

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра теоретической и общей электротехники

Б.К. Жумашева

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Методические указания
к лабораторной работе

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург
ИПК ГОУ ОГУ
2010

УДК 621.313.333(07)

ББК 31.261.63я7

Ж 88

Рецензент – доцент, кандидат технических наук С.Н. Бравичев

Жумашева Б.К.

Ж 88 Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором: методические указания к лабораторной работе/ Б.К. Жумашева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 28 с.

Методические указания содержат сведения теоретического характера, описания лабораторной установки и схем, порядок выполнения работы и обработки результатов экспериментов, контрольные вопросы.

Методические указания по курсу «Электротехника и электроника» предназначены для студентов специальности 230201 Информационные системы и технологии, направления подготовки 240100 Химическая технология и биотехнология очной формы обучения.

УДК 621.313.333(07)
ББК 31.261.63я7

© Жумашева Б.К., 2010
© ГОУ ОГУ, 2010

Содержание

Введение	4
1 Лабораторная работа. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	6
1.1 Краткие характеристики и практические сведения.....	6
1.1.1 Устройство асинхронного двигателя.....	6
1.1.2 Принцип действия асинхронного двигателя.....	10
1.2 Описание лабораторной установки.....	11
1.3 Подготовка к работе.....	12
1.4 Рабочее задание.....	12
1.4.1 Опыт холостого хода асинхронного двигателя.....	12
1.4.2 Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя.....	14
1.4.3 Снятие рабочих характеристик асинхронного двигателя.....	16
1.5 Обработка результатов опытов.....	18
1.6 Контрольные вопросы	23
Список использованных источников.....	24
Приложение А Паспортные и расчетные данные асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.....	25
Приложение Б Зависимость $C_M = f(\omega)$ машины постоянного тока ПЛ-072У3.....	26
Приложение В Зависимость $I_{я0} = f(\omega)$ машины постоянного тока ПЛ-072У.....	27
Приложение Г Паспортные данные машины постоянного тока.....	28

Введение

Методические указания включают вопросы экспериментального исследования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в режимах холостого хода, короткого замыкания и снятия рабочих характеристик асинхронного двигателя по методу непосредственной нагрузки.

Лабораторная работа проводится на универсальном учебном стенде и выполняется бригадой студентов в количестве 2-3 человек. Рассчитана на два часа аудиторной работы.

После ознакомления с лабораторным стендом необходимо собрать электрическую схему эксперимента, представить ее для проверки преподавателю и провести экспериментальное исследование в соответствии с программой выполнения лабораторной работы. По окончании работы студенты обязаны представить преподавателю результаты экспериментов, после утверждения которых электрическая схема разбирается и рабочее место приводится в порядок.

При выполнении лабораторных работ студенты должны строго соблюдать правила техники безопасности:

- приступая к работе с электрическими устройствами, необходимо помнить об опасности поражения электрическим током и быть внимательным и осторожным;
- подводимое к стенду напряжение питания включается и выключается автоматами QF1 и QF2, расположенными на лицевой панели стенда;
- при включенных автоматах QF1 и QF2 запрещается касаться оголенных частей стенда и соединительных проводов. Все изменения в электрической схеме стенда необходимо производить при отключенном питании;
- при работе на стенде запрещается трогать выключатели, переключатели и ручки настройки элементов и измерительных приборов, не используемых в выполняемой лабораторной работе;
- при обнаружении неисправности следует отключить стенд от питающей сети и сообщить об этом преподавателю.

Оформление отчета по лабораторной работе выполняется, на стандартных листах писчей бумаги формата А4.

В отчете должны быть представлены:

- фамилия, имя, отчество студента, учебная группа;
- название и цель лабораторной работы;
- таблицы с результатами экспериментов и расчетов;
- графики холостого хода и короткого замыкания, рабочие характеристики;
- расчетные значения пускового тока и момента при номинальном напряжении, а также значения параметров схемы замещения, исследуемого двигателя;
- выводы по работе.

На графиках необходимо указывать масштаб, наименование величин, откладываемых по осям.

Экспериментальные исследования, могут быть успешно проведены в отведенное на занятиях время при условии предварительной домашней подготовки к ним в объеме двух часов. Для этого необходимо ознакомиться с содержанием работы, изучить основные теоретические положения, подготовить к началу занятий необходимые таблицы для записи результатов наблюдений, усвоить порядок выполнения рабочего задания.

1 Лабораторная работа. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы. Исследовать асинхронный двигатель в режиме холостого хода и в режиме короткого замыкания. Снять рабочие характеристики двигателя по методу непосредственной нагрузки.

1.1 Краткие теоретические и практические сведения

1.1.1 Устройство асинхронного двигателя

Асинхронный двигатель состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося ротора, разделенных рабочим воздушным зазором. Каждая из этих частей имеет сердечник и обмотку. При этом обмотка статора включается в сеть и является как бы первичной, а обмотка ротора — вторичной, так как энергия в нее поступает из обмотки статора за счет магнитной связи между этими обмотками.

По своей конструкции асинхронные двигатели разделяют на два вида: двигатели с короткозамкнутой обмоткой ротора и двигатели с фазной обмоткой ротора. Рассмотрим устройство трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (рисунок 1). Двигатели этого вида имеют наиболее широкое применение.

Статор состоит из корпуса 7 и сердечника 6 с трехфазной обмоткой. Корпус двигателя отливают из алюминиевого сплава или чугуна, либо делают сварным. Рассматриваемый двигатель имеет закрытое обдуваемое исполнение. Поэтому поверхность его корпуса имеет ряд продольных ребер, увеличивающих поверхность охлаждения двигателя.

