

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Судовое электрооборудование»

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
«Судовые электрические машины»
для студентов специальности
26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»
очной и заочной форм обучения

Севастополь
СевГУ
2024

УДК [621.313.2:629.5.064.5](076.5)

ББК 31.261.5:39.46-5*я73

С89

Рецензент:

Л.Н. Канов – канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры «Судовое электрооборудование»

Составители: В. Е. Высоцкий, А. А. Нагирняк

С89 Судовые электрические машины переменного тока: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Судовые электрические машины» для студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» очной и заочной форм обучения / Севастопольский государственный университет, Морской институт, кафедра «Судовое электрооборудование»; сост.: В. Е. Высоцкий, А. А. Нагирняк. – Севастополь : СевГУ, 2024. – 47 с.: ил., табл. – Текст : электронный.

Предназначены для студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» высших учебных заведений, изучающих дисциплины, предметом которых является судовое электрооборудование.

Цель: оказать помощь студентам при подготовке и проведении лабораторных работ по курсу «Судовые электрические машины», ознакомить их с методами контроля правильности эксплуатации судовых электрических машин переменного тока и проведением опытных исследований. В методических указаниях, содержащихся в практикуме, приведено описание лабораторных установок и используемого оборудования, даны порядок проведения экспериментальных исследований и контрольные вопросы по рассматриваемым темам.

Также могут быть использованы для обучения студентов специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок» по курсу «Общая электротехника и электроника» и слушателей учебных центров подготовки и аттестации плавсостава из числа инженерно-технических работников. При подготовке были использованы материалы методических указаний «Электрические машины и электропривод. Часть 1 – Электрические машины»: Методические указания к проведению лабораторных работ. Челябинск, 2020.

УДК [621.313.2:629.5.064.5](076.5)

ББК 31.261.5:39.46-5*я73

Рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры «Судовое электрооборудование» Морского института ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», протокол № 9 от 03 апреля 2024 г.

© Высоцкий В. Е., Нагирняк А. А., сост., 2024

© ФГАОУ ВО Севастопольский
государственный университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА	4
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО АСИНХРОННЫМ МАШИНАМ.....	7
Работа 1. Исследование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.....	7
Работа 2. Исследование асинхронного двигателя с фазным ротором.....	12
Работа 3. Исследование асинхронного генератора.....	19
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СИНХРОННЫМ МАШИНАМ.....	23
Работа 1. Исследование синхронного генератора.....	23
Работа 2. Исследование синхронного двигателя	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Паспортные данные электрических машин.....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Описание работы программного обеспечения « <i>DeltaProfi</i> »	39
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Тиристорный преобразователь.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Структура отчета по лабораторной работе.....	45

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Состав стенда

Лабораторный стенд предназначен для обучения студентов ряда специальностей Морского института СевГУ, изучающих дисциплины: «Судовые электрические машины», «Теория электропривода», «Судовые электроприводы», «Общая электротехника и электроника». Стенд может быть использован для повышения квалификации слушателей Центра подготовки и аттестации плавсостава. Внешний вид стенда показан на рис. Л.1.



Рисунок Л.1- Внешний вид лабораторного стенда

В состав стенда входят:

- электромашинный агрегат – 1 шт.;
- модуль питания стенда – 1 шт.;
- модуль питания – 1 шт.;
- модуль измерителя мощности – 1 шт.;
- модуль добавочных сопротивлений №1 – 1 шт.;
- модуль добавочных сопротивлений №2 – 1 шт.;
- модуль измерительный – 1 шт.;
- модуль силовой – 1 шт.;
- модуль преобразователя частоты – 1 шт.;
- модуль тиристорного преобразователя – 1 шт.;
- модуль реверсивного возбудителя – 1 шт.;
- модуль регуляторов – 1 шт.;
- модуль автотрансформатора – 1 шт.;
- модуль трехфазного трансформатора – 1 шт.;
- программно-аппаратный измерительный комплекс – 1 шт.;

- лабораторный стол 1 – 1 шт.;
- лабораторный стол 2 – 1 шт.;
- компьютерный стол – 1 шт.;
- тумбочка-подставка под агрегат – 1 шт.;
- комплект силовых кабелей и соединительных проводов – 1 шт.;
- методические указания к выполнению лабораторных работ – 1 шт.;
- техническое описание стенда – 1 шт.

Общий порядок выполнения лабораторных работ и техника безопасности

Лабораторный стенд является источником повышенной опасности, так как содержит цепи, на которые во время работы подается напряжение 220 и 380 В, а также вращающиеся части агрегата. К работе со стендом не допускаются лица, не ознакомившиеся с техникой безопасности при проведении лабораторных занятий. Функциональные возможности стенда и его долговечность требуют соблюдения мер по эксплуатации, направленных на безопасность проведения исследований и обеспечивающих долговечность работы самого стенда:

1. Запрещается подключать цепи элементов электромашинного агрегата к сторонним источникам питания, так как это может привести к выходу из строя электрических машин.

2. Запрещается перегружать элементы стенда повышенными токами и напряжениями.

3. Запрещается превышать измерительный диапазон измерительных приборов и датчиков.

4. При срабатывании защиты или возникновении сигнала о защите в одном или нескольких модулях необходимо незамедлительно прекратить выполнение лабораторной работы и обесточить лабораторный стенд. Перед следующим включением необходимо ликвидировать причину, вызвавшую срабатывание защиты.

5. Сборку и разборку схемы, переключение проводов, а также некоторые оперативные переключения, не оговоренные в методических указаниях, необходимо выполнять исключительно при выключенном питании.

6. При возникновении вопросов по комплектации и правильности функционирования стенда обратиться к производителю.

Оформление отчетов по лабораторным работам

В отчете должна быть сформулирована цель проведенной работы и представлены следующие материалы:

- 1) функциональные схемы экспериментов;
- 2) домашнее задание (если есть);
- 3) обработанные экспериментальные характеристики;
- 4) обработанные осциллограммы;
- 5) выводы (анализ экспериментальных данных, вида кривых, причин погрешностей и т. д.).

Осциллограммы могут быть взяты из специализированного программного обеспечения, поставляемого со стендом, а также могут быть получены с помощью осциллографа.

Опытные точки могут иметь разброс. Экспериментальные кривые проводят плавно, максимально приближая к экспериментальным точкам, осуществляя так называемое локальное сглаживание. На графиках приводят название, обозначают, к какому опыту они относятся, и указывают постоянные величины, определяющие условия опыта. На осях координат необходимо указать, какая величина по ним отложена, в каких единицах она измеряется, и нанести деления.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО АСИНХРОННЫМ МАШИНАМ

Работа 1. Исследование асинхронного электродвигателя с к.з. ротором

Цель работы

Исследование характеристик асинхронного электродвигателя, построение энергетических диаграмм электродвигателя.

Предварительное домашнее задание

Изучить содержание данной работы и раздел курса «Судовые асинхронные машины», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

Методические указания к проведению работы

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение, переключатель $SA3$ – в положение «Руч», $SA4$ – в положение «НМ», $SA6$ «Разрешение» – в нижнее положение (Приложение В).

– переключатель $SA1$ модуля добавочных сопротивлений №1 установить в положение «0».

В работе исследуются свойства асинхронного двигателя, каталожные данные которого приведены в Приложении А. Для проведения работы на персональном компьютере должно быть запущено программное обеспечение *Delta Profi* (Приложение Б) и выбрана соответствующая лабораторная работа. Схема для исследования представлена на рис. 1.1.

