_{μ}	φ_0	δ
	В		Вт	А	-	%	Ом		град		
1											
2											

- Повторить опыт, установив с помощью ЛАТра напряжение $U_1 < U_{1н}$. Занести показания приборов в строку 2 таблицы 1.3.

- При оформлении отчета рассчитать параметры схемы замещения трансформатора по формулам

$$Z_{\mu} = U_{1н} / I_{10}, \quad P_{м0} = R_1 \cdot I_{10}^2, \quad R_{ст} = (P_{10} - P_{м0}) / I_{10}^2, \quad X_{\mu} = \sqrt{(Z_{\mu}^2 - R_{ст}^2)},$$

где Z_{μ} – полное сопротивление первичной обмотки трансформатора в режиме холостого хода, R_1 – активное сопротивление первичной обмотки, $R_{ст}$ – активное сопротивление контура намагничивания, обусловленное потерями в стали, X_{μ} – индуктивное сопротивление контура намагничивания, $P_{м0}$ – потери в меди первичной обмотки в режиме холостого хода.

- Рассчитать коэффициент трансформации трансформатора $K_{тр}$, процентное значение тока холостого хода $I_{10}\%$, фазовый сдвиг между напряжением и током в режиме холостого хода φ_0 и угол магнитного запаздывания (угол потерь) δ по формулам

$$K_{тр} = U_1 / U_{20}, \quad I_{10}\% = 100 \cdot I_{10} / I_{1н}, \quad \varphi_0 = \arccos[P_0 / (U_1 \cdot I_{10})], \quad \delta = 90^\circ - \varphi_0.$$

Результаты расчетов поместить в таблицу 1.3.

3.3 Исследование режима нагрузки трансформатора.

- Установить предел шкалы вольтметра V_1 , соответствующий примерно номинальному напряжению, а пределы шкал амперметров A_1 и A_2 – примерно $1,25 \cdot I_{1н}$ и $1,25 \cdot I_{2н}$ соответственно.
- Подать напряжение питания на обмотку лабораторного автотрансформатора (ЛАТр). Постепенно увеличивая выходное напряжение ЛАТра, установить номинальное напряжение $U_{1н}$ на первичной обмотке испытуемого трансформатора.
- Замкнуть цепь вторичной обмотки трансформатора ключом S .
- Поставить переключатель Π в положение 1 и произвести измерения U_1, I_1, P_1, U_2, I_2 . Результаты измерений занести в строку 2 таблицы 1.4.
- Повторить измерения, переводя переключатель Π в положение 2 и 3. Результаты измерений занести в строки 3 и 4 таблицы 1.4.
- Результаты измерений U_1, U_{20}, I_{10} и P_{10} перенести из первой строки таблицы 1.3 в строку 1 таблицы 1.4.

Таблица 1.4

№ п/п	Результаты измерений					Результаты вычислений						
	$U_{1н}$	I_1	P_1	U_2	I_2	P_2	η_3	$\cos\varphi_1$	$I_2 \cdot R_2$	$I_2 \cdot X_{p2}$	U_{2p}	η_p
	В	А	Вт	В	А	Вт	%	-	В			%
1												
2												
3												
4												

При оформлении отчета рассчитываются по результатам эксперимента активная мощность в нагрузке трансформатора $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_{2н}$, значение КПД трансформатора $\eta_3 = P_2 / P_1$ и коэффициент мощности $\cos\varphi_1 = P_1 / (U_{1н} \cdot I_1)$. Результаты расчетов помещаются в таблицу 1.4. Следует иметь в виду, что $\varphi_{2н}$ – фазовый сдвиг между напряжением и током в нагрузке трансформатора резистивного характера равен 1.

- Падения напряжений на активном и индуктивном сопротивлениях рассеяния вторичной обмотки ($I_2 \cdot R_2$ и $I_2 \cdot X_{p2}$), напряжение на зажимах вторичной обмотки U_{2p} и значение КПД трансформатора η_p рассчитываются с использованием результатов опыта короткого замыкания (таблица 1.2) и холостого хода (таблица 1.3) по формулам

$$I_2 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_2' / K_{тр}^2, \quad I_2 \cdot X_{p2} = I_2 \cdot X_{p2}' / K_{тр}^2,$$

$$U_{2p} = U_{20} - \Delta U_2, \quad \Delta U_2 = \beta \cdot U_k \cdot (\cos\varphi_k \cdot \cos\varphi_{2н} + \sin\varphi_k \cdot \sin\varphi_{2н}),$$

$$\eta_p = \beta \cdot U_{2н} \cdot I_{2н} \cdot \cos\varphi_{2н} / (\beta \cdot U_{2н} \cdot I_{2н} \cdot \cos\varphi_{2н} + P_0 + \beta^2 \cdot P_k),$$

где $\beta = I_2 / I_{2н} \cong I_1 / I_{1н}$ – коэффициент нагрузки трансформатора.

3.4 Исследование формы тока в первичной обмотке трансформатора.

- Разомкнуть гнезда x_1 - x_2 и подключить к ним вход осциллографа.

- Разомкнуть цепь нагрузки ключом S и зарисовать кривую тока холостого хода трансформатора.
- Поставить переключатель Π в положение 1, замкнуть ключ S и зарисовать кривую тока первичной обмотки трансформатора при работе на резистивную нагрузку.
- Подключить вход осциллографа к гнездам x_3 и x_4 , разомкнуть ключ S и зарисовать кривую напряжения на вторичной обмотке трансформатора в режиме холостого хода.
- Замкнуть ключ S и зарисовать кривую напряжения на резистивной нагрузке трансформатора.

Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки (рис.1.1).
2. Расчетные формулы и результаты расчетов. Заполненные таблицы 1.1–1.4.
3. Схема замещения трансформатора с указанием расчетных значений параметров ее элементов.
4. Семейство кривых $I_1(\beta)$, $\cos\varphi_1(\beta)$, $P_1(\beta)$, $U_2(\beta)$, $U_{2p}(\beta)$, $\eta_p(\beta)$, $\eta_{\Sigma}(\beta)$, построенных по данным таблицы 1.4 и размещенных на одном рисунке.
5. Построенные в масштабе векторные диаграммы для исследуемого трансформатора для режимов холостого хода, короткого замыкания и нагрузки (для любого выбранного положения переключателя Π).
6. Выводы по работе.

Лабораторная работа 2

Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы – экспериментальное исследование статических характеристик трехфазного асинхронного двигателя в различных режимах его работы.

Указания по выполнению работы

К выполнению работы следует приступать после изучения раздела “Трехфазные асинхронные двигатели” одного из учебников [1]-[5] рекомендованной учебной литературы, расположенной в конце настоящего пособия.

1. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 2.1) содержит электромеханический блок и комплект измерительной и регулирующей аппаратуры.

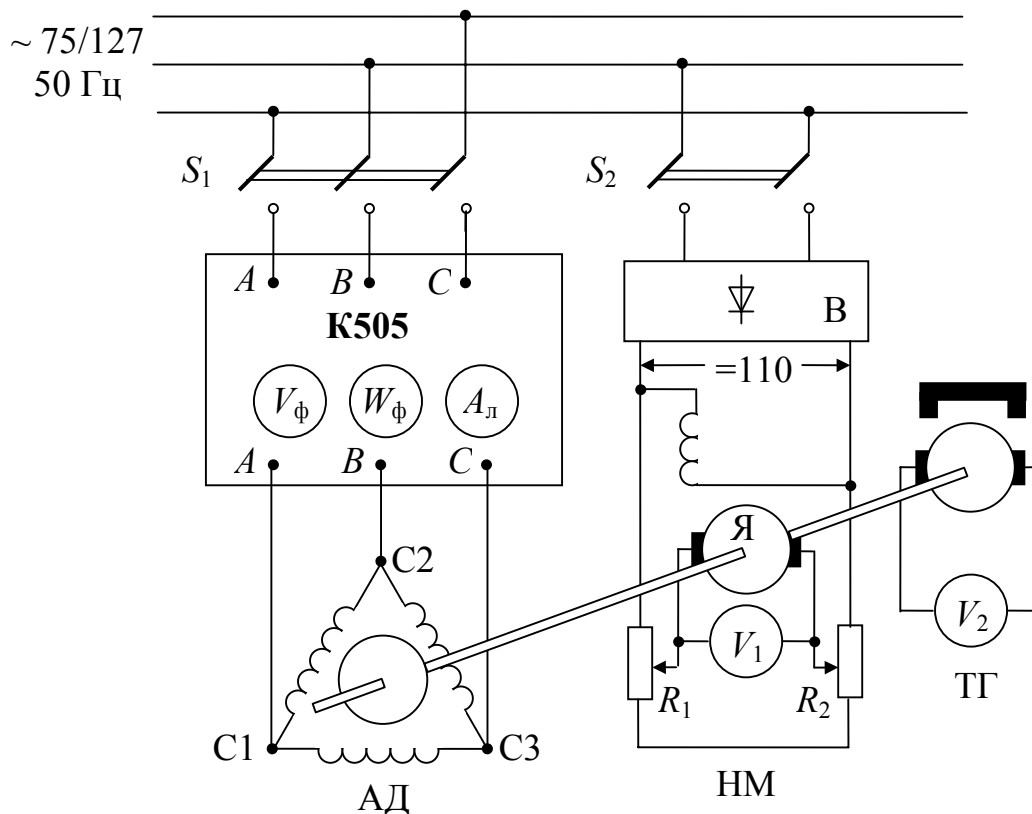


Рис. 2.1

Электромеханический блок содержит испытуемый трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором АД, нагрузочную машину НМ, электромеханический тахогенератор ТГ и устройство измерения вращающего момента испытуемого двигателя. Роторы всех машин жестко связаны между собой с помощью соединительных муфт. Статор исследуемой машины механически не связан с остовом установки, а через редуктор

соединен с противовесом, тем самым, обеспечивая измерение, развиваемого на валу ротора, момента. Отсчет измеряемого момента осуществляется по градуированной шкале, расположенной на торцевой части электромеханического блока. Цена деления шкалы – 19 Г·см/град или $19,4 \cdot 10^{-4} \text{ Н·м/град}$.

В качестве испытуемой используется машина типа ДТ-75 с номинальным фазным напряжением 220 В. Для предотвращения выхода из строя двигателя все испытания проводятся при пониженном напряжении на его фазных обмотках. Последние соединены по схеме треугольника и питание их осуществляется от первичной сети с линейным напряжением 127 В. Подключение обмоток статора к питающей сети осуществляется с помощью выключателя S_1 . Паспортные данные на испытуемый двигатель представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Тип	$U_{\text{фн}}$	$I_{\text{фн}}$	$P_{2\text{н}}$	$n_{2\text{н}}$	$\eta_{\text{н}}$	$\cos\varphi$	f	p
	В	А	Вт	об/мин	%	-	Гц	-
ДТ-75	220	0.4	75	2800	65	0.76	50	1

Нагрузочный момент на валу АД создается двигателем постоянного тока с параллельным возбуждением типа ЭП мощностью 245 Вт и напряжением питания 110 В. Регулирование нагрузочного момента осуществляется изменением напряжения на якоре этой машины с помощью реостатов R_1 и R_2 при неизменном напряжении 110 В на обмотке возбуждения. Последнее формируется из линейного напряжения источника с помощью двухполупериодного выпрямителя В при замкнутом выключателе S_2 . Для измерения напряжения на якоре НМ служит вольтметр V_1 .

Скорость вращения ротора исследуемой машины измеряется с помощью тахогенератора ТГ, в качестве которого используется машина постоянного тока типа ДПР с возбуждением от постоянных магнитов, работающая в режиме генератора. Регистрирующим прибором, в этом случае, служит вольтметр постоянного тока V_2 .

Для измерения активной мощности, потребляемой исследуемой машиной, величин фазных напряжений и линейных токов используется измерительный комплект К505.

2. Программа работы

- 2.1 Исследование режима холостого хода двигателя.
- 2.2 Снятие рабочих характеристик двигателя.
- 2.3 Снятие механических характеристик двигателя.

3. Методика выполнения работы

3.1 Исследование режима холостого хода

В этом режиме потери в ферромагнитном сердечнике, обмотках статора и ротора, механические потери (на трение в подшипниках, на самовентиляцию) и добавочные потери испытуемого асинхронного двигателя должны быть скомпенсированы вращающим моментом нагрузочной машины (в

данном случае машины постоянного тока). Развиваемый испытуемым асинхронным двигателем электромагнитный момент должен быть равен нулю, что можно обеспечить лишь, если обе электрические машины – АД и НМ – будут иметь одинаковое направление вращения. Для установки режима холостого хода испытуемого АД необходимо:

- При разомкнутом выключателе S_2 подать кратковременно с помощью выключателя S_1 питание на испытуемую машину и запомнить направление вращения вала.
- При разомкнутом выключателе S_1 подать с помощью выключателя S_2 питание на нагрузочную машину и запомнить направление вращения вала. Если направление вращения вала НМ противоположно направлению вращения вала АД, то следует изменить направление вращения АД, поменяв при разомкнутом выключателе S_1 местами два любых линейных провода.
- После достижения согласованного направления вращения обеих электрических машин следует замкнуть выключатель S_2 и установить с помощью движков регулировочных реостатов R_1 и R_2 минимальное напряжение на якоре нагрузочной машины (по вольтметру V_1).
- Включить S_1 и постепенно с помощью потенциометров R_1 и R_2 увеличить напряжение на якоре нагрузочной машины до такой величины, при которой стрелка указателя момента встанет на нулевую отметку.
- Произвести измерение линейных напряжения и тока, активных мощностей P_A и P_B , а также напряжения на зажимах тахогенератора. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Результаты измерений					Результаты вычислений		
U_L	I_L	P_A	P_B	$U_{ТГХ}$	P_{1x}	$\cos\varphi_{1x}$	$K_{ТГ}$
В	А	Вт		В	Вт	-	В/(об/мин)

- Не выключая S_1 и S_2 перейти к снятию рабочих характеристик АД.