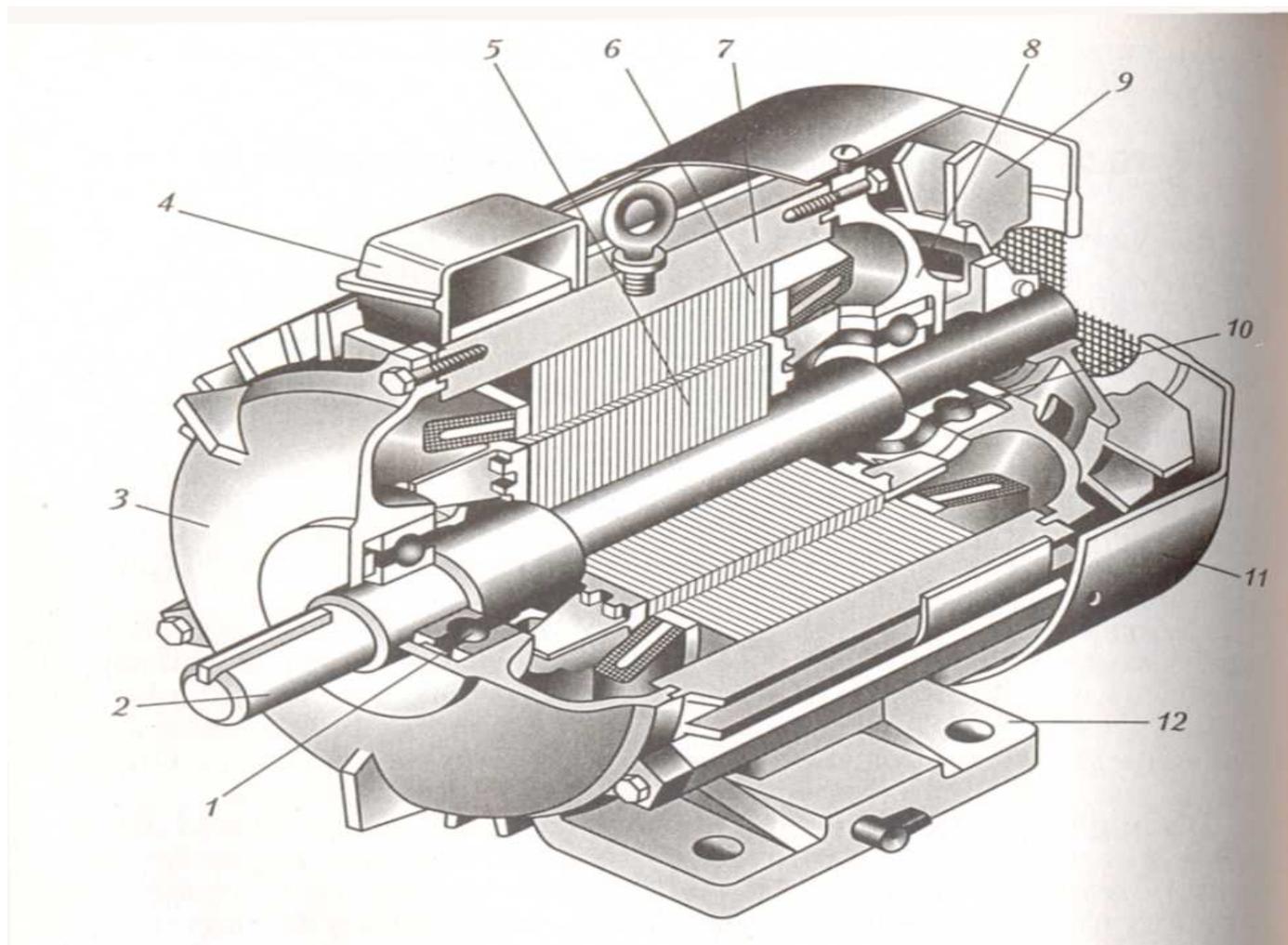
На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых располагаются секции обмотки статора, создающие вращающееся магнитное поле. С целью ослабления вихревых токов сердечник статора выполняют из отдельных листов электротехнической стали обычно толщиной 0,5 мм. Пластины сердечника статора изолируют друг от друга слоем изоляционного лака, либо оксидной пленкой. Собирают в пакет и скрепляют специальными скобами или

продольными сварными швами по наружной поверхности пакета. Такая конструкция сердечника статора способствует значительному уменьшению вихревых токов, возникающих в процессе перемагничивания сердечника вращающимся магнитным полем.

Внутри статора расположена вращающаяся часть двигателя — ротор, состоящий из вала 2 и сердечника 5 с обмоткой. Вал ротора вращается в подшипниках качения 1 и 10, расположенных в подшипниковых щитах 3 и 8 (рисунок 1). Такая обмотка, называемая «беличья клетка», представляет собой ряд металлических (алюминиевых или медных) стержней, расположенных в пазах сердечника ротора, замкнутых с двух сторон короткозамыкающими кольцами (рисунок 2а). Сердечник ротора имеет шихтованную конструкцию, но листы ротора не покрывают изоляционным лаком, если он используется для изоляции пластин статора. Имеющаяся на поверхности любого листа электротехнической стали пленка оксида является достаточной изоляцией, ограничивающей вихревые токи в сердечнике ротора, так как величина их невелика из-за малой частоты перемагничивания сердечника ротора. Например, при частоте сети 50 Гц и номинальном скольжении 6 % частота перемагничивания сердечника ротора составляет 3 Гц.

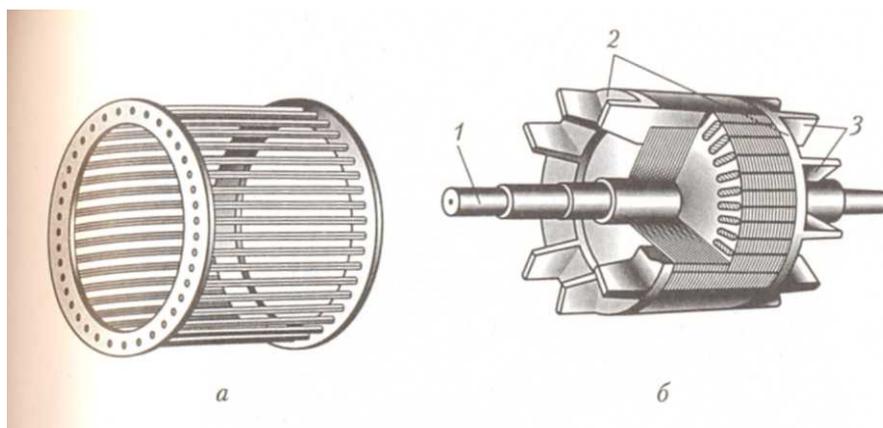
Короткозамкнутая обмотка ротора в большинстве двигателей выполняется заливкой собранного сердечника ротора расплавленным алюминиевым сплавом. При этом одновременно со стержнями обмотки отливаются короткозамыкающие кольца и вентиляционные лопасти (рисунок 2, б).