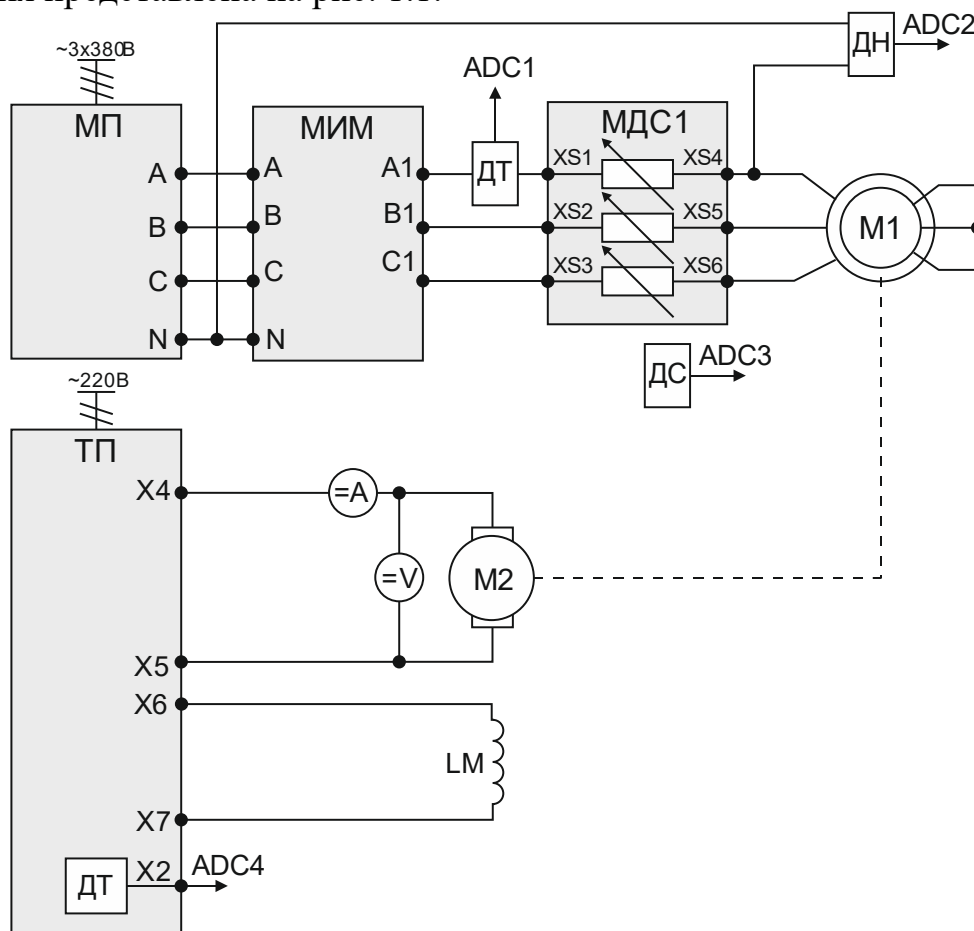


Рисунок 1.1 - Схема для исследования асинхронного электродвигателя с к.з. ротором

Асинхронный двигатель, исследуемый в данной работе, подключается к выходам 3х380 В модуля питания через измеритель мощности и регулируемые сопротивления модуля добавочных сопротивлений №1. Выводы обмотки ротора замыкаются накоротко.

Датчики тока и напряжения силового модуля подключаются в статорную цепь асинхронного двигателя. Выходы ДТ, ДН и ДС модуля силового подключаются к входам ADC1, ADC2 и ADC3 модуля ввода/вывода. Выход датчика тока модуля ТП подключается к входу ADC4 модуля ввода/вывода.

В качестве нагрузочной машины выступает двигатель постоянного тока (ДПТ), подключенный к тиристорному преобразователю (ТП). Перед началом работы ТП должен быть переведен в режим регулирования момента (Приложение Б). Для удобства проведения измерений в якорную цепь ДПТ включаются амперметр и вольтметр постоянного тока модуля измерительного.

1.1 Механическая и электромеханическая характеристики двигателя

Механическая характеристика представляет собой зависимость частоты вращения двигателя от полезного момента на валу двигателя $\omega = f(M_B)$ при постоянном значении частоты и амплитуды питающего напряжения. Электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость частоты вращения от тока статора $\omega = f(I_C)$. Дополнительно снимаются зависимости КПД и коэффициента мощности от момента на валу.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель *QF1* модуля питания стенда и контактор *KM1* модуля питания, при этом подается напряжение на асинхронный двигатель;
- подать питание на тиристорный преобразователь включением кнопки «Сеть»;
- подать разрешение на работу ТП (тумблер *SA6*) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель *SA5*);
- задавая момент нагрузки с помощью потенциометра *RP1* тиристорного преобразователя, следить за частотой вращения. Если она увеличивается, поменять направление момента нагрузки;

Таблица 1.1

<i>Данные опыта</i>					
<i>n</i> , об/мин					
<i>U_C</i> , В					
<i>I_C</i> , А					
<i>P_C</i> , Вт					
<i>Расчетные данные</i>					
ω , 1/с					
<i>S</i> , В·А					
cos(φ)					
$\Delta P_{эл}$, Вт					
$\Delta P_{мех}$, Вт					
<i>P_B</i> , Вт					
<i>M_B</i> , Н·м					
η					

– снять несколько точек двигательного режима, поменять направление момента (переключатель $SA5$ ТП) и снять несколько точек генераторного режима. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения. Данные опыта занести в табл. 1.1.

В табл. 1.1:

n – частота вращения, об/мин;

U_C – напряжение статора электродвигателя, В;

I_C – ток статора электродвигателя, А;

P_C – активная мощность, потребляемая двигателем из сети, Вт.

После проведения опыта установить потенциометр ТП в крайнее положение против часовой стрелки, выключить сигнал разрешения на работу ТП, остановить асинхронный двигатель нажатием кнопки «Откл» модуля питания.

1.2 Механическая и электрохимическая характеристика при введении сопротивлений в цепь статора

Характеристики снимаются при введении добавочного симметричного трехфазного резистора в цепь статора асинхронного двигателя.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– поворотом рукоятки переключателя $SA1$ модуля МДС1 установить добавочное сопротивление в цепи статора на уровне 50...200 Ом;

– включить контактор КМ1 модуля питания, при этом подается напряжение на асинхронный двигатель;

– подать питание на тиристорный преобразователь включением кнопки «Сеть»;

– подать разрешение на работу ТП (тумблер $SA6$) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель $SA5$);

– задавая момент нагрузки с помощью потенциометра $RP1$ тиристорного преобразователя, следить за частотой вращения. Если она увеличивается, поменять направление момента нагрузки;

Таблица 1.2

Данные опыта					
n , об/мин					
U_C , В					
I_C , А					
P_C , Вт					
Расчетные данные					
ω , 1/с					
S , В·А					
$\cos(\varphi)$					
$\Delta P_{ЭЛ}$, Вт					
$\Delta P_{ДОБ}$, Вт					
$\Delta P_{МЕХ}$, Вт					
P_B , Вт					
M_B , Н·м					
η					

– снять несколько точек двигательного режима, поменять направление момента (переключатель SA5 ТП) и снять несколько точек генераторного режима. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения. Данные опыта занести в табл. 1.2.

После проведения опыта установить потенциометр ТП в крайнее положение против часовой стрелки, выключить сигнал разрешения на работу ТП, остановить асинхронный двигатель нажатием кнопки «Откл» модуля питания. Выключить автоматический выключатель модуля питания стенда.

Расчетные данные

Частота вращения магнитного поля, двигателя (1/с) и скольжение

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n, \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}, \text{ где } \omega_1 = \frac{2\pi}{60} n_1, \text{ причем } n_1 = 1500 \text{ об/мин.}$$

Полная мощность, потребляемая из сети, ВА

$$S = 3U_C I_C.$$

Коэффициент мощности электродвигателя

$$\cos \varphi = \frac{P_C}{S}.$$

Электрические потери в цепи статора, Вт

$$\Delta P_{эл1} = 3I_C^2 r_C,$$

где r_C – сопротивление фазы обмотки статора (Приложение А), Ом.

Электрические потери в добавочном сопротивлении цепи статора

(определяются только при введении сопротивлений в цепь статора), Вт

$$\Delta P_{доб} = 3I_C^2 r_{доб},$$

где $r_{доб}$ – добавочное сопротивление, введенное в цепь статора, Ом.

Полезная мощность на валу двигателя, Вт

$$P_B = P_C - \Delta P_{эл1} - \Delta P_{доб} - \Delta P_{ст} - \Delta P_{эл2} - \Delta P_{мехад},$$

где $\Delta P_{мехад}$ – механические потери асинхронного двигателя (Прилож. А), Вт;

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{10} - 3I_{C0}^2 r_C - \Delta P_{мехад} - \Delta P_{мехмпт},$$

причем ΔP_{10} , I_{C0} определяются из табл. 1.1 для ненагруженного двигателя (х. х);

$\Delta P_{мехад}$, $\Delta P_{мехмпт}$ – механические потери в АД и МПТ (Приложение А), Вт.

$$\Delta P_{эл2} = P_{эм} s,$$

где $P_{эм} = P_C - \Delta P_{эл1} - \Delta P_{ст}$.