При оформлении отчета следует рассчитать мощность, потребляемую из питающей сети в режиме холостого хода $P_{1x} = P_A + P_B$, коэффициент мощности в режиме холостого хода $\cos\varphi_{1x} = P_{1x} / (\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L)$ и коэффициент передачи тахогенератора $K_{ТГ} = U_{ТГХ} / n_1$, где $n_1 = 60 \cdot f / p$ – скорость вращения магнитного поля статора АД, p – количество пар полюсов статора АД. Результаты расчета поместить в таблицу 2.2.

3.2 Снятие рабочих характеристик двигателя.

- Постепенно с помощью потенциометров R_1 и R_2 увеличивая напряжение на якоре машины постоянного тока и, следовательно, момент нагрузки на выходном валу испытуемого двигателя АД, провести 5-6 измерений U_L , I_L , P_A , P_B и $U_{ТГ}$ в диапазоне моментов $M_{2н}/3 \geq M_2 \geq 0$. Показания приборов занести в таблицу 2.3. По завершении эксперимента разомкнуть S_1 и S_2 .

Таблица 2.3

№ п/п	Результаты измерений						Результаты вычислений					
	$U_{\text{л}}$	$I_{\text{л}}$	$P_{\text{А}}$	$P_{\text{В}}$	M_2	$U_{\text{тг}}$	P_1	s	P_2	η	$\cos\varphi_1$	n_2
	В	А	Вт		Н·м	В	Вт	-	Вт	%	-	об/мин
1.												
...												
6.												

При оформлении отчета по результатам измерений следует рассчитать мощность, потребляемую из питающей сети $P_1 = P_{\text{А}} + P_{\text{В}}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_1 = P_1 / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}})$, скорость вращения ротора $n_2 = U_{\text{тг}} / K_{\text{тг}}$, скольжение $s = (n_1 - n_2) / n_1$, полезную механическую мощность на валу $P_2 = M_2 \cdot \pi n_2 / 30$ и коэффициент полезного действия АД $\eta = 100 \cdot P_2 / P_1$. Результаты расчета поместить в таблицу 2.3.

3.3 Снятие механических характеристик двигателя.

3.3.1 Генераторный режим.

В генераторном режиме ротор асинхронного двигателя вращается со скоростью, большей скорости вращения магнитного поля ($n_2 > n_1$) под действием вращающего момента нагрузочной машины. Электромагнитный момент испытуемого двигателя – отрицательный ($M_2 < 0$).

Для выполнения опыта необходимо:

- Замкнуть выключатели S_1 и S_2 и с помощью движков реостатов R_1 и R_2 вывести АД в режим, при котором напряжение зажимах тахогенератора достигнет величины $\approx 1,3 \cdot U_{\text{тг х}}$. Занести результаты измерения $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$, M_2 и $U_{\text{тг}}$ в строку 1 таблицы 2.4.

Таблица 2.4

№ п/п	Режим работы	Результаты измерений				Результаты вычислений	
		$U_{\text{л}}$	$I_{\text{л}}$	$U_{\text{тг}}$	M_2	n_2	s
		В	А	В	Н·м	об/мин	-
1	Ген						
	...						
5	ХХ						
	...						
10	Дв.макс						
	...						
13	КЗ						
	...						
16	ЭМТ						

- Снижая скорость вращения ротора до скорости холостого хода провести измерения еще в трех точках диапазона, заноса результаты в строки 2-4 таблицы 2.4.

3.3.2 Двигательный режим

В двигательном режиме ротор асинхронного двигателя вращается со скоростью, меньшей скорости вращения магнитного поля ($0 < n_2 < n_1$) под действием положительного вращающего момента АД ($M_2 > 0$).

Для выполнения опыта необходимо:

- С помощью движков реостатов R_1 и R_2 вывести АД в режим, при котором его электромагнитный момент достигнет максимального $M_{2 \text{ макс}}$, а скорость вращения критического $n_{2 \text{ кр}}$ значений. Занести результаты измерения $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$, M_2 и $U_{\text{тг}}$ в строку 10 таблицы 2.4.
- Снижая величину электромагнитного момента от $M_{2 \text{ макс}}$ до нуля (режим холостого хода) провести измерения еще в 4 точках диапазона. Показания приборов занести последовательно в строки с 9 по 6 таблицы 2.4.
- С помощью движков реостатов R_1 и R_2 вывести АД в режим короткого замыкания (пусковой режим), при котором скорость вращения ротора равна 0, а развиваемый электромагнитный момент называется пусковым $M_{\text{п}}$. Занести результаты измерения $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$, M_2 и $U_{\text{тг}}$ в строку 13 таблицы 2.4.
- Провести измерения еще в двух точках двигательного режима при значениях скорости вращения ротора в диапазоне $n_{2 \text{ кр}} > n_2 > 0$, занося показания приборов в строки 12-11 таблицы 2.4.

3.3.3 Режим электромагнитного тормоза (режим противовключения)

В указанном режиме ротор асинхронного двигателя вращается в направлении, противоположном вращению магнитного поля ($n_2 < 0$) под действием вращающего момента нагрузочной машины. Электромагнитный момент испытуемого двигателя – положительный ($M_2 > 0$).

Для выполнения опыта необходимо:

- Разомкнуть S_1 и S_2 и изменить направление вращения АД, поменяв местами два любых линейных провода, подходящих к зажимам S_1 .
- Замкнуть S_1 и S_2 и устанавливать с помощью движков реостатов R_1 и R_2 такие значения скорости вращения ротора АД, при которых напряжение на зажимах тахогенератора принимает значения $\approx 0,2 \cdot U_{\text{тг х}}$; $0,4 \cdot U_{\text{тг х}}$; $0,6 \cdot U_{\text{тг х}}$. Занести результаты измерения $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$, M_2 и $U_{\text{тг}}$ в строки 14-16 таблицы 2.4.

При оформлении отчета по результатам измерений необходимо рассчитать значения скорости вращения ротора n_2 и скольжения s .

Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки (рис.2.1).
2. Расчетные формулы и результаты расчетов. Заполненные таблицы 2.1–2.4.
3. Семейство кривых $n_2(P_2)$, $M_2(P_2)$, $I_{\text{л}}(P_2)$, $\eta(P_2)$, $\cos\varphi_2(P_2)$, построенных по данным таблицы 2.3 и размещенных на одном рисунке.
4. Графики механических характеристик $n_2(M_2)$ и $M_2(s)$, построенных по данным таблицы 2.4.
5. Выводы по работе.

Лабораторная работа 3

Исследование двухфазного исполнительного асинхронного двигателя

Цель работы – экспериментальное определение механических и регулировочных характеристик двухфазного асинхронного двигателя с полым немагнитным ротором (АДИД) при амплитудном управлении.

Указания к выполнению работы

К выполнению работы следует приступать после изучения раздела «Исполнительные асинхронные двигатели» учебной литературы [7], [8], [11], приведенной в конце пособия.

1. Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки для определения механических и регулировочных характеристик приведена на рисунке 3.1.

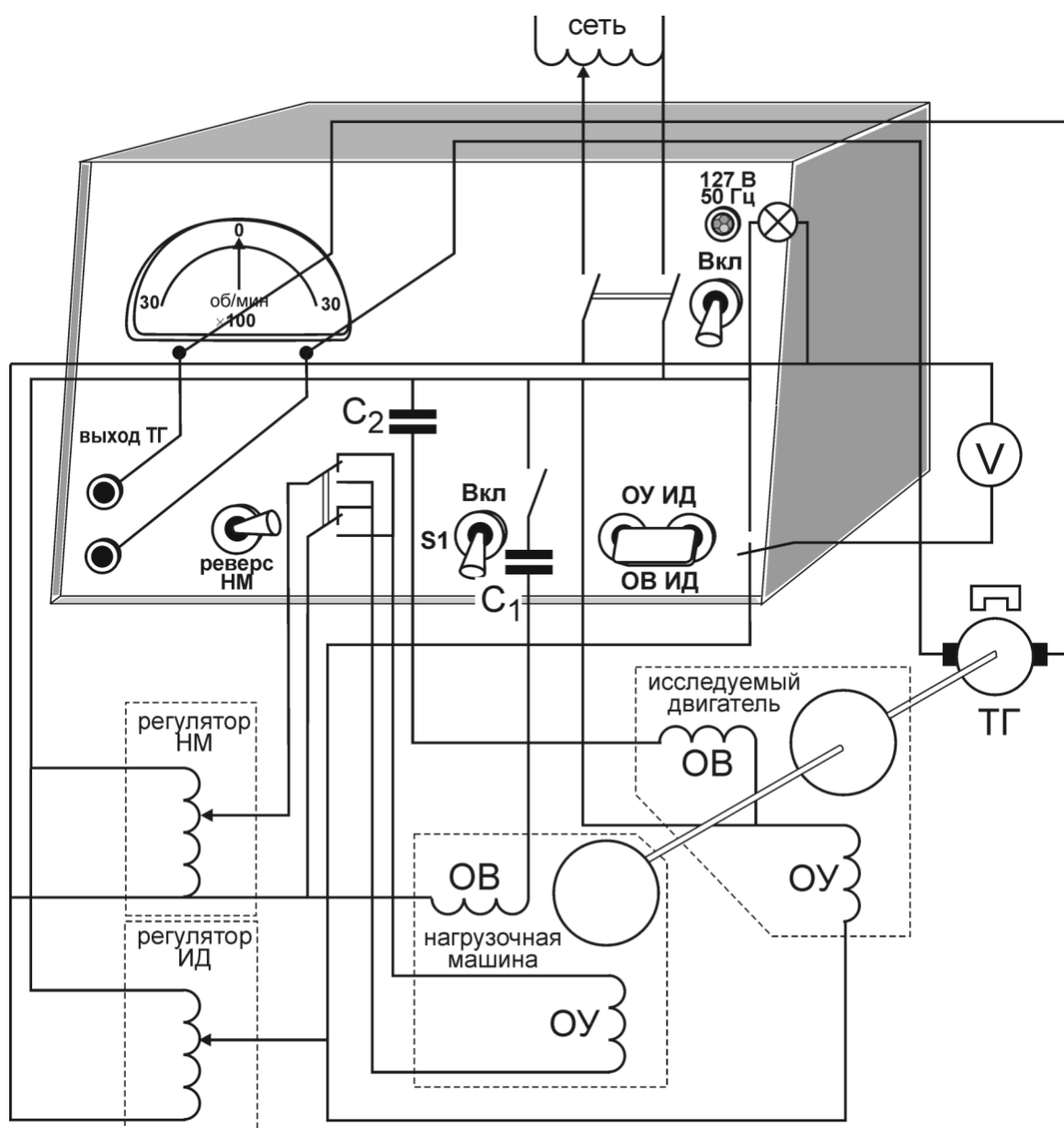


Рис. 3.1.

В качестве исследуемого в установке используется двигатель АДП-262, паспортные данные которого представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Напряжение обмотки возбуждения	110 В	Ток обмотки возбуждения	0,23 А
Напряжение обмотки управления	125 В	Ток обмотки управления	0,58 А
Частота сети	50 Гц	Нагрузочный момент	0,05 Нм
Коэффициент трансформации	0,88	Скорость вращения	1850 об/мин
Число пар полюсов	1	Скорость холостого хода	2650 об/мин
КПД	19,2 %	Мощность	9,5 Вт

Напряжение питания обмотки управления исследуемого двигателя (ИД) регулируют автотрансформатором ("регулятор ИД") и контролируют вольтметром "V". Включение вольтметра в цепь обмотки управления или обмотки возбуждения осуществляется переключателем "ОУ ИД/ОВ ИД".

Нагрузочная машина (НМ) установки того же типа, что и ИД. Управление НМ осуществляется выключателем "S1", подключающим обмотку возбуждения к сети; переключателем "реверс НМ", осуществляющим изменение направления ее вращения, и автотрансформатором "регулятор НМ", с помощью которого изменяют величину нагрузочного момента.

Значение момента нагрузки определяют по угловому отклонению свободно подвешенного корпуса ИД.

Скорость вращения в установке определяют по показаниям гальванометра, подключенного к выходу тахогенератора (ТГ) и проградуированного в оборотах в минуту.

Уравнение механической и регулировочной характеристик АДИД в относительных единицах имеет вид

$$v = \frac{2(\alpha_s - \mu)}{1 + \alpha_s^2}, \quad (3.1)$$

где $v = \frac{n}{n_0}$ – скорость вращения ротора отнесённая к скорости вращения в

режиме холостого хода n_0 при единичном эффективном коэффициенте

сигнала – $\alpha_s = \frac{U_{oy}}{U_{ов}} k$ (U_{oy} и $U_{ов}$ – соответственно напряжения на обмотках

управления и возбуждения, а k – коэффициент трансформации АДИД).