Охлаждение двигателя осуществляется методом обдува наружной поверхности корпуса. Поток воздуха создается центробежным вентилятором 9, прикрытым кожухом 11. На торцовой поверхности этого кожуха имеются отверстия для забора воздуха. Двигатели мощностью 15 кВт и более, помимо закрытого делают еще и защищенного исполнения с внутренней самовентиляцией. В подшипниковых щитах этих двигателей имеются отверстия (жалюзи), через которые воздух посредством вентилятора прогоняется через внутреннюю полость двигателя.



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

Рисунок 1 – Устройство трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором



а — обмотка «беличья клетка»; б — ротор с обмоткой, выполненной методом литья под давлением; 1 — вал; 2 — короткозамыкающие кольца; 3 — вентиляционные лопатки

Рисунок 2 – Короткозамкнутый ротор

В этом случае охлаждение более эффективно, чем при наружном обдуве корпуса двигателя.

Концы обмоток фаз выводят на зажимы коробки выводов 4. Обычно асинхронные двигатели предназначены для включения в трехфазную сеть на два разных напряжения, отличающиеся в $\sqrt{3}$ раз. Например, двигатель рассчитан для включения в сеть на напряжения 380/660 В. Если в сети линейное напряжение 660 В, то обмотку статора следует соединить звездой, а если 380 В - то треугольником. В обоих случаях напряжение на обмотке каждой фазы будет 380 В.

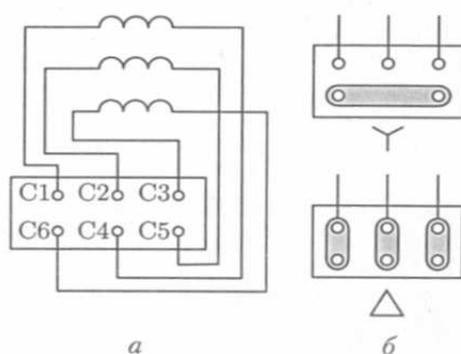


Рисунок 3 – Расположение выводов обмотки статора (а) и положение перемычек при соединении обмотки статора звездой и треугольником (б)

1.1.2 Принцип действия асинхронного двигателя

При включении трехфазной обмотки статора в сеть переменного тока в рабочем воздушном зазоре создается вращающееся магнитное поле. Частота вращения этого поля определяется зависимостью

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \quad (1)$$

где n_1 – частота вращения поля статора [об/мин];

f_1 – частота тока питающей сети, [Гц];

p – число пар полюсов обмотки статора.

Вращающееся поле статора пересекают проводники обмотки ротора и наводит в них ЭДС. Обмотка ротора представляет замкнутую на себя электрическую цепь, и поэтому в ней возникает ток. Последний создает магнитное поле обмотки ротора, которое взаимодействует с вращающимся полем статора, увлекая ротор в направлении вращения поля статора. При этом, частота вращения ротора (n) не равна частоте вращения поля и никогда не сможет уравниваться с ней. Равенство частот вращения ротора и поля статора означало бы их взаимную (относительно друг друга) неподвижность, а значит невозможность возникновения ЭДС в обмотке ротора (ибо обмотка ротора не пересекалась бы полем статора). Поэтому, асинхронной называется такая машина переменного тока, ротор которой вращается несинхронно по отношению к вращающемуся магнитному полю статора.

Разность скоростей n_1 и n называется скольжением асинхронной машины и является одним из наиболее характерных ее параметров. Принято выражать скольжение в относительных единицах (или в %)

$$s = \frac{n_1 - n}{n}; \quad \left(s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100\% \right) \quad (2)$$

Зная скольжение, можно найти частоту вращения ротора:

$$n = n_1(1 - s), \text{ или, если } s \text{ в } \%, \quad n = n_1 \left(1 - \frac{s}{100} \right) \quad (3)$$

В зависимости от соотношения частот вращения поля и ротора различают три режима работы асинхронной машины:

а) Режим двигателя. Ротор вращается в том же направлении, что и поле статора со скоростью $n < n_1$; это соответствует скольжению $0 < s < 1$.

б) Режим генератора. Ротор вращается в том же направлении, что и поле статора, но с большей скоростью $n > n_1$, что соответствует скольжению $0 > s > -\infty$.

в) Режим электромагнитного тормоза. Ротор вращается против направления вращения поля, что дает $1 < s < +\infty$.

Наиболее распространенным для асинхронной машины является режим двигателя. Генераторный и тормозной режимы рассматриваются как специальные. По своим характеристикам асинхронный двигатель является наиболее дешевым, надежным и широко используемым в промышленности.

1.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Исследования асинхронного двигателя входит в состав силового модуля, включающего в себя собственно исследуемый двигатель М1, нагрузочный генератор – машину постоянного тока – М2 и импульсный датчик скорости М3.

Асинхронный двигатель включается непосредственно на сеть трехфазного переменного тока через модуль добавочных сопротивлений № 1.

Для измерения тока, напряжения и мощности используется модуль измерительный.

Измерение тока якоря, напряжения на якоре и скорости производится с помощью модуля измерительного.

Модуль автотрансформатора используется для питания обмотки возбуждения при снятия рабочих характеристик асинхронного двигателя, при этом нагрузкой генератора постоянного тока служат сопротивления модуля добавочных сопротивлений №2

1.3 Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по следующим вопросам:

- устройство асинхронного двигателя;
- принцип действия асинхронного двигателя ;
- скольжение и частота вращения ротора;
- вращающий момент асинхронного двигателя;
- КПД и коэффициент мощности асинхронного двигателя .

Подготовить бланк отчета лабораторной работы, в котором привести схему опытов с указанием используемых приборов, таблицы для записей результатов опытов и расчетов.

Ответить на контрольные вопросы.