Момент на валу двигателя, Н·м

$$M_B = \frac{P_B}{\omega}.$$

Коэффициент полезного действия в двигательном режиме электродвигателя

$$\eta = \frac{P_B}{P_C}.$$

Коэффициент полезного действия в генераторном режиме

$$\eta = \frac{P_C}{P_B}, \text{ причем } P_B = P_C + \Delta P_{\text{эл}} + \Delta P_{\text{доб}} + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{эл2}} + \Delta P_{\text{мехад}}.$$

По данным опытов построить механическую $n = f(M_B)$, электромеханическую характеристику $n = f(I_C)$, а также зависимости, $\eta, \cos \varphi = f(M_B), \eta(I_C), \cos \varphi(I_C)$.

1.3 Энергетические диаграммы

Энергетические диаграммы представляют собой графическое отображение распределения потерь и показывают направление потоков мощностей в электроприводе. Диаграмма отображается в масштабе для конкретного режима работы и для конкретной точки. Направление потоков мощностей показывается стрелками с указанием величин потерь. Примерный вид диаграммы для двигательного режима представлен на рис. 1.2.

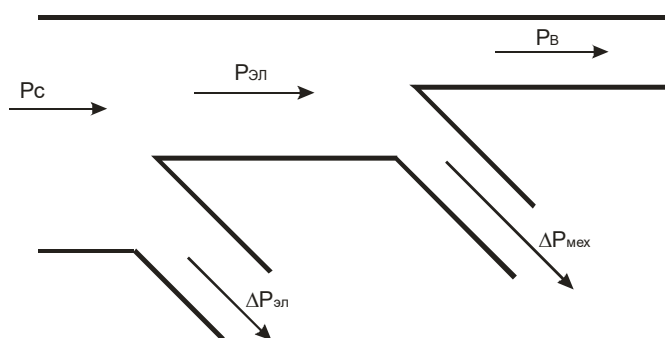


Рисунок 1.2 - Пример построения энергетической диаграммы АД

В лабораторной работе необходимо построить диаграммы для двигательного, режима, а также для режима холостого хода при наличии и отсутствии добавочного сопротивления в цепи статора.

Контрольные вопросы

1. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
2. Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?
3. Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения?
4. Как изменяется ток статора двигателя при повышении напряжения и неизменной нагрузке на валу двигателя?
5. Объяснить физический смысл зависимости $\cos \varphi = f(M_B)$.
6. На механической характеристике двигателя указать точку перехода в генераторный режим, точку реального и идеального холостого хода.

Работа 2. Исследование асинхронного двигателя с фазным ротором

Цель работы

Исследование рабочих свойств асинхронного двигателя путем снятия соответствующих опытных характеристик.

Предварительное домашнее задание

Изучить содержание данной работы и раздел курса электрических машин «Асинхронные машины», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

Методические указания к проведению работы

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

- переключатель $SA1$ МДС1 установить в положение « ∞ »;
- установить переключатель $SA2$ модуля тиристорного преобразователя (Приложение В) в положение «Момент», $SA3$ – в положение «Руч», $SA4$ – в положение «НМ», $SA5$ – в положение «Стоп», $SA6$ «Разрешение» в нижнее положение, потенциометр $RP1$ в крайнее положение против часовой стрелки.

Исследуемый асинхронный двигатель входит в состав электромашинного агрегата стенда, его каталожные данные приведены в Приложении А. Для проведения данной работы на персональном компьютере должно быть запущено программное обеспечение *Delta Profi* (Приложение Б) и выбрана соответствующая лабораторная работа. Схема для исследования асинхронного электродвигателя представлена на рисунке 2.1.

2.1 Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя

Опыт короткого замыкания проводится при неподвижном (заторможенном) роторе $s = 1$ и пониженном напряжении, при котором ток статора примерно равен номинальному току статора $I_{1к} \approx I_{1н}$. Схема для проведения опыта короткого замыкания представлена на рис. 2.1.

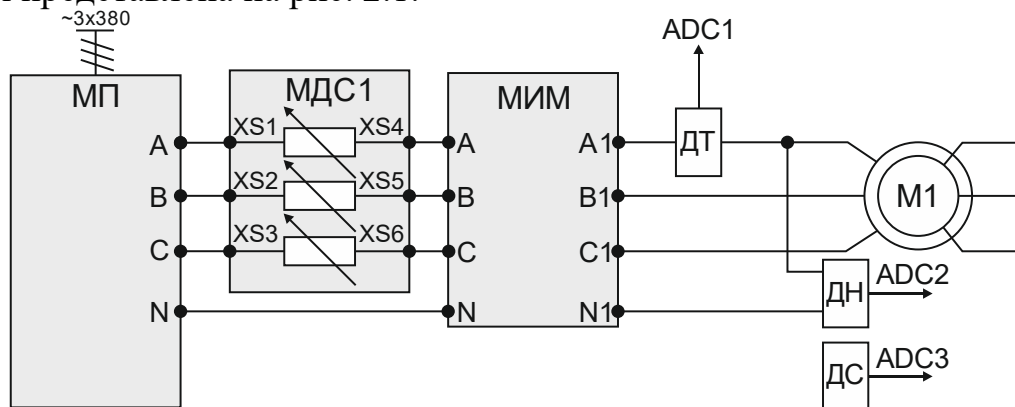


Рисунок 2.1 - Схема для проведения опыта короткого замыкания

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

Принудительное торможение двигателя осуществляется путем установки металлического стержня в отверстие полумуфты.

Статорные обмотки асинхронного двигателя подключаются через регулируемые сопротивления модуля МДС1 к клеммам трехфазного напряжения модуля питания. Роторные обмотки двигателя замыкаются накоротко.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить последовательно автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «Вкл.» контактора модуля питания;
- переключателем $SA1$ МДС1 вводить сопротивление в цепь статора до тех пор, пока ток статора примерно не станет равен номинальному. Зафиксировать показания в табл. 2.1.

После проведения опыта отключить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «Откл.» контактора модуля питания, установить модули в исходное состояние. **Удалить металлический стержень из электромашинного агрегата.** По данным опыта короткого замыкания определить пусковой ток и пусковой момент при $s = 1$.

Таблица 2.1

Данные опыта				Расчетные данные						
$U_{1\text{ФК}}$	$I_{1\text{ФК}}$	$P_{1\text{К}}$	$\cos\varphi_{1\text{К}}$	$\Delta P_{\text{ЭЛ.1}}$	$\Delta P_{\text{СТ}}$	$P_{\text{ЭМ.К}}$	$M_{\text{ЭМ.К}}$	$z_{\text{К}}$	$r_{\text{К}}$	$x_{\text{К}}$
В	А	Вт		Вт	Вт	Вт	Н·м	Ом	Ом	Ом

В табл. 2.1 приняты следующие обозначения:

$U_{1\text{ФК}}$ – фазное напряжение питания статора при опыте короткого замыкания, В;

$I_{1\text{ФК}}$ – фазный ток статора при опыте короткого замыкания, А;

$P_{1\text{К}}$ – активная мощность трех фаз при опыте короткого замыкания, Вт;

$\cos\varphi_{1\text{К}}$ – коэффициент мощности при опыте короткого замыкания.

По данным опыта короткого замыкания определить пусковой ток, пусковой момент при $s=1$. Для этого произвести следующие расчеты.

Электрические потери в цепи статора, Вт

$$\Delta P_{\text{ЭЛ.1}} = 3I_{1\text{ФК}}^2 r_1,$$

где r_1 – сопротивление фазы статора (Приложение А), Ом.

Потери в стали при напряжении $U_{1\text{К}}$, Вт

$$\Delta P_{\text{СТ}} \approx \Delta P_{\text{СТ1}} \left(\frac{U_{1\text{К}}}{U_{1\text{Н}}} \right)^2$$

где $\Delta P_{\text{СТ1}}$ – потери в стали при номинальном напряжении, Вт.

Электромагнитная мощность при опыте короткого замыкания, Вт

$$P_{\text{ЭМ.К}} = P_{1\text{К}} - \Delta P_{\text{ЭЛ.1}} - \Delta P_{\text{СТ}}.$$

Электромагнитный (пусковой) момент при опыте короткого замыкания, Нм

$$M_{\text{ЭМ.К}} = \frac{P_{\text{ЭМ.К.}}}{\omega_1}$$

где ω_1 – синхронная частота вращения электродвигателя, рад/с.