Единичный коэффициент сигнала соответствует работе двигателя при номинальных напряжениях обмоток возбуждения и управления, а т.к. во всех режимах напряжение обмотки возбуждения остается номинальным и коэффициент трансформации является константой, то коэффициент сигнала можно определить как отношение напряжения обмотки управления к номинальному напряжению, т.е.

$$\alpha_{\text{э}} = \frac{U_{\text{оу}}}{125}. \quad (3.2)$$

Нагрузочный момент АДИД в выражении (3.1) определяют по отношению к пусковому моменту $M_{\text{п}}$, измеренному при номинальных напряжениях $U_{\text{оу}}$ и $U_{\text{ов}}$, т.е. при $\alpha_{\text{э}} = 1$:

$$\mu = \frac{M}{M_{\text{п}}}. \quad (3.3)$$

При постоянном напряжении обмотки управления $U_{\text{оу}}$ ($\alpha_{\text{э}} = \text{const}$) выражение (3.1) соответствует механической характеристике АДИД ($v = F(\mu)$), а при постоянном нагрузочном моменте ($\mu = \text{const}$) – регулировочной характеристике ($v = F(\alpha_{\text{э}})$).

2. Программа работы

2.1 Экспериментальное определение механических характеристик.

2.2 Экспериментальное определение регулировочных характеристик.

3. Методика выполнения работы

3.1 Определение механических характеристик.

- a) Подключить установку к сети переменного тока 127 В/50 Гц ("Вкл").
- b) Подключить вольтметр "V" к обмотке возбуждения ИД (переключатель "ОУ ИД/ОВ ИД" в положение "ОВ ИД") и регулятором "сеть" установить номинальное напряжение 110 В.
- c) Переключить вольтметр на обмотку управления и с помощью регулятора ИД подать номинальное напряжение 125 В, контролируя его по вольтметру "V".
- d) Подключить к сети обмотку возбуждения НМ ("S1")
- e) Установить "регулятор НМ" в крайнее левое положение (против часовой стрелки) и переключателем "реверс НМ" установить согласное направление вращения НМ и ИД, отметив при этом положение переключателя. Признаком согласованности направлений вращения машин является увеличение скорости вращения роторов при выводе регулятора НМ из крайнего левого положения.
- f) Плавным вращением регулятора НМ по часовой стрелке установить указатель нагрузочного момента на нулевую отметку шкалы (режим идеального холостого хода ИД) и, отметив по индикатору скорость вращения ротора, занести полученное значение в ячейку n_0 таблицы 3.2.
- g) Регулятором НМ снизить нагрузочный момент и занести в таблицу показания указателей момента и скорости.
- h) Повторить п. f для 2...3 точек, вращая регулятор НМ против часовой стрелки до крайнего левого положения.

- i) Переключателем "реверс НМ" изменить направление вращения на-грузочного двигателя на встречное и, плавно увеличивая напряже-ние регулятором НМ, остановить вращение роторов, а затем, отме-тив отклонение указателя момента, занести полученное значение пускового момента в ячейку $M_{\text{п}}$ таблицы результатов.
- j) Повторить п.п. f и g.
- k) Регулятором ИД изменить напряжение обмотки управления по указанию преподавателя и снять новую механическую характеристику, повторяя п.п. e...j.
- l) По выражениям (3.2) и (3.3) рассчитать относительные значения $\alpha_{\text{э}}$, μ и $v_{\text{э}} = n/n_0$ и занести их в таблицу.
- m) Для каждой строки таблицы по значениям $\alpha_{\text{э}}$ и μ рассчитать по выражению (3.1) теоретическое значение скорости вращения $v_{\text{р}}$ и определить погрешность экспериментальных данных как

$$\varepsilon = \frac{v_{\text{э}} - v_{\text{р}}}{v_{\text{р}}} \cdot 100[\%]$$

3.2 Определение регулировочных характеристик.

- a) Выполнить п.п. a, b и c раздела 3.1.
- b) Переключить вольтметр на обмотку управления и с помощью регулятора ИД подать номинальное напряжение 125 В, контролируя его по вольтметру "V".
- c) Установить переключатель "реверс НМ" в положение, соответствующее согласному вращению двигателей (см. п. e раздела 3.1) и плавным вращением регулятора НМ установить указатель нагрузочного момента на нулевую отметку шкалы.
- d) Занести в таблицу 3.2 показания индикатора скорости вращения.
- e) Плавно снижая напряжение ОУ ИД с интервалом 10...15 В и поддерживая постоянным момент нагрузки с помощью регулятора НМ (при необходимости изменить направление вращения переключателем "реверс НМ"), повторять п. d до момента ~~остановки ротора~~
- f) ~~остановки ротора~~ регулировочную характеристику, повторяя п.п. b...e и поддерживая постоянным значение нагрузочного момента заданное преподавателем.
- g) Выполнить п.п. l и m раздела 3.1.

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Расчётные формулы и результаты расчетов
4. Заполненные таблицы 3.1 и 3.2.
5. Графики экспериментальных и расчетных механических и регулировочных характеристик, а также графики погрешностей.

6. Выводы по сопоставлению экспериментальных и расчетных данных.

Таблица 3.2.

Механические характеристики								Регулировочные характеристики							
U_{OY}	α_y	M	μ	n	V_y	V_p	ε	M	μ	U_{OY}	α_y	n	V_y	V_p	ε
[В]	[о.е.]	[дел]	[о.е.]	[об/мин]	[о.е.]	[о.е.]	[%]	[дел]	[о.е.]	[В]	[о.е.]	[об/мин]	[о.е.]	[о.е.]	[%]
125	1,0	0	0	n_0	1,0	1,0	0	0	0	125	1,0	###	### / n_0	1,0	0
		## Λ	##/ M_{π} Λ	#### Λ	####/ n_0 Λ	xx Λ	xx Λ			** Λ	** /125 Λ	#### Λ	#### / n_0 Λ	xx Λ	xx Λ
		M_{π}	1,0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0
**	** /125	##	##/ M_{π}	####	####/ n_0	xx	xx	##	##/ M_{π}	**	** /125	####	#### / n_0	xx	xx
		## Λ	##/ M_{π} Λ	#### Λ	####/ n_0 Λ	xx Λ	xx Λ			** Λ	** /125 Λ	#### Λ	#### / n_0 Λ	xx Λ	xx Λ
		##	##/ M_{π}	####	####/ n_0	xx	xx			**	** /125	0	0	xx	xx
**	** /125	##	##/ M_{π}	####	####/ n_0	xx	xx	##	##/ M_{π}	**	** /125	####	#### / n_0	xx	xx
		## Λ	##/ M_{π} Λ	#### Λ	####/ n_0 Λ	xx Λ	xx Λ			** Λ	** /125 Λ	#### Λ	#### / n_0 Λ	xx Λ	xx Λ
		##	##/ M_{π}	####	####/ n_0	xx	xx			**	** /125	0	0	xx	xx

Лабораторная работа 4

Исследование синхронных микродвигателей

Цель работы – исследование характеристик трехфазных синхронных реактивного и гистерезисного двигателей.

Указания по выполнению работы

Перед выполнением работы следует изучить раздел «Синхронные машины» в одном из учебников [1]-[5] и раздел «Синхронные микродвигатели» в одном из источников [6]-[8] перечня литературы, приведенного в конце настоящего пособия.

1. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис.4.1) содержит 2 электромеханических блока ЭМБ, строботометр СТ-3, лабораторный автотрансформатор ЛАТр, диодный выпрямитель В и измерительный комплект КЗ-50.

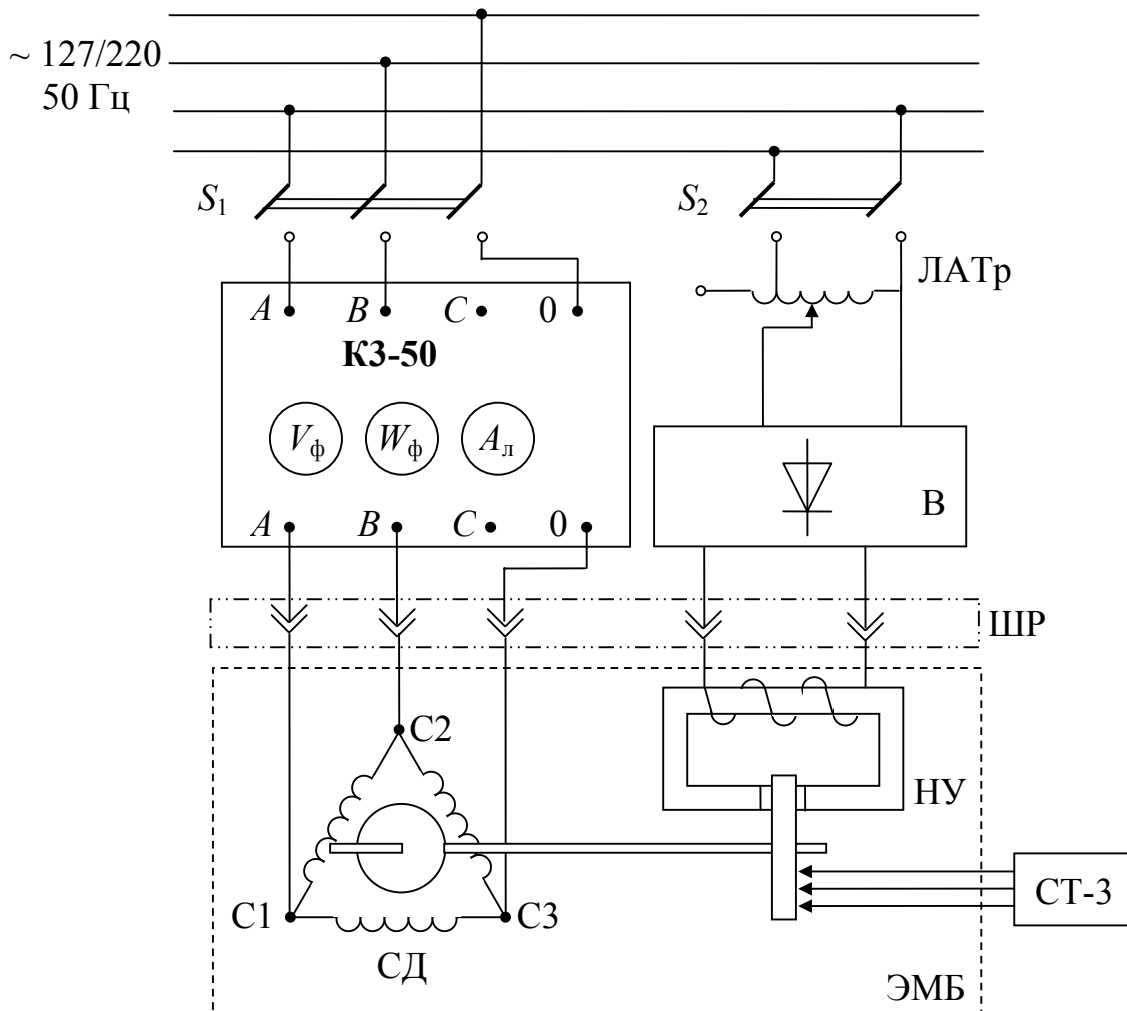


Рис. 4.1

Каждый из ЭМБ содержит исследуемый синхронный двигатель (СД) и нагрузочное устройство (НУ). Включение ЭМБ в электрическую схему установки осуществляется с помощью штепсельного разъема (ШР).

Объектами исследований являются синхронный реактивный двигатель типа ИМ-47 и синхронный гистерезисный двигатель типа Г-506 с техническими характеристиками, представленными в таблице 4.1.

Таблица 4.1

	ИМ-47	Г-506
Номинальная мощность на валу $P_{2н}$, Вт	30	60
Частота f , Гц	50	50
Напряжение U , В	220	220
Потребляемый ток I_n , А	0.75	1.2
Скорость вращения n_1 , об/мин	3000	3000
Номинальный момент M_n , Н·м	0.1	0.2

Конструкция ЭМБ и принцип действия НУ поясняются рисунком 4.2.