1.4 Рабочее задание

1.4.1 Опыт 1. Опыт холостого хода асинхронного двигателя

Для опыта холостого хода асинхронный двигатель включают непосредственно на сеть трехфазного переменного тока (рисунок 6).

Подача напряжения от модуля питания на зажимы асинхронного двигателя силового модуля осуществляется через сопротивления RP1, RP2, RP3 модуля добавочных сопротивлений № 1. Клеммы А, В, С, модуля питания соединяются с клеммами XS1, XS2, XS3 модуля добавочных сопротивлений №1.

Клемма XS5 модуля добавочных сопротивлений соединяются с клеммами В1 асинхронного двигателя, а клемма XS6 соединяются с обмоткой напряжения второго ваттметра (*), а токовая обмотка этого ваттметра соединяются с клеммой С1 асинхронного двигателя. Клемма XS4 с клеммой Х6, Х7 модуля измерительного. Клемма Х8 этого модуля соединяется с обмоткой напряжения первого ваттметра (*), а токовая обмотка этого же ваттметра соединяется с клеммой А1 асинхронного двигателя.

Для измерения фазных значений тока, напряжения клемма N модуля питания соединяется с клеммой Х5 модуля измерительного.

Исследование двигателя в режиме холостого хода проводится для одного значения напряжения, равного номинальному, и позволяет оценить величину тока холостого хода, а также потери в стали при номинальном напряжении.

Желательно проводить опыт при разъединенной полумуфте, т.е. нагрузочный генератор должен быть отсоединен, в противном случае необходимо знать механические потери нагрузочного генератора.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- переключатель модуля добавочных сопротивлений №1 устанавливают в положение «∞». Цепь якоря нагрузочного генератора на момент этого опыта должна быть разомкнута.

- последовательно включить автоматы QF1 и QF2, переключатель SA1 установить в положение «0» - напряжение принимает значение, равное номинальному, запускается асинхронный двигатель.

Данные опыта занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты измерений и вычислений опыта

Данные опыта				Расчетные данные опыта				
$U_{1фн}$	I_{10}	P_{10}	n	ω	$\cos\varphi_{10}$	$p_{см}$	I_{10}^*	$P_{эл.1}$
В	А	Вт	об/с	рад/с		Вт	Вт	от.ед.

Отключить автоматы QF2, QF1.

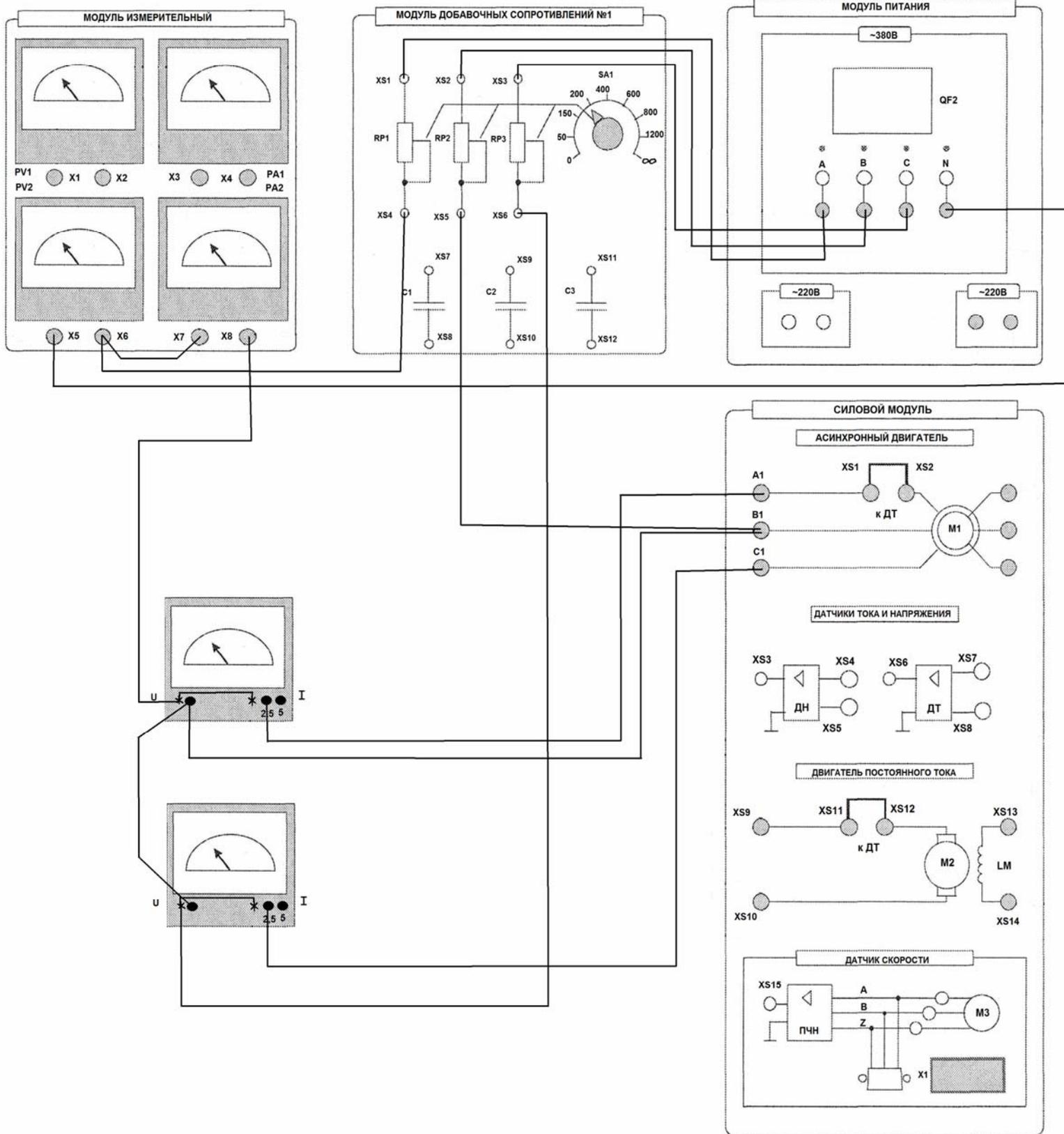


Рисунок 6 - Схема снятия характеристик холостого хода и короткого замыкания

1.4.2 Опыт 2. Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя

При опыте короткого замыкания, который проводится при пониженном напряжении, асинхронный двигатель питается через сопротивления модуля

добавочных сопротивлений №1. Опыт проводится по той же схеме, что и опыт холостого хода (рисунок 6).