Электромагнитный момент при номинальном напряжении, Нм

$$M_{\text{ЭМ.Н.}} = M_{\text{ЭМ.К.}} \left(\frac{U_{1\text{Н}}}{U_{1\text{К}}} \right)^2$$

Кратность пускового момента

$$M_{\Pi}^* = \frac{M_{\text{ЭМ.Н.}}}{M_{\text{Н}}}$$

где $M_{\text{Н}}$ – номинальный момент электродвигателя, Нм,

$P_{2\text{Н}}$ – номинальная мощность на валу, Вт;

Кратность пускового тока

$$I_{\Pi}^* = \frac{I_{1\text{К}}}{I_{1\text{Н}}} \cdot \frac{U_{1\text{Н}}}{U_{1\text{К}}}$$

2.2 Опыт холостого хода асинхронного двигателя

Исследование двигателя в режиме холостого хода проводится для номинального напряжения и позволяет оценить величину тока холостого хода, а также потери в стали при номинальном напряжении. Опыт проводится по схеме, приведенной на рис. 2.2.

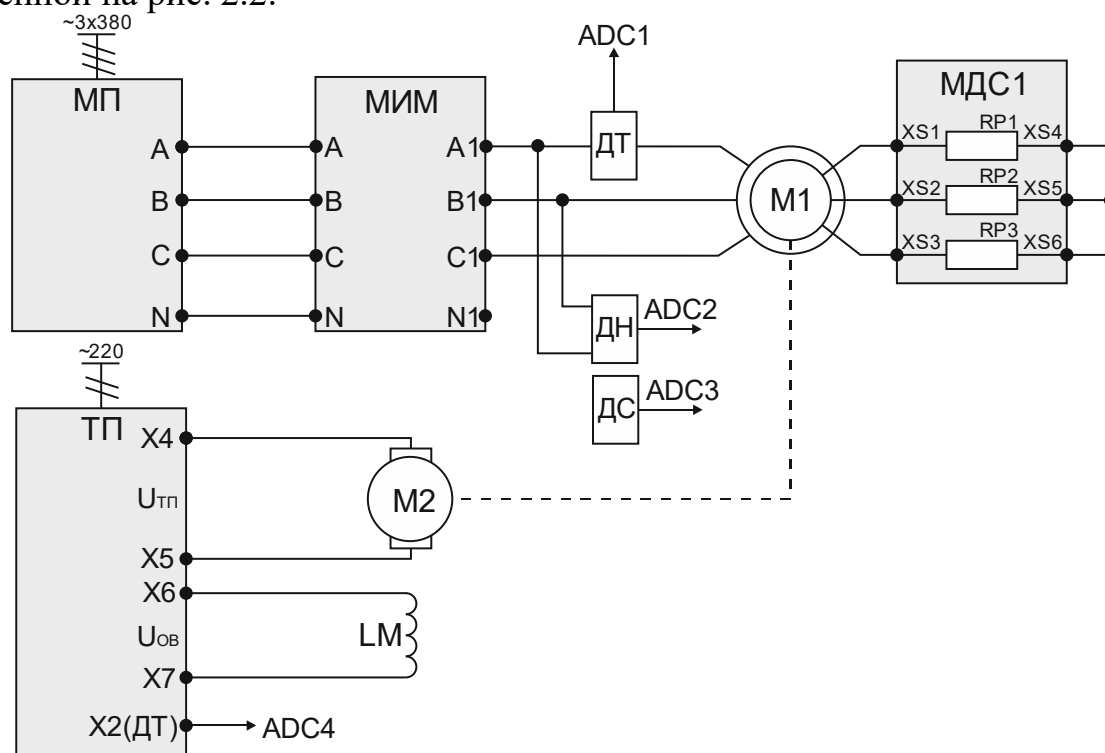


Рисунок 2.2 - Схема для исследования асинхронного электродвигателя с фазным ротором

Статорная цепь асинхронного двигателя подключается к выходам 3x380В модуля питания через измеритель мощности. Выводы обмотки ротора подключаются на регулируемые активные сопротивления модуля добавочных сопротивлений №1.

Для контроля тока и напряжения статора в цепь включаются датчики тока и напряжения силового модуля. Выходы датчиков тока и напряжения, а также датчика скорости силового модуля подключаются к входам ADC1 – ADC3 модуля ввода/вывода.

В качестве нагрузочной машины используется двигатель постоянного тока, подключенный к тиристорному преобразователю: якорная цепь ДПТ подключается к выходам регулируемого преобразователя модуля ТП $U_{\text{ТП}}$ (клеммы X4, X5), обмотка возбуждения – к выходам нерегулируемого выпрямителя модуля ТП $U_{\text{ОВ}}$

(клеммы Х6, Х7). Выход датчика тока модуля ТП подключается к входу ADC4 модуля ввода/вывода.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «ВКЛ.» модуля питания;
- установить переключатель $SA1$ модуля МДС1 в положение «0» – происходит запуск электродвигателя. Занести данные точки холостого хода в табл. 2.2.

После проведения опыта вывести переключатель $SA1$ модуля МДС1 в положение «∞», выключить контактор КМ1 модуля питания.

Таблица 2.2

Данные опыта				Расчетные данные				
$U_{1\Phi}$	$I_{1\Phi}$	P_{10}	n	$\cos\varphi_{10}$	P_0	$\Delta P_{\text{СТ}}$	$\Delta P_{\text{СТ.1}}$	I_{10}^*
В	А	Вт	об/мин		Вт	Вт	Вт	о.е.

В табл. 2.2 приняты следующие обозначения:

$U_{1\Phi}$ – фазное напряжение статорной цепи, В;

$I_{1\Phi}$ – фазный ток статора, А;

P_{10} – суммарная потребляемая активная мощность по трем фазам, Вт;

n – частота вращения электродвигателя, об/мин.

Расчетные данные.

Коэффициент мощности в режиме холостого хода

$$\cos\varphi_{10} = \frac{P_{10}}{3U_{1\Phi}I_{1\Phi}}$$

Потери в режиме холостого хода складываются из следующих составляющих:

$$P_{10} = 3I_{1\Phi}^2 \cdot r_1 + (\Delta P_{\text{МЕХ.АД}} + \Delta P_{\text{МЕХ.МПТ}}) + \Delta P_{\text{СТ.}}$$

Для определения потерь в стали и механических потерь потери на активном сопротивлении вычитают из потерь холостого хода:

$$P_0 = P_{10} - 3I_{1\Phi}^2 r_1$$

Механические потери каждой электрической машины можно принять равными 5% от их номинальной мощности.

Потери в стали рассчитываются путем вычитания механических потерь из рассчитанной величины P_0 :

$$\Delta P_{\text{СТ.1}} = P_0 - \Delta P_{\text{МЕХ.АД}} - \Delta P_{\text{МЕХ.ДПТ}}$$

Потери в стали сердечника статора при напряжении статора, отличном от номинального, рассчитываются по следующей формуле

$$\Delta P_{\text{СТ}} = \Delta P_{\text{СТ.1}} \left(\frac{U_{1\Phi}}{U_{1\text{Н}}} \right)^2$$

где $\Delta P_{\text{СТ.1}}$ – потери в стали сердечника статора при номинальном напряжении, Вт.

По данной формуле, рассчитываются потери в стали при номинальном напряжении.

Значение тока холостого хода в относительных единицах

$$I_{10}^* = \frac{I_{10}}{I_{1\text{Н}}}$$

2.3 Расчет параметров асинхронного двигателя

Опыты холостого хода и короткого замыкания позволяют рассчитать параметры асинхронного двигателя и построить схему замещения.

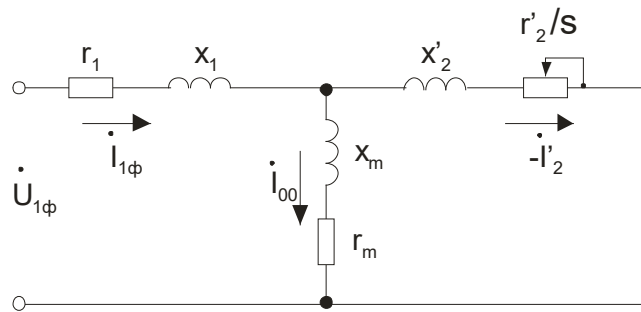


Рисунок 2.3 – «Т»-образная схема замещения

Из опыта холостого хода.

Активное сопротивление намагничивающей цепи, Ом

$$r_{\mu} = \frac{\Delta P_{\text{СТ.1}}}{3I_{10}^2}$$

Полное сопротивление намагничивающей цепи, Ом

$$z_{\mu} = \frac{U_{1\Phi\text{H}}}{I_{10}}$$

Индуктивное сопротивление намагничивающей цепи, Ом

$$x_{\mu} = \sqrt{z_{\mu}^2 - r_{\mu}^2}.$$

Из опыта короткого замыкания.