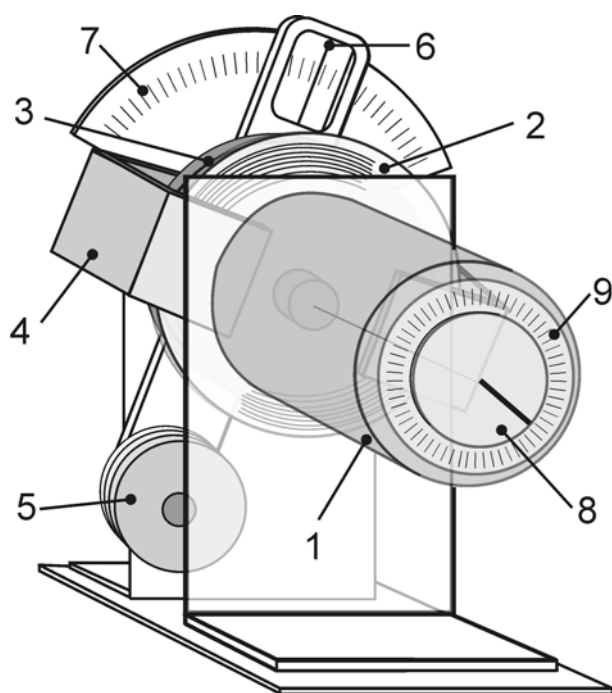


Рис.4.2

Двигатель (1) установлен в нагрузочном устройстве и на его валу закреплен алюминиевый диск (2). Диск вращается в воздушном зазоре между скобами магнитопровода (4) и сердечником неподвижного электромагнита (3). Тормозной момент создается в результате взаимодействия вихревых токов, возбуждаемых в теле вращающегося диска, и магнитного поля в зазоре. Этот момент действует на вал двигателя и (с противоположным знаком) на магнитопровод, скобы которого подвешены соосно с двигателем и жестко соединены с рычагом и закрепленным на нем противовесом (5). На другом конце рычага

установлена нить отсчетного устройства (6). При возникновении тормозного момента скобы магнитопровода поворачиваются до тех пор, пока момент противовеса (5) не скомпенсирует тормозной момент. Таким образом, при соответствующей градуировке шкалы угломерного устройства (7), по ней можно измерить момент на валу двигателя. Величина тормозного момента пропорциональна величине магнитного потока, который, в свою очередь, зависит от величины тока в катушке электромагнита. Поэтому регулирование момента осуществляется с помощью автотрансформатора

(ЛАТр на рис. 4.1), питающего через выпрямитель В катушку электромагнита. Предел измерения момента $\pm 0.45 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Для измерения угла нагрузки θ и определения режима работы двигателя в лабораторной установке используется стробоскопический эффект, заключающийся в том, что вращающийся предмет будет казаться неподвижным, если его освещать световыми импульсами с частотой, равной частоте вращения. Для этого в установке используется строботаксметр СТ-3, состоящий из импульсной лампы и генератора импульсов, синхронизирующего вспышки лампы с частотой питающей двигатель сети. Таким образом световые импульсы формируются с частотой 50 Гц и с этой же частотой вращается ротор в синхронном режиме. На конце вала двигателя противоположном тормозному диску закреплен диск с радиальной риской (8). Если этот диск осветить импульсной лампой, то в синхронном режиме риска будет казаться неподвижной, и при изменении момента на валу изображение риски будет смещаться на величину угла нагрузки θ . При выходе из синхронизма изображение риски будет вращаться с частотой скольжения ротора. Измерение угла нагрузки производится по закрепленной на корпусе двигателя подвижной круговой угломерной шкале (9). Вращение шкалы используется для совмещения ее нулевой точки с изображением риски в режиме холостого хода двигателя.

2. Программа работы

2.1 Исследование характеристик трехфазного реактивного двигателя.

2.1.1 Определение момента и мощности холостого хода.

2.1.2 Определение угла, момента и мощности выхода из синхронизма, момента и мощности входа в синхронизм.

2.1.3 Исследование угловой и рабочих характеристик.

2.2 Исследование характеристик трехфазного гистерезисного двигателя.

2.2.1 Определение момента и мощности холостого хода.

2.2.2 Определение угла, момента и мощности выхода из синхронизма, момента и мощности входа в синхронизм.

2.2.3 Исследование угловой и рабочих характеристик.

3. Методика выполнения работы

3.1 Исследование характеристик трехфазного реактивного двигателя.

- Ознакомиться с устройством и работой нагрузочной установки и строботаксметра.

- Собрать схему, изображенную на рис.4.1, подключив с помощью ШР ЭМБ, содержащий реактивный двигатель типа ИМ-47.

- Включить испытуемый двигатель на напряжение 220 В, замкнув выключатель S_1 .

- Включить генератор частоты и лампу-вспышку соответствующими тумблерами на лицевой панели блока СТ-3.

- Направить световой поток лампы на диск (8) и убедиться в том, что риска неподвижна.

3.1.1 Опыт холостого хода.

- Отключить НУ от источника питания, разомкнув выключатель S_2 .
- Совместить нуль лимба указателя угла θ с риской диска.
- Измерить момент, ток и мощность холостого хода. Величины P_A , P_B – алгебраические, они определяются по показаниям ваттметра КЗ-50 при установке переключателя на отметки фаз A и B соответственно. Данные занести в строку 1 таблицы 4.2.

Таблица 4.2

№ п/п	Результаты наблюдений						Результаты вычислений				
	θ	M	U	I	P_A	P_B	θ	P_1	P_2	η	$\cos\varphi$
	град	Н·м	В	А	Вт		эл.гр.	Вт		%	–
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

3.1.2 Режим выхода и входа в синхронизм.

- Подключить НУ к источнику питания, замкнув S_2 .
- Совместить нуль лимба указателя угла θ с риской диска.
- Плавное увеличение выходного напряжения ЛАТРа до выхода двигателя из синхронизма (что соответствует началу вращения риски диска). Зафиксировать соответствующие этому режиму угол θ и момент M и записать в строку 8 таблицы 4.2 (показания приборов при выполнении данного пункта не фиксируются).
- Плавное уменьшение выходного напряжения ЛАТРа до входа двигателя в синхронизм (риска диска неподвижна). Зафиксировать соответствующий этому режиму момент M . Записать показания всех приборов в строку 7 таблицы 4.2.
- Совместить нуль лимба указателя угла θ с риской диска, снизив выходное напряжение ЛАТРа до нуля, зафиксировать угол θ и записать в соответствующую ячейку таблицы 4.2.

3.1.3 Исследование угловой и рабочих характеристик.

- Совместить нуль лимба указателя угла θ с риской диска.
- Плавное вращая рукоятку ЛАТРа увеличивать момент нагрузки на валу двигателя в диапазоне от $M=0.1 \cdot M_H$ до $M=0.9 \cdot M_{\text{вых}}$ ($M_{\text{вых}}$ – момент выхода из синхронизма). В пяти точках указанного диапазона провести измерения

угла θ , линейного напряжения $U_{\text{л}}$, линейного тока $I_{\text{л}}$, мощностей $P_{\text{А}}$ и $P_{\text{В}}$ двигателя в синхронном режиме (риска сектора неподвижна). Данные наблюдений занести в строки 2-6 таблицы 4.2.

- Снизить выходное напряжение ЛАТра до нуля.
- Разомкнуть выключатели S_1 и S_2 , выключить лампу-вспышку и генератор импульсов.

При оформлении отчета расчеты выполняются по результатам эксперимента с использованием следующих соотношений

$$\theta[\text{эл.град}] = p \cdot \theta[\text{град}], \quad P_1 = \pm P_{\text{А}} \pm P_{\text{В}}, \quad P_2 = M \cdot \pi \cdot n / 30,$$

$$\eta = 100 \cdot P_2 / P_1, \quad \cos \varphi = P_1 / (\sqrt{3} \cdot U \cdot I), \quad m = M / M_{\text{н}}, \quad i = I / I_{\text{н}},$$

где $\theta[\text{эл.град}]$ – угол нагрузки, p – число пар полюсов машины, P_1 – электрическая мощность, потребляемая двигателем, P_2 – полезная мощность на валу, η – КПД двигателя, $\cos \varphi$ – коэффициент мощности, m – кратность момента, i – кратность тока, U и I – соответственно действующие значения напряжения и тока фазы двигателя, $M_{\text{н}}$ и $I_{\text{н}}$ – номинальные значения соответственно момента и тока. Результаты расчета поместить в таблицу 4.2.

3.2 Исследование характеристик трехфазного гистерезисного двигателя.

- Собрать схему, изображенную на рис.4.1, подключив с помощью ШР ЭМБ, содержащий гистерезисный двигатель типа Г-506.
- Включить испытуемый двигатель на напряжение 220 В, замкнув S_1 .
- Повторить пп. 3.1.1-3.1.3. Данные измерений занести в таблицу 4.3, аналогичную по содержанию таблице 4.2.

Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки.
2. Заполненные таблицы 4.1-4.3.
3. Графики угловых характеристик двигателей $M(\theta)$.
4. Семейство рабочих характеристик $P_1(P_2)$, $M(P_2)$, $I(P_2)$, $n(P_2)$, $\eta(P_2)$, $\cos \varphi(P_2)$, построенных по данным таблиц 4.2-4.3 и размещенных на одном рисунке для каждого двигателя. Следует помнить, что рабочие характеристики строятся для значений мощности P_2 в диапазоне от 0 до $P_{2\text{н}}$.
5. Расчетные соотношения и результаты расчета.
6. Выводы работе.

Лабораторная работа 5

Исследование исполнительного шагового двигателя.

Цель работы – экспериментальное определение основных характеристик шагового двигателя.

Указания к выполнению работы

К выполнению работы следует приступать после изучения раздела «Шаговые двигатели» какого либо из учебников [6], [7], [9], [10] , перечисленных в конце настоящего пособия.

1. Описание лабораторной установки и методики исследования

Схема лабораторной установки для исследования характеристик шагового двигателя (ШД) приведена на рисунке 5.1. Она включает электро-механический блок, блок управления (БУ), генератор импульсов и осцил-

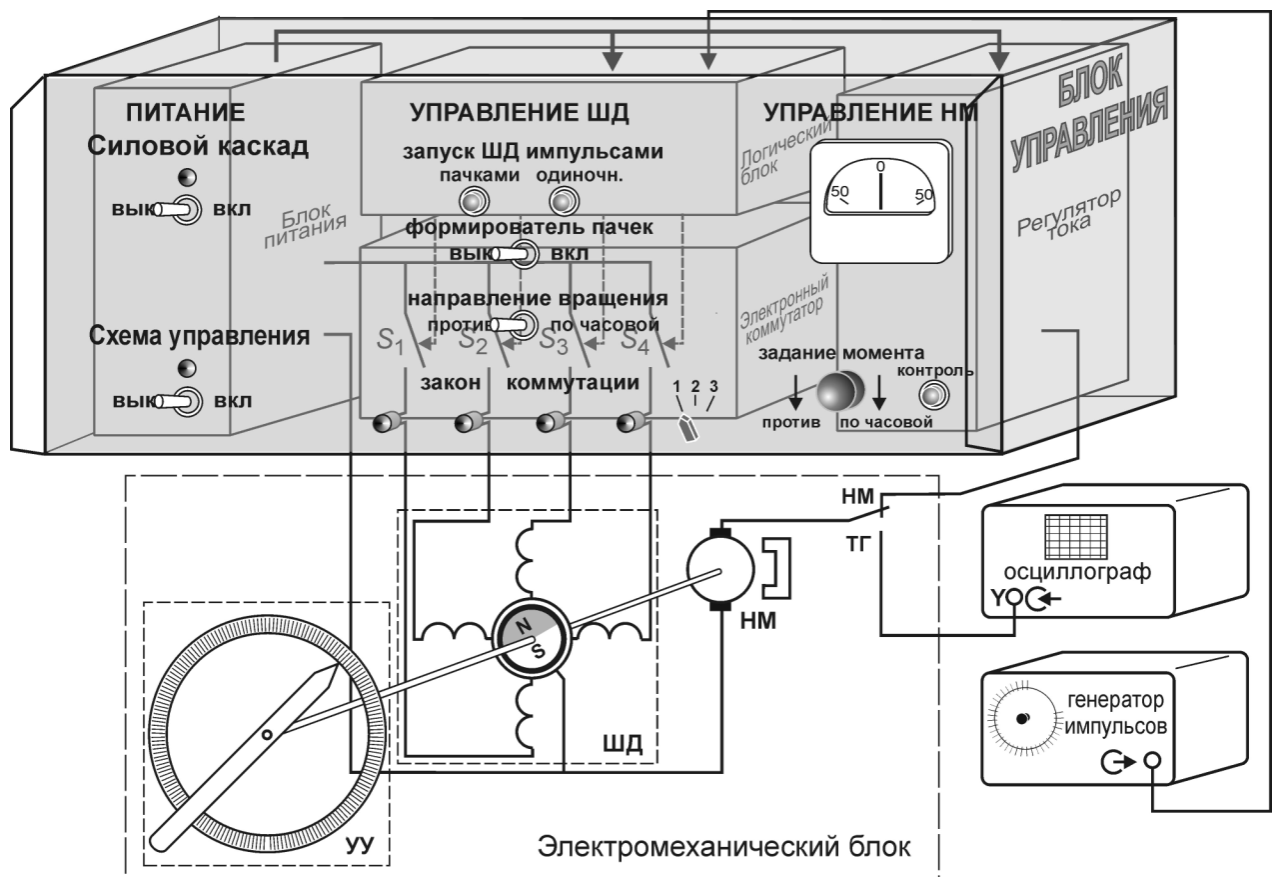


Рис. 5.1.

лограф.

В работе исследуются характеристики двигателя типа ДШ-0,04А с паспортными данными, приведенными в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Число фаз (обмоток)	4	Максимальный момент	0,035 Нм
Число пар полюсов	4	Момент инерции ротора	$3,5 \cdot 10^{-7}$ кгм ²
Угловой шаг	22,5/11,25°	Напряжение питания	27 В
Номинальный момент	0,004 Нм	Номинальный ток фазы	0,35 А

Управление ШД осуществляется ключами электронного коммутатора БУ ($S_1 K S_4$), подключающими соответствующие обмотки двигателя к источнику постоянного тока. Наличие тока в обмотках контролируется лампочками-индикаторами.