Опыт короткого замыкания проводится при неподвижном (заторможенном роторе) $s=1$ и пониженном напряжении, при котором ток статора примерно равен номинальному току статора $I_{1k} \approx I_{1н}$.

Понижение напряжения достигается включением добавочного сопротивления в цепь статора, для чего переключатель SA1 модуля добавочных сопротивлений №1 устанавливается на отметке «400» или «200». Торможение двигателя осуществляется путем установки металлического стержня в отверстие на защитном кожухе, которое должно быть совмещено с отверстием в полумуфте, для этого полумуфту слегка поворачивать для совпадения отверстий.

Установить металлический стержень в защитный кожух агрегата. Включить автоматы QF1 и QF2 и переключить переключатель SA1 модуля добавочных сопротивлений №1 в положение «400» или «200», при этом ток статора устанавливается примерно равным номинальному току статора. Данные занеси в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений опыта

Данные опыта		Расчетные данные							
$U_{1фк}$	$I_{1фк}$	$P_{1к}$	$p_{эл.1}$	$p_{ст}$	$P_{эм.к.}$	$M_{эм.к.}$	z_k	r_k	x_k
В	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Н·м	Ом	Ом	Ом

После проведения опыта отключить автоматы QF2, QF1 и удалить стержень, которым двигатель был заторможен.

1.4.3 Опыт 3. Снятие рабочих характеристик асинхронного двигателя

Снятие рабочих характеристик асинхронного двигателя осуществляется методом непосредственной нагрузки по схеме 7.

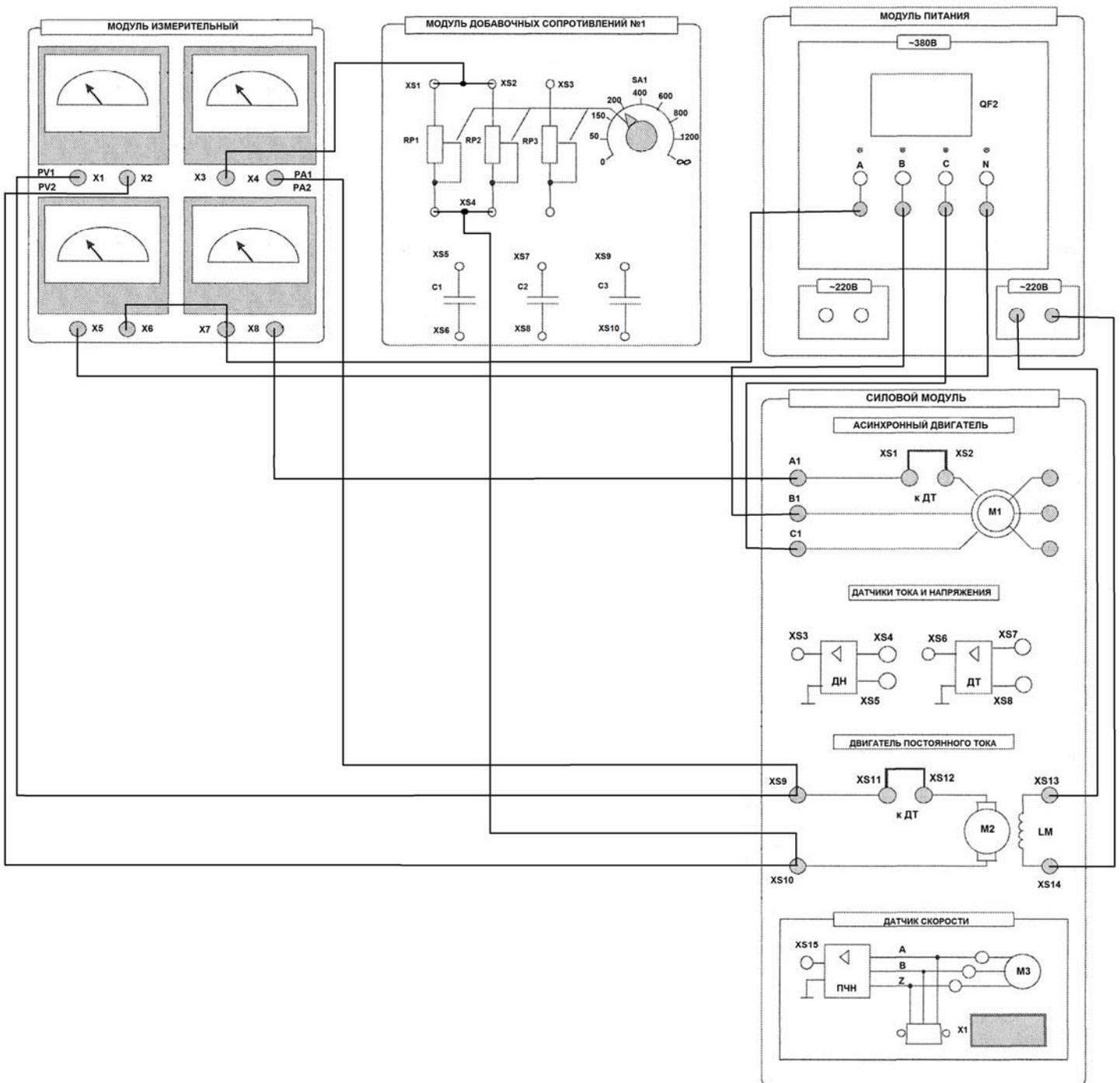


Рисунок 7 - Схема для снятия рабочих характеристик асинхронного двигателя

Напряжение в обмотку возбуждения нагрузочного генератора подается от модуля питания. Клеммы =220В модуля питания соединяются с клеммами обмотки возбуждения LM – XS13 и XS14.