Полное сопротивление, Ом:

$$z_{\text{К}} = \frac{U_{1\Phi\text{К}}}{I_{1\text{К}}}$$

Активное сопротивление, Ом:

$$r_{\text{К}} = \frac{\Delta P_{1\text{К}}}{3I_{1\text{К}}^2}; r'_2 = r_{\text{К}} - r_1$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора асинхронного двигателя, Ом.

Индуктивное сопротивление, Ом

$$x_{\text{К}} = \sqrt{z_{\text{К}}^2 - r_{\text{К}}^2}; x_1 \approx x'_2 = \frac{x_{\text{К}}}{2}.$$

2.4. Рабочие характеристики

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: $I_1, P_1, n, s, M_{\text{ЭМ}}, \eta, \cos\varphi_1 = f(P_2)$. Опыт проводится по схеме, представленной на рисунке 2.2.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «ВКЛ» модуля питания;

- установить переключатель $SA1$ модуля МДС1 в положение «0» – закоротить роторные цепи асинхронного электродвигателя;
- подать питание на тиристорный преобразователь включением кнопки «Сеть»;
- подать разрешение на работу ТП (тумблер $SA6$) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель $SA5$);
- задавая момент нагрузки, следить за частотой вращения. Если она увеличивается, поменять направление момента нагрузки переключателем $SA5$.

Повторить опыт при введенном в цепь ротора асинхронного двигателя сопротивлении.

После проведения опыта перевести модули в исходное состояние, нажать кнопку «Откл» модуля питания и автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда. Опытные данные занести в табл.2.3.

Таблица 2.3

<i>Данные опыта</i>					
$U_{1\Phi}$, В					
$I_{1\Phi}$, А					
P_1 , Вт					
n , об/мин					
<i>Расчетные данные</i>					
ω , 1/с					
s					
$\Delta P_{эл.1}$, Вт					
$\Delta P_{ст}$, Вт					
$P_{эм}$, Вт					
$\Delta P_{эл.2}$, Вт					
ΔP_{Σ} , Вт					
$M_{эм}$, Н·м					
P_B , Вт					
M_B , Н·м					
η					
$\cos\varphi_1$					

В табл. 2.3 приняты следующие обозначения:

$U_{1\Phi}$ – фазное напряжение статора асинхронного двигателя, В;

$I_{1\Phi}$ – фазный ток статора асинхронного двигателя, А;

P_1 – активная мощность трех фаз, потребляемая трехфазным асинхронным электродвигателем, Вт;

n – частота вращения электродвигателя, об/мин.

Расчетные данные

Частота вращения электродвигателя, 1/с:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}.$$

Скольжение

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1},$$

где ω_1 – синхронная частота вращения, 1/с.

Электрические потери в обмотке статора асинхронного двигателя, Вт

$$\Delta P_{\text{эл.1}} = 3I_{1\Phi}^2 r_1,$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора (Приложение А), Ом;

Потери в стали при напряжении $U_{1\Phi}$, Вт

$$\Delta P_{\text{СТ}} = \Delta P_{\text{СТ.1}} \left(\frac{U_{1\Phi}}{U_{1Н}} \right)^2,$$

где $U_{1Н}$ – номинальное напряжение, В;

$\Delta P_{\text{СТ.1}}$ – потери в стали при номинальном напряжении, Вт.

Электромагнитная мощность, Вт

$$P_{\text{ЭМ}} = P_1 - \Delta P_{\text{эл.1}} - \Delta P_{\text{СТ}}$$

Электрические потери в обмотке ротора, Вт

$$\Delta P_{\text{эл.2}} = P_{\text{ЭМ}} s.$$

Суммарные потери в двигателе, Вт

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{эл.1}} + \Delta P_{\text{СТ}} + \Delta P_{\text{эл.2}} + \Delta P_{\text{МЕХ.АД}},$$

где $\Delta P_{\text{МЕХ.АД}}$ – механические потери асинхронного электродвигателя, Вт.

Электромагнитный момент асинхронного двигателя, Н·м

$$M_{\text{ЭМ}} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{\omega_1}.$$

Полезная мощность на валу двигателя, Вт

$$P_{\text{В}} = P_1 - \Delta P_{\Sigma}.$$

Полезный момент на валу двигателя, Н·м

$$M_{\text{В}} = \frac{P_{\text{В}}}{\omega}.$$

Коэффициент полезного действия, %

$$\eta = \frac{P_{\text{В}}}{P_1} \cdot 100.$$

Коэффициент мощности (расчетный)

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{3U_{1\Phi} I_{1\Phi}}.$$

Контрольные вопросы

1. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
2. Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?
3. Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения, т.е. может ли он вращаться с синхронной частотой вращения?
4. Как изменяется ток статора двигателя при повышении напряжения и неизменной нагрузке на валу двигателя?
5. Каков физический смысл зависимости $\cos \varphi_1 = f(P_2)$.

Работа 3. Исследование асинхронного генератора

Цель работы

Изучение способа включения асинхронной машины для работы в режиме генератора. Исследование рабочих свойств асинхронного генератора.

Предварительное домашнее задание

Изучить содержание данной работы и раздел курса электрических машин «Асинхронные машины», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

Методические указания к проведению работы

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

- переключатель *SA1* модуля автотрансформатора установить в нижнее положение, ручку автотрансформатора установить в крайнее положение против часовой стрелки;
- переключатель *SA1* модуля МДЦ2 установить в положение «∞»;
- переключатель *SA2* модуля МДЦ2 установить в положение «0».

Исследуемая асинхронная машина входит в состав электромашинного агрегата стенда, его каталожные данные приведены в Приложении А. Для проведения данной работы на персональном компьютере должно быть запущено программное обеспечение *Delta Profi* (Приложение Б) и выбрана соответствующая лабораторная работа.

Для исследования асинхронного генератора собирается схема, представленная на рис.3.1.

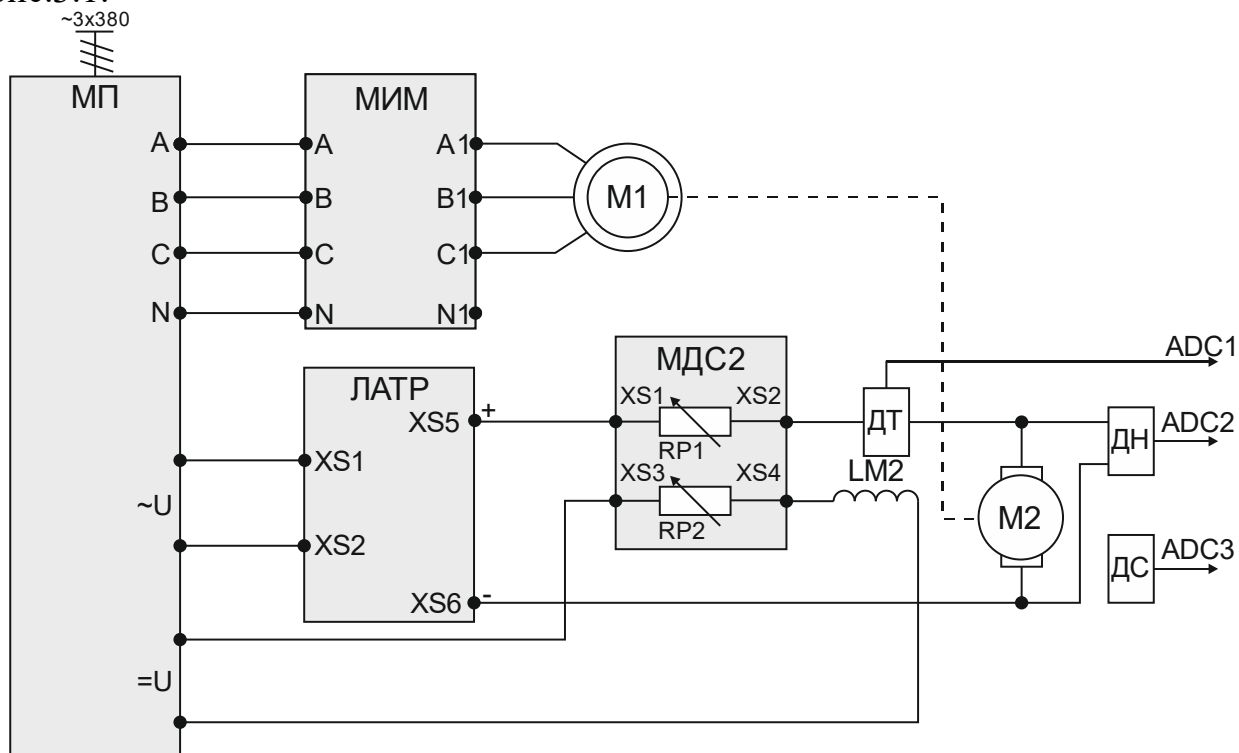


Рисунок 3.1 - Схема для исследования асинхронного генератора

Асинхронная машина подключается к выводам 3х380 В модуля питания через измеритель мощности. Обмотки ротора замыкаются накоротко.