Алгоритм работы ключей коммутатора (переключения обмоток ШД) формирует логический блок в соответствии с заданным законом коммутации (рис. 5.2). В первом и третьем алгоритмах коммутация ключей симметричная с возбуждением на каждом такте соответственно одной и двух

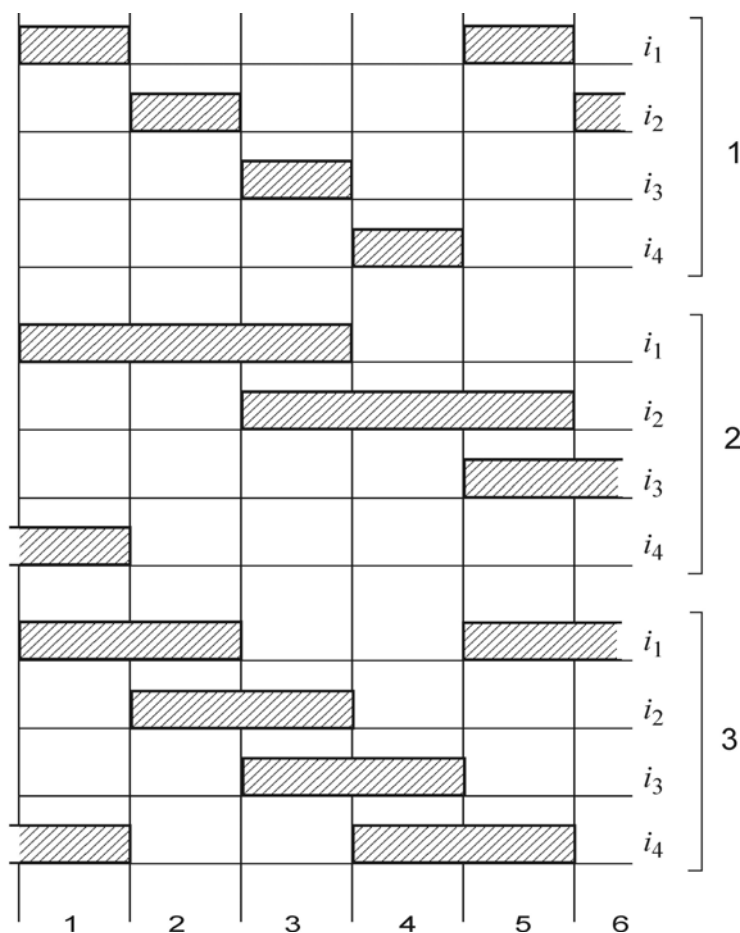


Рис. 5.2.

обмоток двигателя, во втором — несимметричная, т.к. на четных и нечетных тактах ток формируется в одной или двух обмотках ШД.

Тактовые импульсы на вход логического блока могут поступать в виде непрерывной или ограниченной последовательности, в зависимости от состояния выключателя "формирователя пачек" и кнопок "запуска ШД импульсами". При выключенном формирователе пачек коммутация ключей осуществляется непрерывно последовательностью тактовых импульсов от внешнего генератора. При включенном формирователе пачек каждое нажатие кнопки "пачками" будет форми-

ровать на входе логического блока последовательность из 256 импульсов внешнего генератора¹, а каждое нажатие кнопки "одиначным" – один тактовый импульс. В качестве генератора тактовых импульсов можно использовать любой генератор сигналов прямоугольной формы с амплитудой 5...10 В, позволяющий плавно регулировать частоту в пределах 1...1000 Гц

Число тактов в пределах цикла коммутации k_T зависит от числа фаз (обмоток) двигателя m и алгоритма управления

$$k_T = m \cdot n_1 \cdot n_2,$$

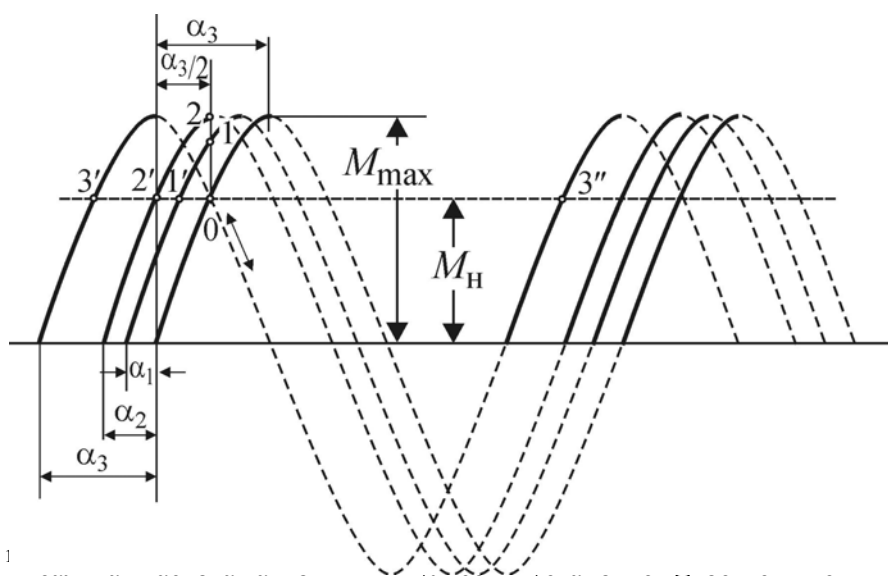
где n_1 и n_2 – коэффициенты, определяемые типом коммутации ($n_1 = 1$ и $n_1 = 2$ при симметричной и несимметричной коммутации соответственно; $n_2 = 1$ и $n_2 = 2$ при одно- и двухполярной коммутации).

Угловой шаг α , на который перемещается ротор за один такт коммутации, зависит не только от числа тактов за период k_T , но и от числа пар полюсов z_p двигателя –

$$\alpha = \frac{360}{k_T z_p} [^\circ]. \quad (5.1)$$

Угловая характеристика ШД $M(\vartheta)$ в первом приближении представляет собой синусную функцию угла нагрузки ϑ – $M = M_{\max} \sin \vartheta$.

В статическом режиме рабочая точка находится на пересечении участка устойчивости угловой характеристики ($|\vartheta| < \pi/2$) и линии момента нагрузки (точка "0" рис. 5.3) При очередной коммутации обмоток происходит скачкообразный переход на новую характеристику $M(\vartheta + \alpha)$ и возникает вращающий момент равный разности ординат точек прежней и новой характеристик (0-1, 0-2 рис. 5.3). Под действием этого момента ротор разворачивается в новое положение (точки 1', 2'). На рисунке 5.3 этот процесс показан для



трех различных величин шага α_1 , α_2 и α_3 . Для поворота ротора в направлении смещения характеристики необходимо, чтобы приращение момента после коммутации

¹ одной частоты импульсов внешнего генератора.

Рис.5.3

было положительным. Предельный случай, соответствующий нулевому приращению момента, показан для шага α_3 . В этой ситуации ротор может случайным образом развернуться либо в точку 3' без потери шага, либо в противоположную сторону в точку 3". Из рисунка видно, что ордината точки "0" определяется через половину предельного шага α_3 как $M_0 = M_{\max} \cos(\alpha_3 / 2)$. Отсюда условие работы двигателя без потери шага

$$M_n \leq M_{\max} \cos(\alpha \cdot z_p / 2). \quad (5.2)$$

При отработке шага ротор двигателя совершает колебательные движения с затухающей амплитудой, которые можно наблюдать на экране осциллографа. Частота и декремент затухания этих колебаний, называемых свободными колебаниями, позволяют определить предельную частоту квазистатического режима работы ШД, т.е. режима работы, при котором начальное значение скорости вращения ротора при коммутации равно нулю. Теоретически ее можно определить только приблизительно, приняв ряд упрощающих допущений. В эксперименте она с достаточной точностью

определяется через период T и отношение двух соседних амплитуд (U_{m1} и U_{m2} на рис. 5.4) свободных колебаний сигнала на выходе тахогенератора в виде—

$$f_{\text{кв}} = \frac{1}{3T} \ln \left(\frac{U_{m1}}{U_{m2}} \right)$$

(5.3)

Основными характеристиками, определяющими свойства ШД как электромеханического преобразователя, являются рабочие динамические характери-

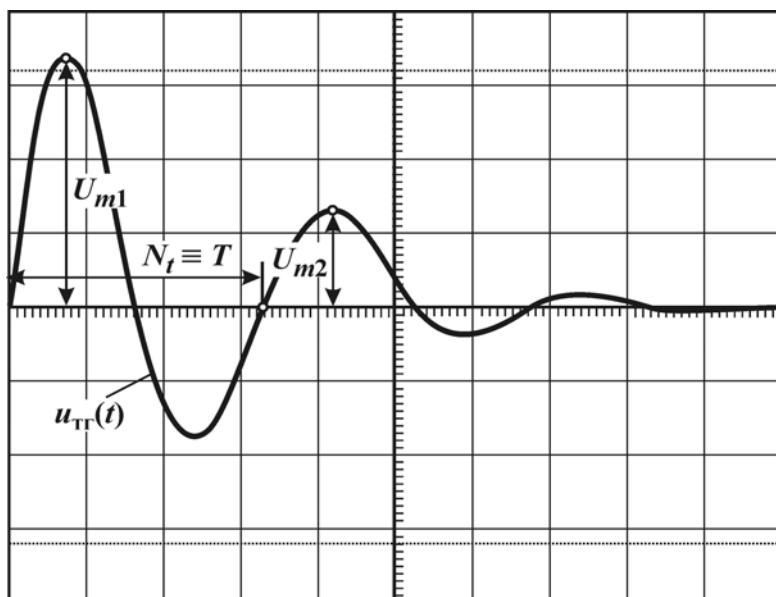


Рис. 5.4.

стики. К ним относятся предельная механическая характеристика и зависимость частоты приемистости от момента нагрузки.

Предельная механическая характеристика — это зависимость тактовой частоты коммутации или, что то же самое, средней скорости вращения ротора, от момента нагрузки на валу, при котором ротор ШД выпадает из синхронизма. Под частотой приемистости $f_{\text{пр}}$ понимают максимальную частоту тактовых импульсов, при которой возможен пуск ШД без потери шага при заданном моменте нагрузки. Характеристику $f_{\text{пр}}(M_n)$ можно назвать пусковой характеристикой. Различие этих двух характеристик за-

ключается в том, что первая из них соответствует выходу из синхронизма при вращающемся роторе, а вторая – при неподвижном. Количественное и качественное отличие характеристик наблюдается только установившемся режиме (см. рис. 5.5). Частота приемистости всегда меньше предельной частоты, кроме того, при вращении ротора возникает явление механического резонанса, нарушающее монотонность механической характеристики и создающее максимум момента. Название "предельная механическая характеристика" поясняет рис. 5.5. На нем показан ряд механических характеристик ШД. Они имеют вид горизонтальных отрезков. У синхронных двигателей с круговым вращающимся полем эти отрезки ограничены максимальным синхронизирующим моментом $M_{\max}$, а у ШД в квазистатическом режиме они ограничены моментом нагрузки в соответствии с выражением (5.2) или пусковым моментом M_{Π} . В установившемся режиме с частотами коммутации выше предельной частоты квазистатического ре-

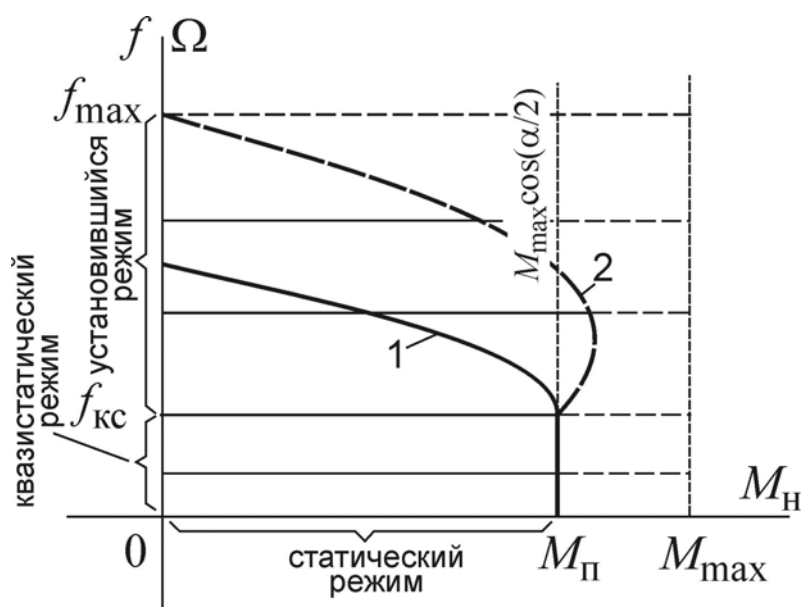


Рис. 5.5. Пусковая (1) и предельная механическая (2) характеристики ШД.

жима $f_{\text{кc}}$ выход из синхронизма наступает в точках, соответствующих предельной характеристике.

В качестве нагрузки ШД в установке используется двигатель постоянного тока с магнитоэлектрическим возбуждением типа ДПР-62. Якорь НМ питается от широтно-импульсного преобразователя, охвачен-

ного отрицательной обратной связью по току. Тем самым обеспечивается режим стабилизации тока якоря и получение абсолютно мягкой механической характеристики НМ. Величина и направление тока якоря, а, следовательно, и момента нагрузки, устанавливаются ручкой "задание момента" и контролируются по амперметру, шкала которого имеет пределы $\pm 5 \cdot 10^{-2}$ Нм.