Нагрузкой ГПТ служат два сопротивления модуля добавочных сопротивлений №1, которые соединены последовательно. Клемма XS9 двигателя постоянного тока силового модуля соединяется с клеммами XS1 и XS2 модуля добавочных сопротивлений №1, а клемма XS10 – с клеммами XS4 и XS5 через приборы PV1 и PA1 модуля измерительного.

Напряжение якорной цепи подается на датчик напряжения, для этого клеммы XS9 и XS10 силового модуля соединены с клеммами XS4 и XS5 этого же модуля. С датчика напряжение якоря (клемма XS3) подается на осциллограф (в состав комплекса не входит).

Значение тока якоря $I_{я}$ и напряжения якоря $U_{я}$ можно наблюдать на приборах модуля измерительного.

Текущее значение скорости на валу n можно наблюдать на индикаторе силового модуля.

Опыт проводится в следующей последовательности:

Включить автоматы QF1 и QF2, произойдет запуск асинхронного двигателя. Далее, переключить SA1 модуля добавочных сопротивлений №1 перевести из положения «∞» в положение «1200».

Произвести замеры согласно таблице 3 и 4, как со стороны асинхронного двигателя, так и со стороны ГПТ. После этого увеличивать нагрузку ГПТ - уменьшать переключателем SA1 сопротивление, пока ток якоря ГПТ не достигнет номинального значения $I_{нагр} = I_{я} \approx I_{ян}$ ($I_{ян} = 1,3A$). Выше этого значения двигатель не нагружать! (SA1 в «0» не выводить!).

Таблица 3 – Результаты измерений со стороны асинхронного двигателя

Данные опыта			Расчетные данные										
$U_{1\phi}$	$I_{1\phi}$	n или ω	$\cos \varphi_1$	P_1	$P_{эл1}$	$P_{ст}$	$P_{эм}$	s	$P_{эл2}$	$\sum P$	P_2	$M_{эм}$	η
B	A	об/мин; I/c		Bт	Bт	Bт	Bт	д.е ..	Bт	Bт	Bт	H·м	%

Таблица 4 – Результаты измерений со стороны генератора постоянного тока

Данные опыта		Расчетные данные						
$I_я$	$U_я$	C_m	$M_{эм}$	$I_{я0}$	M_0	M_2	P_2	η
A	B	B·c	H·м	A	H·м	H·м	Bт	%

После проведения опыта отключить автоматы QF2, QF1.

1.5 Обработка результатов опытов

По результатам измерений опыта холостого хода определить параметры асинхронного двигателя, используя следующие зависимости:

Расчетные данные:

ω – угловая частота вращения

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (4)$$

Коэффициент мощности $\cos \varphi_{10}$

$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{m_1 \cdot U_{1\phi n} \cdot I_{1\phi}} \quad (5)$$

где P_{10} – активная мощность трех фаз, Вт,

m_1 – число фаз.

Потери в стали сердечника статора при номинальном напряжении, Вт

$$P_{cm1} = P_{10} - m_1 \cdot I_{10}^2 \cdot r_1 - P_{мех.ад.} - P_{мех.мтм} \quad (6)$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора при температуре окружающей среды, Ом (Приложение А);

$P_{мех.ад.}$ – механические потери асинхронного двигателя, Вт (Приложение А);

$P_{\text{мех.мтт}}$ – механические потери машины постоянного тока, Вт (Приложение Г).

Потери в стали сердечника статора при любом другом напряжении могут быть пересчитаны через квадрат напряжения:

$$P_{\text{см.}} = P_{\text{см1}} \cdot \left(\frac{U_1}{U_{1н}} \right)^2, \quad (7)$$

где $U_{1н}$ – номинальное напряжение питания обмотки статора, В (Приложение А).

Значение тока холостого хода в относительных единицах:

$$I_{10}^* = \frac{I_{10}}{I_{1н}}, \quad (8)$$

где $I_{1н}$ – номинальный ток фазы статора, А (Приложение А).

Электрические потери в обмотке статора асинхронного двигателя:

$$P_{\text{эл.1}} = m_1 \cdot I_{1\phi}^2 \cdot r_1 \quad (9)$$

Опыт холостого хода позволяет также определить параметры Т-образной схемы замещения z_m x_m r_m :

$$r_m \approx \frac{P_{\text{см1}}}{m_1 \cdot I_{10}^2}; \quad z_m \approx \frac{U_{1\phiн}}{I_{10}}; \quad x_m \approx \sqrt{z_m^2 - r_m^2} \quad (10)$$

«Т» - образная схема представлена на рисунке 8.

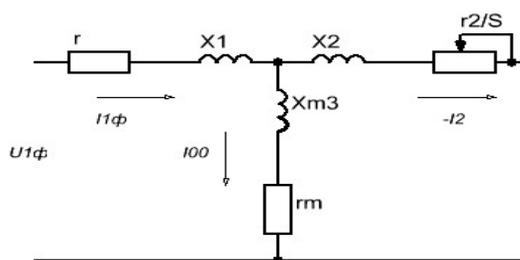


Рисунок 8 - «Т» - образная схема

По данным опыта короткого замыкания определить пусковой ток, пусковой момент при $s=1$ и параметры схемы замещения.

По результатам измерений определяют:

– трехфазная активная мощность при опыте короткого замыкания

$$P_{1k} = m_1 \cdot P_{1\phi k}; \quad (11)$$

– электрические потери в обмотке статора асинхронного двигателя:

$$p_{эл} = m_1 \cdot I_{1k}^2 \cdot r_1 ; \quad (12)$$

– потери в стали при напряжении U_{1k} :

$$p_{cm} = p_{cm1} \cdot \left(\frac{U_{1k}}{U_{1н}} \right)^2 , \quad (13)$$

где p_{cm1} – потери в стали при номинальном напряжении из опыта холостого хода;

– электромагнитная мощность при опыте короткого замыкания, Вт

$$P_{эм.к} = P_{1k} - p_{эл} - p_{cm} ; \quad (14)$$

– электромагнитный момент при опыте короткого замыкания, $H \cdot м$

$$M_{эм.к} = \frac{P_{эм.к}}{\omega_1} \text{ или } M_{эм.к} = \frac{P_{эм.к}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60}} ; \quad (15)$$