В качестве первичного двигателя используется двигатель постоянного тока (ДПТ). Питание обмотки возбуждения осуществляется от клемм « $=U$ » модуля питания. Для ослабления потока последовательно с обмоткой возбуждения вводится добавочное сопротивление $RP2$ модуля МДС2.

Для питания якорной цепи ДПТ используется автотрансформатор, первичная обмотка которого подключается к клеммам « $\sim U$ » модуля питания. Якорь ДПТ подключается к выходу выпрямителя модуля автотрансформатора. Последовательно с якорной цепью вводится регулируемое добавочное сопротивление $RP1$ модуля МДС2.

Для измерения тока якоря $I_{\text{я}}$, напряжения на якоре $U_{\text{я}}$ и частоты вращения агрегата n используются датчики тока, напряжения и частоты вращения силового модуля. Выходы датчиков подключаются к входам $ADC1$, $ADC2$ и $ADC3$ модуля ввода/вывода.

3.1 Согласование направления вращения генератора и двигателя

Перед снятием характеристик асинхронного генератора необходимо согласовать направление вращения генератора и двигателя постоянного тока:

- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «Вкл.» модуля питания для пуска асинхронной машины в режиме двигателя;
- запустить ДПТ. Для этого переключатель $SA1$ резистора $RP1$ МДС2 переключить в положение «200 Ом» и при этом следить за током якоря. Если ток якоря возрастает, выключить контактор КМ1 модуля питания, поменять местами фазы А и В асинхронной машины. Переключатель $SA1$ МДС2 перевести в положение «0»;
- тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в верхнее положение и, поворачивая ручку автотрансформатора по часовой стрелке, подать напряжение в якорную цепь ДПТ – двигатель постоянного тока запустится.

3.2 Снятие рабочих характеристик

Рабочие характеристики представляют собой зависимость мощности, подводимой к асинхронному генератору, фазного тока, КПД, скольжения от полезной активной мощности, отдаваемой асинхронным генератором в сеть P_1 . Указанные зависимости $I_{\text{ф}}$, $P_{\text{в}}$, n , s , η , $\cos\varphi_1 = f(P_1)$ снимаются при $U_{\text{ф}} = \text{const}$ и $f = \text{const}$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- на момент начала опыта направление вращения электрических машин должно быть согласовано и асинхронная машина должна вращаться;
- увеличивая напряжение на якоре, изменять частоту вращения ДПТ до достижения асинхронной машиной точки перехода в генераторный режим (активная мощность, потребляемая из сети, равна нулю). Если этого достигнуть не удалось, то следует переключением $SA2$ модуля МДС2 ослаблять поток обмотки возбуждения.

Дальнейшее увеличение напряжения на якоре или ослабление обмотки возбуждения приводит к переходу асинхронной машины в режим асинхронного генератора с отдачей в сеть активной мощности. Опыт проводить до тех пор, пока ток якоря ДПТ не превысит номинального значения. Данные опыта заносятся в табл. 3.1.

После проведения опыта последовательно: установить рукоятку автотрансформатора в крайнее положение против часовой стрелки, выключить

переключатель модуля автотрансформатора, выключить контактор модуля питания и автоматический выключатель модуля питания стенда.

Таблица 3.1

<i>Данные опыта</i>					
$U_{1\Phi}$, В					
$I_{1\Phi}$, А					
P_1 , Вт					
$U_{я}$, В					
$I_{я}$, А					
n , об/мин					
<i>Расчетные данные</i>					
ω , 1/с					
s					
$\Delta P_{эл.1}$, Вт					
$\Delta P_{ст}$, Вт					
$P_{эм}$, Вт					
$\Delta P_{эл.2}$, Вт					
ΔP_{Σ} , Вт					
$M_{эм}$, Н·м					
P_B , Вт					
M_B , Н·м					
η					
$\cos\varphi_I$					

В табл. 3.1 приняты следующие обозначения для данных опыта:

$U_{1\Phi}$ – фазное напряжение статора асинхронного генератора, В;

$I_{1\Phi}$ – фазный ток статора асинхронного генератора, А;

P_1 – трехфазная активная мощность, отдаваемая трехфазным асинхронным генератором в сеть, Вт;

$U_{я}$ – напряжение якоря приводного ДПТ, В;

$I_{я}$ – ток якоря приводного ДПТ, А;

n – частота вращения ротора асинхронного генератора, об/мин.

3.3 Расчетные данные

Частота вращения асинхронного генератора, 1/с

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}.$$

Скольжение

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1},$$

где ω_1 – синхронная частота вращения, 1/с.

Электрические потери в обмотке статора асинхронного генератора, Вт

$$\Delta P_{эл.1} = 3I_{1\Phi}^2 r_1,$$

где r_1 – активное сопротивление фазы статора (Приложение А), Ом.

Потери в стали при напряжении $U_{1\Phi}$, Вт

$$\Delta P_{\text{СТ}} = \Delta P_{\text{СТ.1}} \left(\frac{U_{1\Phi}}{U_{1Н}} \right)^2,$$

где $U_{1Н}$ – номинальное напряжение, В;

$\Delta P_{\text{СТ.1}}$ – потери в стали при номинальном напряжении, Вт.

Электромагнитная мощность, Вт

$$P_{\text{ЭМ}} = P_1 + \Delta P_{\text{ЭЛ1}} + \Delta P_{\text{СТ}}$$

Электрические потери в обмотке ротора, Вт

$$\Delta P_{\text{ЭЛ.2}} = P_{\text{ЭМ}} s.$$

Суммарные потери в асинхронном генераторе, Вт

$$\Delta P_{\Sigma} = P_{\text{ЭЛ.1}} + \Delta P_{\text{СТ}} + \Delta P_{\text{ЭЛ.2}} + \Delta P_{\text{МЕХ.АГ}},$$

где $\Delta P_{\text{МЕХ.АГ}}$ – механические потери асинхронного генератора (двигателя), Вт.

Тормозной электромагнитный момент асинхронного генератора, Нм

$$M_{\text{ЭМ}} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{\omega_1}$$

Мощность на валу приводного двигателя постоянного тока, Вт

$$P_{\text{В}} = P_1 + \Delta P_{\Sigma}.$$

Вращающий момент на валу приводного двигателя постоянного тока, Нм

$$M_{\text{В}} = \frac{P_{\text{В}}}{\omega}.$$

Коэффициент полезного действия асинхронного генератора, %

$$\eta = \frac{P_1}{P_{\text{В}}} \cdot 100.$$

Коэффициент мощности (расчетный)

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{3U_{1\Phi} I_{1\Phi}}.$$

Контрольные вопросы

1. В чем состоят достоинства и преимущества асинхронного генератора по отношению к синхронному генератору?
2. Укажите недостатки асинхронного генератора.
3. Может ли асинхронный генератор работать без сети переменного тока?
4. Каким образом создается магнитное поле в асинхронном генераторе?
5. Назовите области применения асинхронных генераторов.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СИНХРОННЫМ МАШИНАМ

Работа 1. Исследование синхронного генератора

Цель работы

Исследование рабочих свойств и характеристик трехфазного синхронного генератора.

Предварительное домашнее задание

Изучить содержание данной работы и раздел курса электрических машин «Синхронные машины», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

Методические указания к проведению работы

Исследуемый синхронный генератор входит в состав электромашинного агрегата стенда, его каталожные данные приведены в Приложении А. Для проведения данной работы на персональном компьютере должно быть запущено программное обеспечение *Delta Profi* (Приложение Б) и выбрана соответствующая лабораторная работа.

Перед проведением работы установить модули в исходное состояние:

- ручку модуля автотрансформатора установить на минимум снимаемого напряжения (крайнее положение против часовой стрелки), тумблер *SA1* модуля автотрансформатора перевести в нижнее положение;
- установить переключатель *SA1* МДС1 в положение «∞»;
- установить переключатель *SA2* модуля тиристорного преобразователя (Приложение В) в положение «Скорость», *SA3* в положение «Руч», *SA4* в положение «НМ», *SA5* в положение «Стоп», *SA6* «Разрешение» в нижнее положение, потенциометр *RP1* в крайнее положение против часовой стрелки. Схема для исследования синхронного генератора представлена на рис. 1.1.