Питание силовых и вспомогательных цепей блока управления осуществляется от двух отдельных источников и перед включением силового каскада необходимо включить питание схемы управления и произвести балансировку регулятора тока. Для этого нужно, удерживая нажатой кнопку "контроль", ручкой "задания момента" установить индикатор момента на нулевую отметку. После этого можно включать

на нулевую отметку. После этого можно включать питание силового каскада.

При определении предельной частоты квазистатического режима нагрузочная машина выполняет в установке функцию линейного датчика скорости (тахогенератора). В этом случае якорь НМ подключается ко входу осциллографа и сигнал на экране соответствует в некотором масштабе мгновенному значению скорости вращения ротора ШД. Переключение режимов НМ осуществляется тумблером "НМ-ТГ" электромеханического блока.

Угловые измерения в установке производятся с помощью угломерного устройства (УУ), представляющего собой круговую градуированную шкалу и стрелку-индикатор, закрепленную на валу ШД.

Для определения пропуска шага в установке используется способ, обладающий "памятью" события. Сущность его заключается в подаче на логический блок коммутатора ограниченной последовательности импульсов (пачки), число которых кратно числу тактов за один оборот. Если ротор при этом не совершает заданного полного числа оборотов, то это означает, что в интервале подачи импульсов пачки произошло нарушение алгоритма работы, т.е. пропуск шага.

2. Программа работы

2.1 Изучение алгоритмов работы электронного коммутатора. Определение величины углового шага.

2.2 Определение максимального синхронизирующего момента и угловой характеристики.

2.3 Определение пускового момента и предельной частоты квазистатического режима работы.

2.4 Определение предельной механической характеристики.

2.5 Определение частоты приемистости (пусковой характеристики).

3. Методика выполнения работы

3.1 Изучение алгоритмов работы электронного коммутатора. Определение величины углового шага.

- п) Включить питание схемы управления и, удерживая нажатой кнопку "контроль", ручкой "задание момента" установить индикатор момента на нулевую отметку.
- о) Включить "формирователь пачек" и питание силового каскада.
- р) Установить переключатель закона коммутации в положение "1".
- q) Установить направление вращения по часовой стрелке и последовательными нажатиями кнопки "запуск ШД одиночными импульсами" подвести стрелку индикатора угла к нулевому значению.
- г) Занести в начальную строку таблицы 5.2 показания индикаторов состояния ключей (1 – включенное состояние; 0 – выключенное) и углового положения ротора.

- s) Нажать кнопку "запуска ШД одиночными импульсами" и зафиксировать в таблице новое состояние ключей коммутатора и угловое положение ротора.
- t) Повторять п. f до тех пор, пока состояние ключей не вернется к исходной комбинации (нулевой строке таблицы)
- u) Изменить направление вращения на противоположное и повторить п.п. e...g.
- v) Повторить п.п. d...h для двух других законов коммутации (2 и 3).
- w) Определить экспериментальные значения углового шага как

$$\alpha_{\vartheta} = \frac{\vartheta_i - \vartheta_0}{i},$$

где i – число импульсов, обеспечивающих возврат коммутатора в исходное состояние; ϑ_i и ϑ_0 – показания углового индикатора в i -м и начальном состояниях. Сопоставить полученное значение с расчетным по выражению (5.1).

3.2 Определение максимального синхронизирующего момента и угловой характеристики.

- a) Установить направление вращения ротора по часовой стрелке.
- b) Установить переключатель закона коммутации в положение "1".
- c) Последовательными нажатиями кнопки "запуск ШД одиночными импульсами" подвести стрелку индикатора угла к нулевому значению.
- d) Плавно увеличивая величину нагрузочного момента в направлении по часовой стрелке, а затем против, определить значения момента нагрузки $M_{\max}$ и угол ϑ_m , при которых ротор ШД приходит во вращение и занести их в таблицу по форме 2².
- e) Установить нулевой момент нагрузки ШД и повторить п.с.
- f) Изменяя нагрузочный момент с интервалом в одно деление индикатора ($5 \cdot 10^{-3}$ Нм) в пределах $M_{\max+}$ К $M_{\max-}$, снять зависимость $\vartheta(M)$ и занести результаты в таблицу по форме 2.
- g) Установить переключатель закона коммутации в положение "3" и повторить п.п. с...f.
- h) Рассчитать величину углов ϑ в электрических градусах³ и занести в таблицу 5.3.

3.3 Определение пускового момента и предельной частоты квазистатического режима работы

² Значения, соответствующие направлению вращения по часовой стрелке, в таблицах обозначены индексами плюс, а против часовой – минус.

³ Электрический градус является угловой мерой с полупериодом, соответствующим полюсному делению электрической машины, поэтому его связь с пространственным углом имеет вид

$1^\circ = z_p \cdot \text{эл.}$

- a) Выключить формирователь пачек; включить питание генератора импульсов и установить частоту выходного сигнала 5 Гц и амплитуду 5-10 В.
- b) Установить переключатель закона коммутации в положение "1".
- c) Установить нулевой момент нагрузки и направление вращения по часовой стрелке.
- d) Убедиться, что ротор двигателя совершает равномерные движения.
- e) Постепенно увеличивая момент нагрузки в направлении противоположном направлению вращения, определить и занести в таблицу по форме 3 значение $M_{\text{н}}$, при котором ротор двигателя остановится или начнет вращаться в противоположную сторону от НМ, т.е. не произойдет пуска на очередном шаге.
- f) Изменить направление вращения ротора и повторить п.п. с...е.
- g) Повторить п.п.с...f для двух других законов коммутации (2 и 3).
- h) Рассчитать значение предельного момента нагрузки по выражению (5.2) и занести в таблицу 5.4.
- i) Включить питание осциллографа.
- j) Тумблером "НМ-ТГ" переключить выход НМ на вход осциллографа (положение "ТГ").
- k) Установить переключатель закона коммутации в положение "1".
- l) Регулировкой синхронизации осциллографа⁴ добиться устойчивого неподвижного изображения сигнала на экране, а затем регулировкой усиления и смещения настроить осциллограф так, чтобы изображение двух соседних амплитуд и периода колебаний сигнала занимало возможно большую часть экрана (см. рис.5.4).
- m) Измерить две соседние амплитуды изображения и период колебаний⁵ сигнала и занести результаты в таблицу 5.5.
- n) Рассчитать величину периода собственных колебаний T в секундах⁶ и предельную частоту квазистатического режима $f_{\text{кс}}$ (выражение 5.3) и занести в таблицу.
- o) Повторить п.п. 1...n для закона коммутации "3".

3.4 Определение предельной механической характеристики

- a) Установить направление вращения по часовой стрелке
- b) Выключить формирователь пачек.
- c) Установить переключатель закона коммутации в положение "1".
- d) Установить частоту импульсов генератора 5 Гц.
- e) Установить нулевой нагрузочный момент.

⁴ Если генератор установки имеет выход синхроимпульсов, то к нему нужно подключить канал синхронизации осциллографа и работать в режиме внешней синхронизации.

⁵ При измерении периода колебаний ручка плавной регулировки коэффициента развертки должна находиться в крайнем фиксированном положении.

⁶ Период колебаний равен произведению размера изображения периода N_t (3,3 деления на рис. 4) на коэффициент развертки K_t (мс/дел) $T = N_t \cdot K_t$.

- f) Плавнo увеличивая момент нагрузки против часовой стрелки и наблюдая за показаниями частотомера, определить нагрузку, при которой ШД выходит из синхронизма.
- g) Занести показания индикатора момента нагрузки в таблицу 5.6.
- h) Ввести ротор в синхронизм, снизив момент нагрузки до нуля, а при необходимости, прикладывая небольшой момент в направлении по часовой стрелке.
- i) Изменяя частоту генератора импульсов в соответствии с таблицей по форме 5 (от 100 до 1000 Гц с шагом в 100 Гц), повторить п.п. g...i.
- j) Повторить п.п. f...j для двух других законов коммутации (2 и 3).
- k) Рассчитать значения средней скорости вращения $\Omega = f \cdot \alpha / 12$ [об/мин] и занести в таблицу 5.6.

3.5 Определение частоты приемистости (пусковой характеристики)

- a) Установить направление вращения по часовой стрелке
- b) Включить формирователь пачек.
- c) Установить переключатель закона коммутации в положение "1".
- d) Установить нулевой нагрузочный момент.
- e) Установить частоту импульсов генератора 50 Гц.
- f) Заметить положение стрелки углового индикатора и нажать кнопку "запуска ШД пачками", после чего ротор, не выпадая из синхронизма, должен сделать восемь полных оборотов.
- g) Плавнo увеличивая частоту генератора и наблюдая за отработкой пачек импульсов, определить такое значение частоты, при котором ротор сделает меньше восьми полных оборотов, и занести его в таблицу 5.7.
- h) Изменяя нагрузочный момент с интервалом в одно деление индикатора ($5 \cdot 10^{-3}$ Нм) до значения пускового момента $M_{\text{п}}$, повторить п.п. e...g,
- i) Повторить п.п. d...h для двух других законов коммутации (2 и 3)

Содержание отчёта

1. Цель работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Расчётные формулы.
4. Заполненные таблицы 5.1-5.7.
5. Графики угловой, предельной механической и пусковой характеристик.
6. Выводы по сопоставлению экспериментальных и расчетных данных.

Приложение: **Формы таблиц результатов**

Таблица 5.2

Закон коммутации	Вращение	№ такта	Состояния ключей				ϑ [°]	α_3 [°]	α_p [°]
			1	2	3	4			
1	по часовой	0							
		1							
		2							
		$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$		
		i							
	против	0							
		1							
		2							
		$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$		
		i							
2	по часовой	0							
		$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$		
		i							
	против	0							
		$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$		
		i							
3	↑	0 $\mathbb{N}$ i	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$		
	↓	0 $\mathbb{N}$ i	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$	$\mathbb{N}$		

Таблица 5.3

M $\times 10^{-3}$ [НМ]			$M_{\max-}$	...	-10	-5	0	5	10	...	$M_{\max+}$
ϑ	1	[°]		...			0			...	
		[°эл]		...			0			...	
	3	[°]		...			0			...	
		[°эл]		...			0			...	

Таблица 5.4

Закон коммутации	M_{π} [Нм]		M_{π} [Нм]
	+	–	
1			
2			_____
3			

Таблица 5.5

Закон коммутации	U_{m1} [дел]	U_{m2} [дел]	K_t [мс/дел]	T		$f_{\text{КС}}$ [Гц]
				[дел]	[с]	
1						
3						

Таблица 5.6

f [Гц]	Закон коммутации					
	1		2		3	
	M [Нм]	Ω [об/мин]	M [Нм]	Ω [об/мин]	M [Нм]	Ω [об/мин]
5						
10						
20						
50						
100						
200						
л	л	л	л	л	л	л
1000						

Таблица 5.7.

M $\times 10^{-3}$ [Нм]		0	5	10	...	M_{π}
$f_{\text{пр}}$ [Гц]	1				...	
	2				...	
	3				...	

Лабораторная работа 6

Исследование исполнительного двигателя постоянного тока

Цель работы – исследование электромеханических и регулировочных характеристик исполнительного двигателя постоянного тока (ИД) с полым печатным ротором.

Указания к выполнению работы

Перед выполнением работы следует изучить разделы "Двигатели постоянного тока" в одном из учебников [1]-[5] и разделы «Исполнительные двигатели постоянного тока» в одном из пособий [7],[8] рекомендованной литературы, указанной в конце настоящего пособия.

1. Описание лабораторной установки

Схема установки, используемой в лаборатории для исследования характеристик ИД постоянного тока, приведена на рис.6.1.

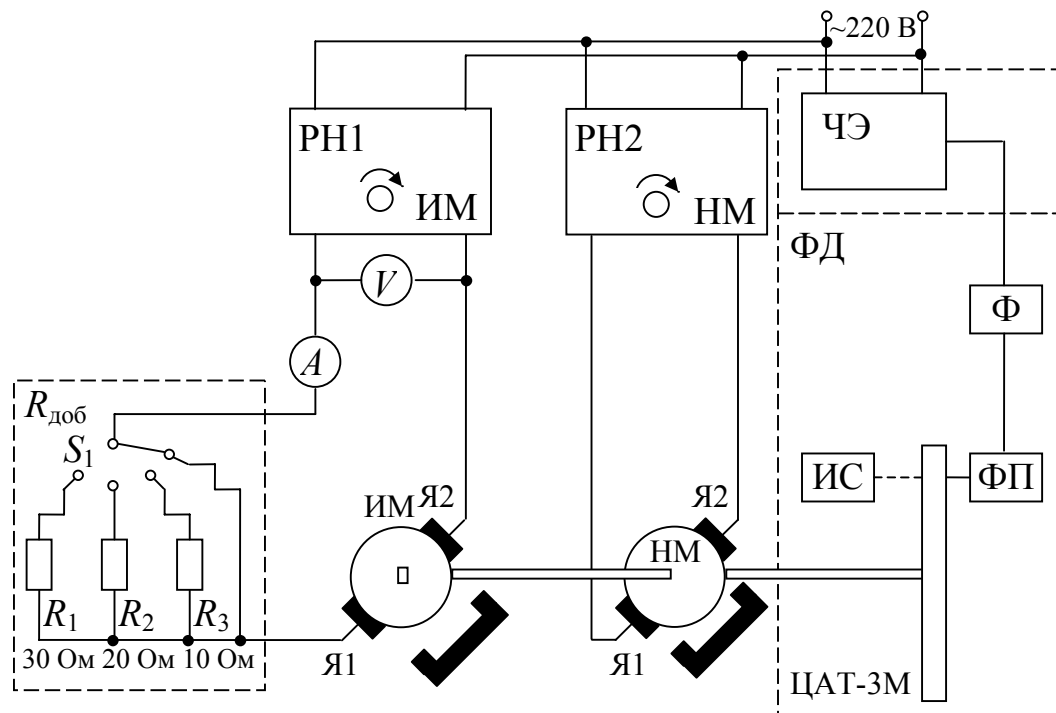


Рис.6.1

Установка содержит испытуемую машину ИМ, нагрузочную машину НМ, регуляторы напряжения РН1 и РН2, цифровой тахометр ЦАТ-3М и блок добавочных сопротивлений $R_{доб}$.