– электромагнитный момент при номинальном напряжении, $H \cdot м$

$$M_{эм.н} = M_{эм.к} \left(\frac{U_{1н}}{U_{1k}} \right)^2 , \quad (16)$$

где $U_{1н}$ – номинальное напряжение питания обмотки статора, В (Приложение А);

– кратность пускового момента:

$$M_n^* = \frac{M_{эм.н}}{M_n} ; \quad M_n = \frac{P_{2н}}{\omega_n} , \quad (17)$$

где $P_{2н}$ и ω_n – номинальная мощность на валу и угловая номинальная частота вращения (Приложение А);

– кратность пускового тока:

$$I_n^* = \frac{I_{1k}}{I_{1н}} \cdot \frac{U_{1н}}{U_{1k}} . \quad (18)$$

Параметры двигателя:

полное сопротивление $z_k = \frac{U_{1\phi k}}{I_{1k}} ; \quad (19)$

активное сопротивление $r_k = \frac{P_{1k}}{m_1 \cdot I_{1k}^2} ; \quad (20)$

$$\text{индуктивное сопротивление } x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}; \quad x_1 \approx x_2 = \frac{x_k}{2}. \quad (21)$$

Расчетные данные со стороны асинхронного двигателя определяются следующим образом:

– полная активная мощность, подводимая к асинхронному двигателю из сети:

$$P_1 = m_1 \cdot P_{1\phi}; \quad (22)$$

– электрические потери в обмотке статора асинхронного двигателя:

$$p_{эл1} = m_1 \cdot I_{1\phi}^2 \cdot r_1, \quad (23)$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора, приводится в паспортных данных двигателя (Приложение А);

– потери в стали при напряжении $U_{1\phi}$, Вт

$$p_{см} = p_{см1} \left(\frac{U_{1\phi}}{U_{1н}} \right)^2; \quad (24)$$

– электромагнитная мощность, Вт,

$$P_{эм} = P_1 - p_{эл1} - p_{см}; \quad (25)$$

– скольжение:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega} \quad \text{или} \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1}; \quad (26)$$

– электрические потери в обмотке ротора, Вт

$$p_{эл2} = P_{эм} \cdot s; \quad (27)$$

– суммарные потери в двигателе, Вт

$$\sum p = p_{эл1} + p_{см} + p_{эл2} + p_{мех.ад}; \quad (28)$$

– электромагнитный момент асинхронного двигателя, $H \cdot м$

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega_1} \text{ или } M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60}}, \quad (29)$$

где ω_1 – синхронная угловая частота вращения;

n_1 – синхронная частота вращения;

– полезный момент на валу двигателя

$$M_2 = M_{эм} - M_0; \quad (30)$$

– полезная мощность на валу двигателя, Вт

$$P_2 = P_1 - \sum p; \quad (31)$$

– коэффициент полезного действия, %

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% \quad (32)$$

– коэффициент мощности (расчетный):

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{m_1 \cdot U_{1\phi} \cdot I_{1\phi}}. \quad (33)$$

Расчетные данные со стороны машины постоянного тока:

– электромагнитный момент ГПТ, $H \cdot м$

$$M_{эм.гпт} = C_m \cdot I_{я}, \quad (34)$$

где C_m – принимается из тарировочной кривой, $C_m = f(\varpi)$ (Приложение

Б);

– момент холостого хода ГПТ

$$M_0 = C_m \cdot I_{я0}, \quad (35)$$

где $I_{я0}$ – ток холостого хода принимается из тарировочной кривой машины постоянного тока (Приложение В) и пропорционален механическим потерям и потерям в стали ГПТ;

– полный момент на валу ГПТ:

$$M_{2эм} = M_{эм.эм} + M_0; \quad (36)$$

– полезная мощность на валу ГПТ, Вт

$$P_2 = M_{2эм} \cdot \omega \text{ или } P_2 = M_{2эм} \cdot 0,10447 \cdot n. \quad (37)$$

Рабочие характеристики представляют собой графически изображенные зависимости тока статора, потребляемой из сети активной мощности, частоты вращения, скольжения, электромагнитного момента, КПД и коэффициента мощности от полезной мощности на валу двигателя:

$$I_1, P_1, n, s, M_{эм}, \eta, \cos \varphi_1 = f(P_2) \text{ при } f_1 = const \text{ и } U_1 = const.$$

1.6 Контрольные вопросы

1.6.1 Чему был бы равен ток в обмотке ротора, если бы ротор вращался с частотой вращения магнитного поля?

1.6.2 Как изменится скольжение если увеличить момент механической нагрузки на валу двигателя?

1.6.3 Как будет измениться ток в обмотке ротора по мере раскручивания ротора?

Список использованных источников

1. Беспалов, В.Я. Электрические машины: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /В.Я.Беспалов, Н.Ф.Котеленец. - 2-е изд., испр. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 320 с. ISBN 978-5-7695-5395-0

2 Немцов, М.В. Электротехника и электроника: учебник /М.В.Немцов, М.Л.Немцова.- 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2009. - 428 с.: ил.

3. Кацман, М.М. Электрические машины: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования /М.М.Кацман. - 6-е изд., испр. и дип. -М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 496 с. ISBN 5-7695-2589-4

Приложение А

(справочное)

Паспортные и расчетные данные асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Таблица А.1

Наименование параметра	Значение
Тип	АИР63В4У3
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение питания обмотки статора, В, Δ Y	380
Номинальная частота вращения, об/мин	1370
Номинальный ток фазы статора, А	1,18
$\cos \varphi$	0,7
Номинальный момент, $H \cdot m$	1,4
Активное сопротивление статора $r_{1,27^{\circ}C}$, Ом	19
Механические потери, $P_{мех.ад}$, Вт	11

Приложение Б

(справочное)