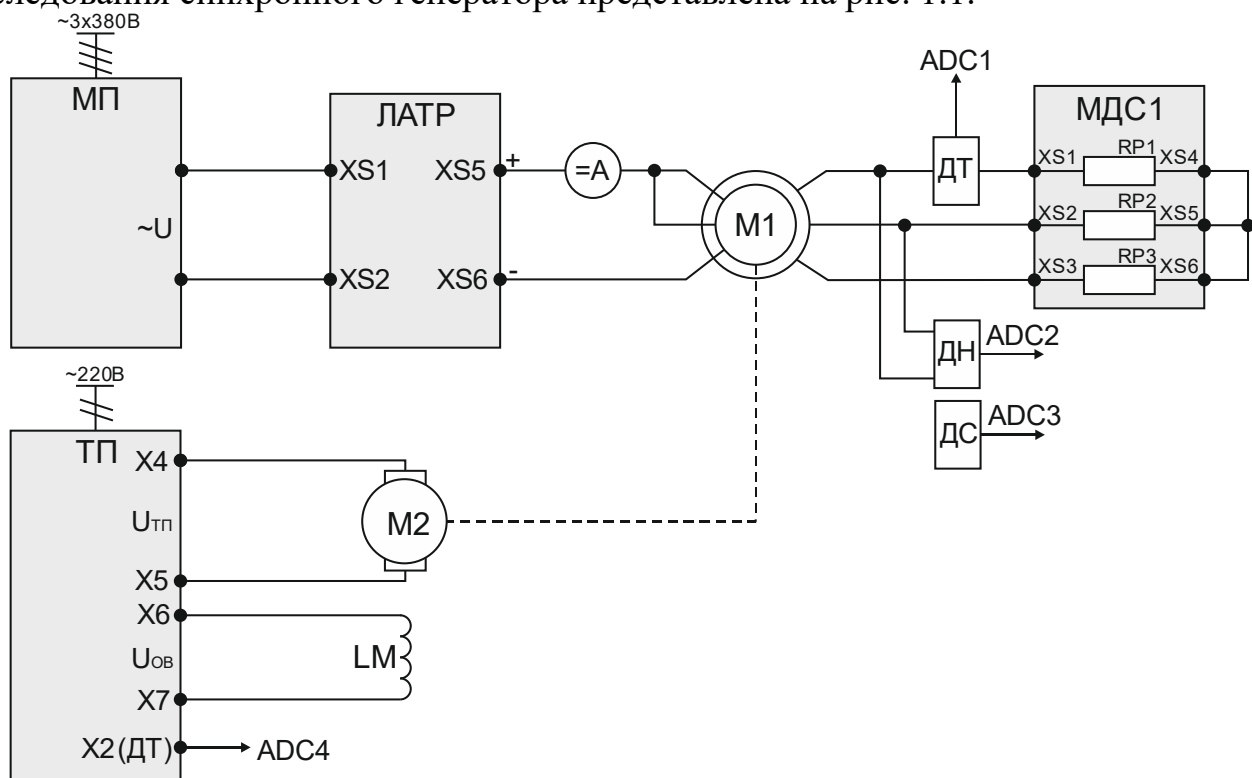


Рисунок 1.1 - Схема исследования синхронного генератора

В качестве приводного двигателя используется двигатель постоянного тока, подключенный к тиристорному преобразователю: обмотка возбуждения ДПТ подключается к нерегулируемому источнику постоянного тока модуля тиристорного преобразователя, обмотка якоря – к выходу регулируемого напряжения U_{TP} модуля.

Обмотка возбуждения синхронного генератора формируется посредством параллельного соединения двух фаз ротора универсальной машины переменного тока. Обмотка подключается к регулируемому источнику постоянного напряжения модуля автотрансформатора. Первичная обмотка автотрансформатора подключается к клеммам « $\sim U$ » модуля питания.

В качестве нагрузки синхронного генератора используются сопротивления модуля МДС1, которые включаются в статорную цепь. Для измерения тока возбуждения I_B синхронного генератора (СГ) используется амперметр модуля измерительного. Для измерения тока статора I_C , напряжения на статоре U_C используются датчики тока и напряжения силового модуля. Выходы ДТ, ДН и ПЧН модуля силового подключаются с входами $ADC1$, $ADC2$, $ADC3$ модуля ввода/вывода. Текущее значение частоты вращения также можно наблюдать на индикаторе силового модуля.

1.1 Опыт холостого хода синхронного генератора

Характеристика холостого хода СГ представляет собой зависимость ЭДС обмотки статора от тока возбуждения при постоянной частоте вращения ротора и отсутствии нагрузки: $E_C = f(I_B)$, $I_C = 0$, $\omega_0 = \text{const}$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- переключатель $SA1$ модуля МДС1 установить в положение « ∞ »;
- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «ВКЛ» модуля питания;
- включить кнопку «Сеть» модуля тиристорного преобразователя, тумблер $SA6$ «Разрешение» перевести в верхнее положение, тумблером $SA5$ выбрать направление вращения, потенциометром $RP1$ модуля тиристорного преобразователя задать частоту вращения ≈ 1500 об/мин;
- тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в верхнее положение;
- плавно увеличивая ток возбуждения синхронного генератора ручкой автотрансформатора до 1,5А, зафиксировать 5-7 точек восходящей ветви характеристики. Данные опыта занести в таблицу 12.1;
- плавно уменьшая ток возбуждения синхронного генератора ручкой автотрансформатора до нуля, зафиксировать 5-7 точек нисходящей ветви характеристики. Данные опыта занести в таблицу 1.1;

После проведения опыта ручку автотрансформатора установить в крайнее положение против часовой стрелки, тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в нижнее положение, остановить приводной двигатель постоянного тока установкой потенциометра $RP1$ модуля в крайнее положение против часовой стрелки. После остановки двигателя установить переключатель $SA5$ в среднее положение, переключатель $SA6$ – в нижнее положение.

Таблица 1.1

<i>Восходящая ветвь характеристики</i>						
n , об/мин						
I_B , А						
E_C , В						
<i>Нисходящая ветвь характеристики</i>						
n , об/мин						
I_B , А						
E_C , В						

В табл. 1.1:

n – скорость вращения генератора, об/мин;

I_B – ток возбуждения синхронного генератора, А;

E_C – ЭДС синхронного генератора, В.

1.2 Опыт трехфазного короткого замыкания синхронного генератора

Этот опыт проводится для получения характеристики установившегося трехфазного короткого замыкания, которая представляет зависимость тока в обмотке статора от тока возбуждения СГ при постоянной частоте вращения: $I_C = f(I_B)$, $U_C = 0$, $\omega = \omega_0 = \text{const}$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- переключатель $SA1$ модуля МДС1 установить в положение «0»;
- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «ВКЛ» модуля питания;
- включить кнопку «Сеть» модуля тиристорного преобразователя, тумблер $SA6$ «Разрешение» перевести в верхнее положение, тумблером $SA5$ выбрать направление вращения, потенциометром $RP1$ модуля тиристорного преобразователя задать частоту вращения ≈ 1500 об/мин;
- тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в верхнее положение;
- ручкой автотрансформатора плавно увеличивать ток возбуждения синхронного генератора до тех пор, пока ток статора не будет равен номинальному, зафиксировать 5-7 точек. Данные опыта занести в таблицу 1.2.
- ручкой автотрансформатора плавно уменьшать ток возбуждения синхронного генератора до нуля, зафиксировать 5-7 точек. Данные опыта занести в таблицу 1.2.

После опыта ручку автотрансформатора установить в крайнее положение против часовой стрелки, тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в нижнее положение, остановить приводной двигатель постоянного тока установкой потенциометра $RP1$ модуля в крайнее положение против часовой стрелки.

Таблица 1.2

<i>Восходящая ветвь характеристики</i>						
n , об/мин						
I_B , А						
I_C , А						
<i>Нисходящая ветвь характеристики</i>						
n , об/мин						
I_B , А						
I_C , А						

После остановки двигателя установить переключатель $SA5$ в среднее положение, переключатель $SA6$ – в нижнее положение.

В табл. 1.2: I_C – ток статора синхронного генератора, А.