Испытуемой машиной является исполнительный двигатель постоянного тока с полым печатным ротором и возбуждением от постоянных магнитов ДПР-52-Н1-03. Технические характеристики двигателя сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1.

Тип двигателя	ДПР-52-Н1-03
Номинальное напряжение $U_{я н}$, В	27
Номинальная скорость n_n , об/мин	4500
Номинальный ток якоря $I_{я н}$, А	0.26
Пусковой момент M_n , Н·м	0.092
Номинальный момент M_n , Н·м	0.01
Сопротивление якоря $R_{я}$, Ом	21.5
Номинальная мощность $P_{2н}$, Вт	4.71

Нагрузочная машина НМ, предназначенная для создания момента сопротивления на валу испытуемого двигателя, по своим техническим данным идентична испытуемому двигателю. Валы обеих машин жестко связаны с помощью соединительной муфты и имеют, следовательно, одинаковую скорость вращения.

В качестве регуляторов РН1 и РН2 используются лабораторные источники постоянного напряжения Б5-8. Напряжения на выходах источников (или на якоре соответствующих машин постоянного тока) регулируются поворотом движков потенциометров «ИМ» и «НМ», установленных на их лицевых панелях. Регуляторы – неререверсивные и для изменения полярности напряжения на якоре машины необходимо поменять местами проводники, подключенные к выходным зажимам “+” и “–” соответствующего источника.

Контроль напряжения на якоре и тока якоря испытуемой машины осуществляется с помощью вольтметра V и амперметра A .

Набор резисторов R_1 - R_3 и переключатель S_1 служат для установки заданного резистора в цепь якоря испытуемой машины при снятии искусственных механических характеристик последней.

Цифровой автоматический тахометр ЦАТ-3М предназначен для измерения скорости вращения вала испытуемой машины. Тахометр имеет диапазон измерения скорости вращения 0-150 об/с с индикацией результата в десятичной системе на световом табло.

Конструктивно цифровой тахометр состоит из фотоэлектрического датчика ФД и электронного частотомера ЧЭ.

Работа фотоэлектрического датчика основана на преобразовании промодулированного светового потока в электрические импульсы, частота следования которых пропорциональна скорости вращения. Сфокусированный световой поток с осветителя (источника света) ИС направляется на поверхность непрозрачного диска с прорезью, который непосредственно укреплен на валу испытуемой машины. После прохождения через прорезь вращающегося диска промодулированный по интенсивности световой поток обуславливает появление в цепи фотодиода фотоприемника ФП электрического тока импульсной формы. Получаемые импульсы подаются на формирователь Φ , где усиливаются и формируются в прямоугольные.

Электрические импульсы с выхода формирователя подаются на вход электронного частотомера ЧЭ, который подсчитывает число их за фиксированный промежуток времени и регистрирует на световом табло скорость в оборотах в секунду.

2. Программа работы

2.1 Снятие электромеханических характеристик ИД с якорным управлением.

2.2 Снятие регулировочных характеристик ИД с якорным управлением.

3. Методика выполнения работы

3.1 Снятие электромеханических характеристик ИД с якорным управлением

- Ознакомится с лабораторной установкой.

- Установить одинаковые направления вращения испытуемой и нагрузочной машин. Для определения направления вращения ротора испытуемой машины следует, включив питание только регулятора РН1 и установив с помощью движка потенциометра «ИМ» некоторое напряжение $U_{я}$, зафиксировать направление вращения вала. Отключив далее питание регулятора РН1, включают питание регулятора РН2 и, установив некоторое значение выходного напряжения последним поворотом движка потенциометра «НМ», наблюдают направление вращения вала. Если направления вращения не совпадают, то следует изменить направление вращения вала нагрузочной машины, производя переключение выводов Я1 и Я2 на выходе регулятора РН2.

3.1.1 Снять естественные электромеханические характеристики испытуемой машины при номинальном напряжении на якоре $U_{я} = U_{ян}$ в генераторном режиме работы в следующем порядке:

- Включив питание обоих регуляторов, установить по вольтметру V напряжение на якоре испытуемой машины, равное номинальному, т.е. $U_{я} = U_{ян}$.

- Изменяя положение движка потенциометра «НМ», подобрать такое напряжение на якоре нагрузочной машины, при котором ток якоря испытуемой машины, измеренный амперметром A , равен нулю. Установившийся при этом режим работы испытуемой машины носит название режима идеального холостого хода и является граничным между генераторным и двигательным режимами при заданном напряжении на якоре испытуемой машины. Считав с электронного табло тахометра значение скорости вращения в оборотах в секунду, рассчитав его в оборотах в минуту, результаты занести в строку 4 таблицы 6.2, соответствующую режиму холостого хода.

- Изменяя напряжения на якоре нагрузочной машины и тем самым меняя величину активного момента нагрузки на валу испытуемой машины, установить значение скорости вращения ротора большей скорости холостого хода, соответствующей заданному напряжению на якоре. Результаты занести в строку 3 таблицы 6.2.

- Постепенно увеличивая скорость вращения вала ИМ, снять еще две точки электромеханической характеристики ИД в генераторном режиме с занесением результатов измерения в строки 1-2 таблицы 6.2.

Таблица 6.2

№ п/п	Режим работы	Результаты изме- рений			Результаты вычислений				
		$U_{я}$	$I_{я}$	n	M_p	$M_{э}$	P_1	P_2	η
		В	А	об/мин	Н·м		Вт		%
1									
2									
3									
4	Холостой ход								
5									
6									
7									
8	Номинальный режим								
9									
10									
11									
12	Режим короткого замыкания								

3.1.2 Снять естественную электромеханическую характеристику испытуемой машины при $U_{я}=U_{ян}$ в двигательном режиме работы в следующем порядке:

- Произведя переключение выводов Я1 и Я2 на выходе регулятора РН2, установить встречное направление вращения валов ИМ и НМ.
- Поддерживая напряжение на якоре ИМ равным номинальному ($U_{я}=U_{ян}$), установить такое напряжение НМ, и, следовательно, такую величину момента нагрузки на валу ИМ, при котором последний оказывается неподвижным. Установившийся при этом режим работы ИМ носит название режима короткого замыкания или пускового режима. Результаты измерения занести в строку 12 таблицы 6.2.
- Вновь установить согласное вращение валов ИМ и НМ.
- Постепенно увеличивая скорость вращения вала ИМ изменением напряжения на якоре нагрузочной машины (перемещением движка потенциометра «НМ») снять семь точек электромеханической характеристики ИМ в двигательном режиме с занесением результатов в строки 5-11 таблицы 6.2. Скорость вращения вала изменять в диапазоне от 0 до n_{xx} (n_{xx} – скорость холостого хода).

- Повторить опыты по пп.3.1.1 и 3.1.2 при двух других значениях напряжения на якоре $U_{я} < U_{ян}$. Данные измерений занести в таблицы 6.3 и 6.4, аналогичные по содержанию таблице 6.2.

3.1.3 Снять *искусственную электромеханическую характеристику* ИД при заданном преподавателем напряжении на якоре $U_{я}$ и заданном добавочном сопротивлении $R_{доб}$, включаемом последовательно в цепь якоря ИМ, в следующем порядке:

- Установить с помощью переключателя S_1 заданное значение сопротивления $R_{доб}$ и с помощью потенциометра «ИМ» – заданное значение напряжения на якоре.

- Пользуясь методикой, изложенной в п.3.1.2, снять искусственную электромеханическую характеристику ИМ в двигательном режиме ее работы. Результаты занести в соответствующие строки таблицы 6.5, аналогичной по содержанию таблице 6.2.

- При оформлении отчета вычислить экспериментально определенный и расчетный полезные моменты на валу испытуемой машины $M_э$ и $M_р$, полезную мощность на валу машины P_2 , электрическую мощность P_1 , потребляемую двигателем от источника, КПД двигателя в двигательном режиме η и КПД двигателя в генераторном режиме η^* по следующим формулам:

$$M_э = M_н \cdot I_{я} / I_{н}, \quad M_р = M_б \cdot (U_{я} / U_{ян} - n / n_б), \quad P_2 = M \cdot \pi \cdot n / 30, \\ P_1 = U_{я} \cdot I_{я}, \quad \eta = 100 \cdot P_2 / P_1, \quad \eta^* = 100 \cdot P_1 / P_2,$$

где $M_б = M_н \cdot U_{ян} / [I_{ян} \cdot (R_{я} + R_{доб})]$ и $n_б = n_н \cdot M_б / (M_б - M_н)$ – соответственно базовые значения момента и скорости. Результаты расчета занести в таблицы 6.2 - 6.5.

3.2 Снятие регулировочных характеристик ИД с якорным управлением.

- Включив питание обоих регуляторов, установить посредством регулятора напряжения РН1 скорость вращения ротора 5000 об/мин.

- С помощью регулятора напряжения РН2 скорректировать ток якоря $I_{я}$ до нулевого значения по амперметру A и фиксировать напряжение на якоре испытуемой машины по вольтметру V . Результаты измерений занести в соответствующую строку таблицы 6.6.

- Повторить измерения по предыдущим двум подпунктам для скорости вращения ротора 4000, 3000, 2000, 1000 и 0 об/мин. Результаты измерений заносить в таблицу 6.6.

- Повторить опыт по предыдущим трем подпунктам для двух других значений момента нагрузки $M > 0$ ($I_{я} > 0$), заданных преподавателем. Данные измерений занести в таблицу 6.6.

- При оформлении отчета вычислить напряжение на якоре $U_{яр}$ по формуле

$$U_{яр} = U_{ян} \cdot (n / n_б - I_{я} / I_{яб}),$$

где $I_{яб} = U_{ян} / (R_{я} + R_{доб})$ – базовое значение тока якоря.

Таблица 6.6

№ п/п	Результаты измерений				Результаты вычислений		
	n	$I_{я}=0\text{ A}$	$I_{я}= \text{ A}$	$I_{я}= \text{ A}$	$I_{я}=0\text{ A}$	$I_{я}= \text{ A}$	$I_{я}= \text{ A}$
		$U_{я}$			$U_{я\rho}$		
	об/мин	В					
1	5000						
2	4000						
3	3000						
4	2000						
5	1000						
6	0						

Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки.
2. Заполненные табл.6.1-6.6.
3. Графики рабочих характеристик $n(P_2)$, $M_2(P_2)$, $I_{я}(P_2)$ и $\eta(P_2)$, построенные по данным таблицы 6.2 на одном рисунке. Следует помнить, что рабочие характеристики строятся для значений мощности P_2 в диапазоне от 0 до $P_{2н}$.
4. Семейство расчетных и экспериментально снятых электромеханических характеристик ИД, построенных по данным таблиц 6.2- 6.5 на одном рисунке.
5. Семейство расчетных и экспериментально снятых регулировочных характеристик ИД, построенных по данным таблицы 6.6 на одном рисунке.
6. Расчетные формулы и результаты расчета.
8. Выводы по работе.

Лабораторная работа 7

Исследование тахогенератора постоянного тока

Цель работы – исследование статических характеристик тахогенератора постоянного тока, определение погрешностей нелинейности и асимметрии тахогенератора.

Указания по выполнению работы

Перед выполнением работы следует изучить раздел "Тахогенераторы постоянного тока" в одном из учебников [6]-[8] рекомендованной литературы, указанной в конце настоящего пособия.

1. Описание лабораторной установки

Схема установки, используемой в лаборатории для исследования характеристик тахогенератора постоянного тока, приведена на рис.7.1.

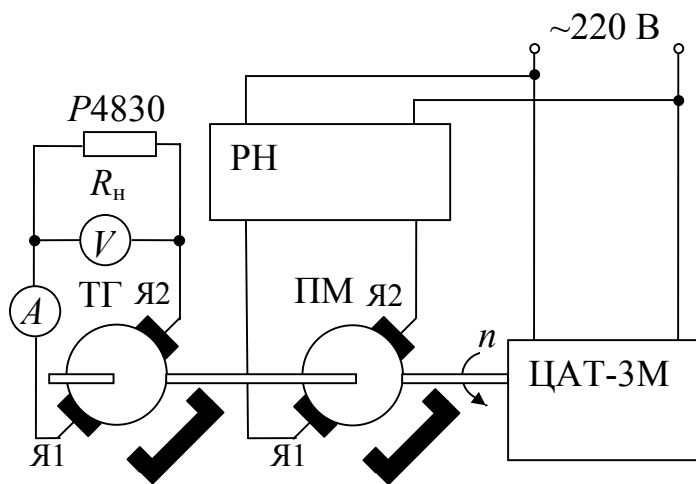


Рис.7.1

Установка содержит исследуемый тахогенератор ТГ, двигатель постоянного тока ПМ, регулятор напряжения РН, цифровой автоматический тахометр ЦАТ-3М и магазин сопротивлений.