Зависимость $C_m = f(\omega)$ машины постоянного тока ПЛ-072У3

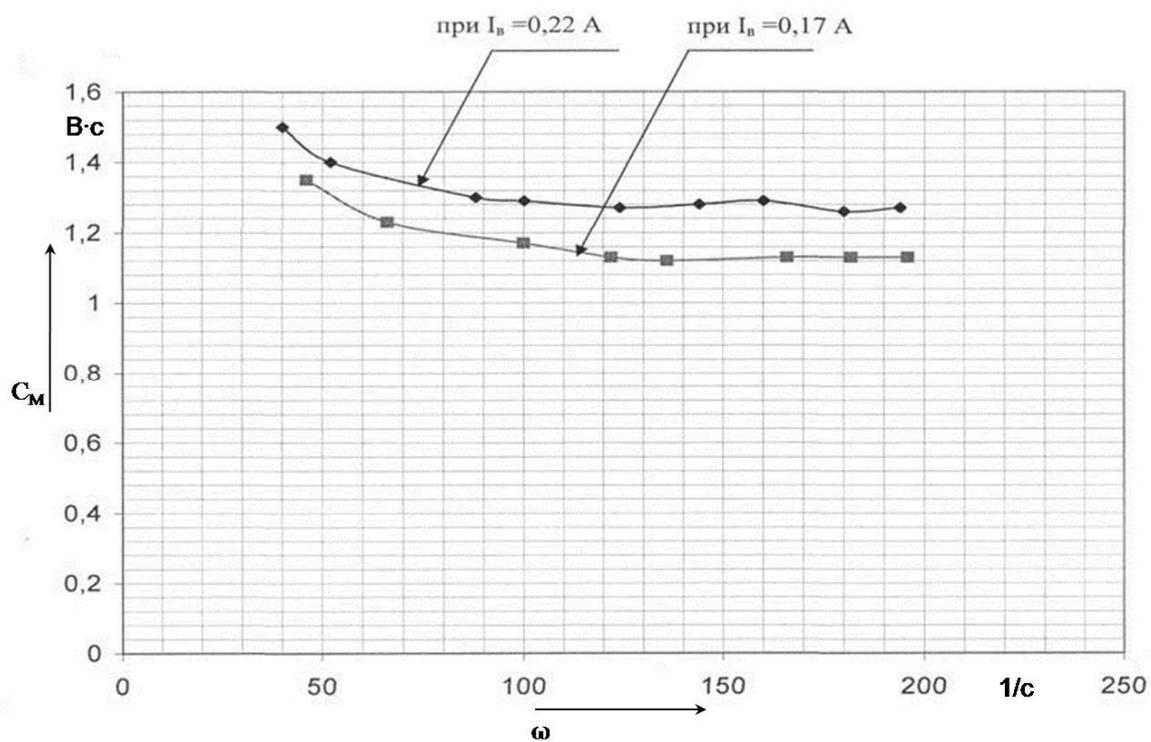


Рисунок Б.1

Приложение В

(справочное)

Зависимость $I_{я0} = f(\omega)$ машины постоянного тока ПЛ-072У3

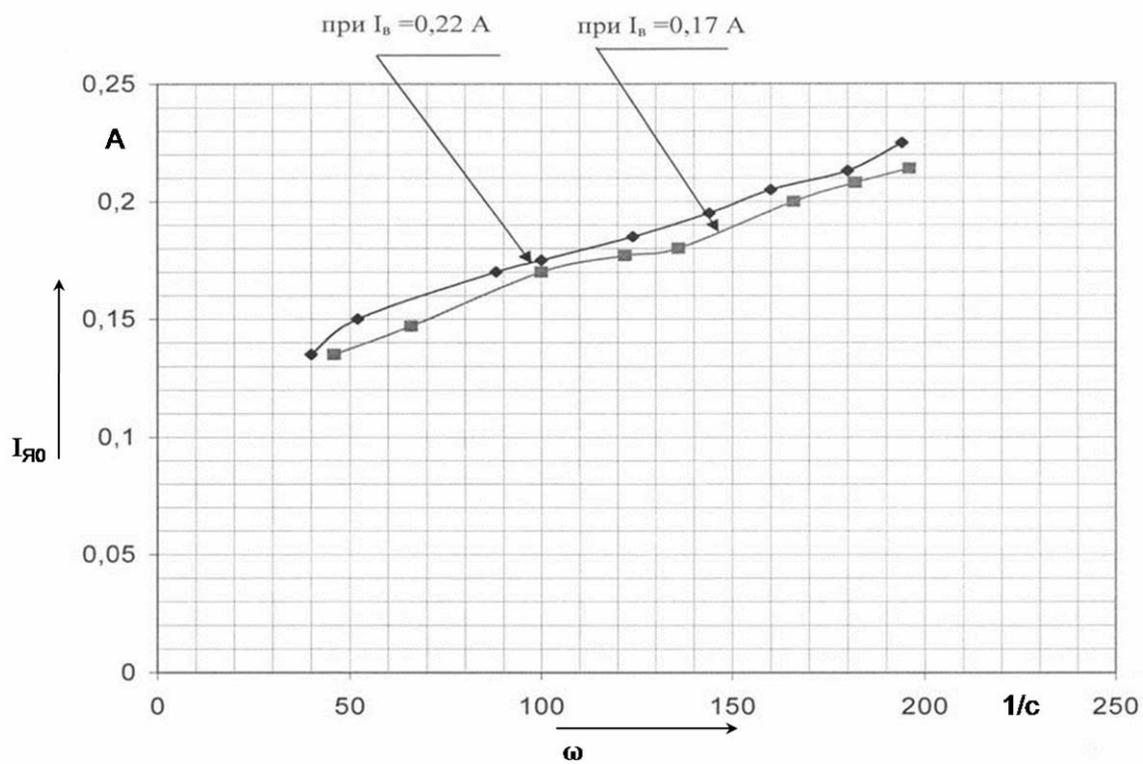


Рисунок В.1

Приложение Г

(справочное)

Паспортные данные машины постоянного тока

Таблица Г. 1

Наименование параметра	Значение
Тип	ПЛ-072
Мощность, Вт	1800
Номинальное напряжение питания обмотки якоря, В,	220
Номинальное напряжение питания обмотки возбуждения, В	220
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Номинальный ток якоря, А	1,3
КПД	0,63
Масса,	7,65
Сопротивление обмотки якоря $R_{я20^0c}$ (расчетное значение), Ом	17,5
Сопротивление обмотки возбуждения $R_{ов20^0c}$ (расчетное значение), Ом	820
Механические потери, $p_{мех.мтт}$, Вт	15