В качестве ТГ используется двигатель постоянного тока с полым печатным ротором и возбуждением от постоянных магнитов ДПР-52-Н1-03. Технические ха-

рактеристики двигателя сведены в таблицу 6.1.

Двигатель постоянного тока ПМ, предназначенный для приведения во вращение ротора тахогенератора, по своим техническим данным идентичен испытуемому. Валы обеих машин жестко связаны с помощью соединительной муфты и имеют, следовательно, одинаковую скорость вращения.

Регулятор напряжения РН служит для регулирования скорости двигателя путем изменения напряжения на его якоре.

Вольтметр V и амперметр A предназначены для контроля напряжения на якоре и тока якоря ТГ.

Магазин сопротивлений типа Р4830 используется в качестве сопротивления нагрузки R_n тахогенератора.

Измерение скорости вращения вала испытуемой машины производится цифровым автоматическим тахометром ЦАТ-3М. Тахометр имеет диапазон измерения скорости вращения 0-150 об/с с индикацией результата в десятичной системе на световом табло.

2. Программа работы

2.1 Снятие выходной характеристики тахогенератора при холостом ходе и под нагрузкой.

2.2 Снятие зависимости выходного напряжения от сопротивления нагрузки $U_{\text{вых}}(R_{\text{н}})$ при номинальной скорости $n_{\text{н}}$.

3. Методика выполнения работы

3.1 Снятие выходной характеристики тахогенератора при холостом ходе и под нагрузкой.

- Ознакомиться с лабораторной установкой.
- Установить на магазине сопротивлений значение сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}=100$ кОм и включить тумблеры "Сеть" регулятора напряжения РН и цифрового тахометра.
- Последовательно устанавливая посредством регулятора РН скорость вращения ротора 0; 10; 20...100 об/с, фиксировать выходное напряжение тахогенератора по вольтметру V , занося результаты в таблицу 7.1.

Таблица 7.2

№ п/п	n об/с	Левое вращение				Правое вращение				$\Delta U^{\text{ао}}\%$
		$U_{\text{вых}}$	$K_{\text{тг}}$	$U_{\text{эт}}$	$\Delta U^{\text{н0}}\%$	$U_{\text{вых}}$	$K_{\text{тг}}$	$U_{\text{эт}}$	$\Delta U^{\text{н0}}\%$	
		В	$\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{об}}$	В	%	В	$\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{об}}$	В	%	
1	0									
2	10									
3	20									
...										
10	100									

- Изменив полярность напряжения на якоре приводного двигателя переключением проводников на выходных зажимах «+U» и «-U» регулятора РН, повторить цикл измерений, занося результаты в таблицу 7.2.
- Установить с помощью магазина сопротивлений значение $R_{\text{н}}=200$ Ом.
- Повторить цикл измерений, занося результаты в таблицу 7.3, аналогичной по содержанию таблице 7.2.
- При оформлении отчета рассчитать коэффициент передачи $K_{\text{тг}}$ и выходное напряжение тахогенератора эталонной линейной характеристики $U_{\text{эт}}^*$, соответствующие скорости вращения ротора n^* по следующим формулам

$$K_{\text{тг}}|_{n=n^*} = \frac{U_{\text{вых}}^*}{n^*}, \quad U_{\text{эт}}|_{n=n^*} = \frac{U_{\text{вых}}|_{n=100 \text{ об/с}}}{100} \cdot n^*.$$

Здесь $n^*=0; 10; 20 \dots 100$ об/с – скорость вращения ротора, $U_{\text{вых}}^*$ – выходное напряжение тахогенератора, соответствующее скорости вращения ротора n^* .

- Рассчитать погрешности нелинейности $\Delta U^{\text{н0}}\%$ и асимметрии $\Delta U^{\text{а0}}\%$ тахогенератора по формулам

$$\Delta U^{\text{H0}}\% = 100 \cdot (U_{\text{ВЫХ}}^* - U_{\text{ЭТ}}^*) / U_{\text{ВЫХ Н}},$$

$$\Delta U^{\text{a0}}\% = 100 \cdot (U_{\text{пр}}^* - U_{\text{лев}}^*) / [0.5 \cdot (U_{\text{пр}}^* + U_{\text{лев}}^*)],$$

где $U_{\text{ВЫХ Н}}$ – выходное напряжение тахогенератора при номинальной скорости вращения ротора, $U_{\text{пр}}^*$ и $U_{\text{лев}}^*$ – выходные напряжения тахогенератора соответственно при правом и левом вращении якоря с одной и той же скоростью n^* . Результаты расчета поместить в таблицы 7.2-7.3.

3.2 Снятие зависимости выходного напряжения от сопротивления нагрузки $U_{\text{ВЫХ}}(R_{\text{Н}})$ при номинальной скорости $n_{\text{Н}}$.

- Устанавливая последовательно значения сопротивления $R_{\text{Н}}$ в соответствии со столбцом 2 таблицы 7.4 и каждый раз с помощью регулятора РН корректируя скорость приводного двигателя на уровне $n=n_{\text{Н}}=75$ об/с, измерять значение выходного напряжения тахогенератора, занося результаты в столбец 4 таблицы 7.4.

Таблица 7.4

№ п/п	n , об/мин	$R_{\text{Н}}$, Ом	$U_{\text{ВЫХ}}$, В	$K_{\text{ТГ}}$, $\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{об}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	75	10000		
2	75	1000		
3	75	200		
4	75	100		
5	75	50		
6	75	25		
7	75	12		

- При выполнении отчета по результатам измерений необходимо рассчитать значение коэффициента передачи тахогенератора $K_{\text{ТГ}}$.

Содержание отчета

1. Схема лабораторной установки.
2. Таблица 7.1, идентичная таблице 6.1.
3. Графики характеристик $U_{\text{ВЫХ}}(n)$ и $U_{\text{ВЫХ}}(R_{\text{Н}})$, построенные по данным таблиц 7.2-7.4.
4. Заполненные табл. 7.2-7.4.
5. Расчетные соотношения и результаты расчета.
6. Выводы по работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.: Энергоатомиздат. 1983.
2. Общая электротехника /Под редакцией А.Т. Блажкина. Учебное пособие для вузов. Учебное пособие для вузов / Под ред А.Т. Блажкина/. Л.: Энергоатомиздат, 1986.

3. Электротехника/ Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е.: Учеб. пособие для вузов. –М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Электротехника /Под редакцией В.С. Пантюшина/ М.: Высшая школа, 1976.
5. Усольцев А.А. Электротехника: учебное пособие для вузов. Ч.2 СПб.:ИТМО, 2005 – www.de.ifmo.ru.
6. Брускин Д. Э., Зорохович А. Е., Хвостов В. С. Электрические машины и микромашины- М.: Высшая школа, 1990.
7. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. - М.: Высшая школа, 1988.
8. Арменский Е.В., Фалк Г.Б. Электрические микромашины. - М.: Высшая школа, 1975.
9. Осин И.Л., Шакарян Е.Г. Электрические машины: Синхронные машины: Учеб. пособие для вузов по спец. “Электромеханика”/ под ред. И.П. Копылова. -М.: Высшая школа, 1990.
10. Толмачев В.А. и др. Исследование характеристик исполнительного шагового двигателя. Методические указания к лабораторным работам по курсу “Электромеханотроника”. –Л.: ЛИТМО, 1990.
11. Усольцев А.А. и др. Исследование двухфазного исполнительного асинхронного двигателя и систем электропривода на его основе. Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. СПб.:СПбГИТМО (ТУ), 1997.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1. Исследование однофазного трансформатора	3
Лабораторная работа 2. Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	8
Лабораторная работа 3. Исследование двухфазного исполнительного асинхронного двигателя.....	13
Лабораторная работа 4. Исследование синхронных микродвигателей....	18
Лабораторная работа 5. Исследование исполнительного шагового двигателя.....	23
Лабораторная работа 6. Исследование исполнительного двигателя постоянного тока	34
Лабораторная работа 7. Исследование тахогенератора постоянного тока	40

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ИНСТИТУТЕ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Ю.А. Климов, В.С. Томасов

В 1930 году техникум точной механики и оптики был реорганизован в учебный комбинат, состоящий из института, техникума и ФЗУ в системе Всесоюзного объединения оптико-механической промышленности.

В те годы электротехническую подготовку в нашем институте проводили кафедры «Электротехники» и «Электроизмерительных приборов». Кафедрой «Электротехники» руководил проф. Салтыков Л.Н., а кафедрой «Электроизмерительных приборов» проф. Шишелов Л.П.

С сентября 1933 года исполнять обязанности заведующего кафедрой «Электротехники» нашего института начинает Рукавишников Н. Н, а с ноября 1937 года, на заведование кафедрой назначается Солодовников А. А., известный специалист в области электротехники, электроизмерительных приборов и оборудования.

Во время войны при эвакуации ЛИТМО в г. Черепаново кафедрой руководил доц., к.т.н. Березниковский С. Ф.; штатное расписание кафедры в те годы насчитывало всего 4 человека.

После возвращения ЛИТМО из эвакуации в 1944 году кафедрой заведует Березниковский С.Ф., которого 25 января 1945 года освобождают от обязанностей заведующего кафедрой «Общей и специальной электротехники» и назначают заведующим этой кафедрой профессора Зилитенкевича С.И.

В послевоенные годы в целом по стране и в Ленинграде ощущался дефицит опытных преподавателей высшей школы и руководство институтом пригласило в качестве заведующего кафедрой «Общей и специальной электротехники» известного ученого, педагога и методиста Пиотровского Л. М. Большинство учебников по электрическим машинам в ту пору было написано либо лично Пиотровским Л.М., либо в соавторстве с другими видными учеными.

В 1948 году на базе кафедры «Общей и специальной электротехники» образуются кафедры: «Общей электротехники и электрических машин» зав.каф. доц. Березниковский С.Ф., «Теоретических основ электротехники» зав. каф. проф. Слепян Л.Б. и «Электроизмерительных приборов» исполняющий обязанности зав. каф. проф. Слепян Л.Б.

В 1951 году кафедры «Электротехники» и «ТОЭ» объединяют в единую кафедру «Электротехники и ТОЭ» под руководством доц. Березниковского С.Ф. в составе Радиотехнического факультета,

В 1956 году на Радиотехническом факультете вновь образуются две кафедры – «ТОЭ» зав. каф. доц. Сочнев А.Я. и «Электрических машин» зав. каф. доц. Березниковский С.Ф.

В июле 1958 года доц. Сочнева А.Я. освобождают от обязанностей зав. каф. «ТОЭ», а доц. Фунтова Н.М. назначают в.и.о. зав. каф. и избирают по конкурсу на должность заведующего в 1960 году.

В 1961 году в ЛИТМО на должность заведующего кафедрой «Электрических машин» приглашают профессора Сахарова А.П.

В 1965 году на должность заведующего кафедрой «Электрических машин» избирается доц., к.т.н. Глазенко Т.А.

В 1968 году кафедры «ТОЭ» и «Электрических машин» объединяются в единую кафедру «Электротехники» под руководством Т.А. Глазенко.

Татьяна Анатольевна Глазенко в 1948 году с отличием закончила энергетический факультет Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта. В 1953 году она защитила кандидатскую диссертацию и в 1966 году докторскую диссертацию. Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, почетный член Электротехнической академии России проф. Глазенко Т.А. двадцать пять лет возглавляла кафедру. Она являлась видным, творчески активным ученым, автором более 200 опубликованных научных работ.

В 1990 году на должность заведующего кафедрой избирается проф., д.т.н. Герман - Галкин С.Г.

В 1996 году кафедра «Электротехники» была переименована в кафедру «Электротехники и прецизионных электромеханических систем».

С 1991 года кафедрой руководит доцент кандидат технических наук Томасов Валентин Сергеевич.

С 1992 по 2005годы на кафедре работал заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, действительный член Международной Энергетической академии, профессор, д.т.н. Сабинин Ю.А..

Сегодня в составе кафедры работают: проф., д.т.н. Овчинников И.Е., доц., к.т.н. Губанов Н.Н., доц., к.т.н. Кротенко В.В., доцент, к.т.н. Кардонов Г.А., доц., к.т.н. Осипов Ю.М., доц., к.т.н. Петров Е.А., доцент, к.т.н. Синецын В.А., доцент, к.т.н. Соловьев В.И доц., к.т.н. Толмачев В.А., доц., к.т.н. Усольцев А.А., доцент, к.т.н. Шалин В.М., ст. преп., к.т.н. Махин И.Е., доц. Гурьянов В.А., ст. преп Денисов К.М. , асс. Борисов П.В., асс. Никитина М.В., асс. Серебряков С. А., асс. Лукичев Д.А., асс. Жданов И.Н.

Георгий Александрович Кардонов, Мария Владимировна Никитина,
Валерий Александрович Толмачев, Александр Анатольевич Усольцев

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Часть 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

В авторской редакции
Компьютерная верстка и дизайн

В. А. Толмачев

Зав. редакционно-издательским отделом
Лицензия ИД № 00408 от 5.11.99

Н. Ф. Гусарова

Подписано к печати 25.05.05

Отпечатано на ризографе. Тираж 500 экз. Заказ № 849

Редакционно-издательский отдел
Санкт-Петербургского государственного
университета информационных техноло-
гий, механики и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский
пр., 49