1.3 Внешние характеристики синхронного генератора

Внешняя характеристика генератора представляет собой зависимость напряжения на зажимах генератора от тока нагрузки при постоянном токе возбуждения СТ, коэффициенте мощности и частоте вращения: $U_C = f(I_C)$, $I_B = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$, $\omega = \omega_0 = \text{const}$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- переключатель $SA1$ модуля МДС1 установить в положение « ∞ »;
- включить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля питания;
- включить кнопку «Сеть» модуля тиристорного преобразователя, тумблер $SA6$ «Разрешение» перевести в верхнее положение, тумблером $SA5$ выбрать направление вращения, потенциометром $RP1$ модуля тиристорного преобразователя задать частоту вращения первичного двигателя (ДПТ) $n \approx 1500$ об/мин;
- тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в верхнее положение и ручкой автотрансформатора установить ток возбуждения синхронного генератора в пределах $0,5 \dots 1,5$ А. Поддерживать ток неизменным на протяжении всего опыта;
- переключателем $SA1$ модуля МДС1 увеличивать нагрузку до тех пор, пока ток статора не будет равен номинальному. **Переключатель $SA1$ модуля МДС1 не выводить в положение «0».** Данные опыта занести в таблицу 1.3.

После проведения опыта ручку автотрансформатора установить в крайнее положение против часовой стрелки, тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в нижнее положение, остановить приводной двигатель постоянного тока установкой потенциометра $RP1$ модуля в крайнее положение против часовой стрелки. После остановки двигателя установить переключатель $SA5$ в среднее положение, переключатель $SA6$ – в нижнее положение. Нажать кнопку «Откл» модуля питания и выключить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания.

Таблица 1.3

Данные опыта						
n , об/мин						
I_B , А						
I_C , А						
U_C , В						
Расчетные данные						
ω , 1/с						
P_1 , Вт						
$\Delta P_{эл.1}$, Вт						
$P_{эм}$, Вт						
ΔP_{Σ} , Вт						
$M_{эм}$, Нм						
P_B , Вт						
M_B , Нм						
η						

В табл. 1.3 приняты следующие обозначения:

n – скорость вращения генератора, об/мин;

I_B – ток возбуждения генератора, А;

I_C – ток статора генератора, А;

U_C – линейное напряжение статора синхронного генератора, В.

Расчетные данные.

Частота вращения электродвигателя, 1/с

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n$$

Мощность на выходе генератора при активной нагрузке, Вт

$$P_1 = 3U_C I_C$$

Электрические потери в обмотке статора, Вт

$$\Delta P_{эл} = 3I_C^2 r_c,$$

где r_l – активное сопротивление фазы статора (Приложение А), Ом;

Электромагнитная мощность, Вт

$$P_{эм} = P_1 - \Delta P_{эл.1} - \Delta P_{ст},$$

где $\Delta P_{ст}$ – потери в стали электрической машины. Данные потери можно принять равными 5 – 10% от мощности генератора, Вт.

Суммарные потери в генераторе, Вт

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{эл.1} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех.ад},$$

где $\Delta P_{мех.ад}$ – механические потери универсальной электрической машины (Приложение А), Вт.

Электромагнитный момент, Нм

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega_1}.$$

Мощность на валу, Вт

$$P_B = P_1 + \Delta P_{\Sigma}.$$

Момент на валу, Нм

$$M_B = \frac{P_B}{\omega}.$$

Коэффициент полезного действия генератора, %:

$$\eta = \frac{P_1}{P_B} \cdot 100.$$

1.4 Регулировочные характеристики синхронного генератора

Эти характеристики генератора представляют собой зависимость тока возбуждения СГ от тока нагрузки при постоянном напряжении на зажимах обмотки статора и коэффициенте мощности и частоте вращения: $I_B = f(I_C)$ при $U_C = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $\omega = \omega_0 = \text{const}$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- переключатель SA1 модуля МДС1 установить в положение « ∞ »;
- включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля питания;

- включить кнопку «Сеть» модуля тиристорного преобразователя, тумблер $SA6$ «Разрешение» перевести в верхнее положение, тумблером $SA5$ выбрать направление вращения, потенциометром $RP1$ модуля тиристорного преобразователя задать частоту вращения ≈ 1500 об/мин;
- тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в верхнее положение;
- ручкой автотрансформатора установить ток возбуждения, при котором напряжение на статоре будет находиться в пределах 100...150 В;
- переключателем $SA1$ модуля МДС1 увеличивать нагрузку до тех пор, пока ток статора не будет равен номинальному, при этом путем изменения тока возбуждения поддерживать неизменным напряжение статора. **Переключатель $SA1$ модуля МДС1 не выводить в положение «0».** Опыт снимается для двух значений напряжения статора. Данные опыта занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

Данные опыта						
n , об/мин						
I_B , А						
I_C , А						
U_C , В						
Расчетные данные						
ω , 1/с						
P_1 , Вт						
$\Delta P_{эл.1}$, Вт						
$P_{эм}$, Вт						
ΔP_{Σ} , Вт						
$M_{эм}$, Нм						
P_B , Вт						
M_B , Нм						
η						

После проведения опыта установить переключатель $SA1$ модуля МДС1 в положение « ∞ », ручку автотрансформатора установить в крайнее положение против часовой стрелки, тумблер $SA1$ модуля автотрансформатора перевести в нижнее положение, остановить приводной двигатель постоянного тока установкой потенциометра $RP1$ модуля в крайнее положение против часовой стрелки. После остановки двигателя установить переключатель $SA5$ в среднее положение, переключатель $SA6$ – в нижнее положение. Нажать кнопку «Откл» модуля питания и выключить автоматический выключатель $QF1$ модуля питания стенда.

1.5 Определение синхронного индуктивного сопротивления $СГ$

По опытным характеристикам холостого хода и трехфазного короткого замыкания определить ненасыщенное значение синхронных индуктивных сопротивлений по продольной и поперечной осям ротора, которые равны между собой $x_{d\infty} \approx x_{q\infty}$, т.к. ротор имеет неявнополюсную конструкцию. Определение $x_{d\infty}$ показано на рисунке 1.2.

Прямая «0-А» – спрямленная ненасыщенная характеристика холостого хода.

Для одного и того же тока возбуждения определяем ток I_K по характеристике трехфазного короткого замыкания и значение E' по спрямленной ненасыщенной характеристике холостого хода

$$X_{d\infty} = X_{q\infty} = \frac{E'}{\sqrt{3}I_K}$$

Выразив это сопротивление в относительных единицах, получим

$$x_{d\infty} = \frac{X_{d\infty} I_{H.\Phi}}{U_{H.\Phi}}$$

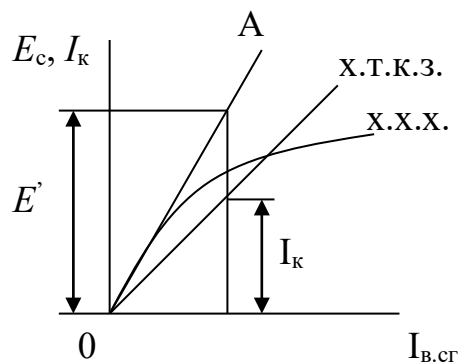


Рисунок 1.2 – Определение синхронного индуктивного сопротивления

Контрольные вопросы

1. Чем объясняется нелинейность характеристики холостого хода СГ?
2. Опишите основные конструктивные элементы синхронного генератора.
3. Пояснить принцип работы синхронного генератора.
4. Чем объяснить падение напряжения СГ при нагрузке?
5. Почему синхронные индуктивные сопротивления $x_{d\infty} \approx x_{q\infty}$, в данном СГ?
6. Поясните отличия явнополюсных и неявнополюсных генераторов. Какой вариант конструкции предпочтительнее при тех или иных условиях?
7. Сравните синхронный генератор с асинхронным.
8. За счет чего синхронный генератор обеспечивает высокое качество генерируемой электрической энергии?

Работа 2. Исследование синхронного двигателя

Цель работы

Ознакомление с асинхронным пуском трехфазного синхронного двигателя (СД) и исследование его рабочих свойств путем снятия опытных характеристик.

Предварительное домашнее задание

Изучить содержание данной работы и раздел курса электрических машин «Синхронные машины», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

Методические указания к проведению работы

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

- переключатель $SA1$ модуля автотрансформатора установить в нижнее положение, ручку автотрансформатора установить в крайнее левое положение;
- установить переключатель $SA2$ модуля тиристорного преобразователя (Приложение В) в положение «Момент», $SA3$ – в положение «Руч», $SA4$ – в положение «НМ», $SA5$ – в положение «Стоп», $SA6$ «Разрешение» в нижнее положение, потенциометр $RP1$ в крайнее положение против часовой стрелки.

Исследуемый синхронный двигатель входит в состав электромашиного агрегата стенда, его каталожные данные приведены в Приложении А. Для проведения данной работы на персональном компьютере должно быть загружено и установлено программное обеспечение *Delta Profi* (см. Приложение Б) и выбрана соответствующая лабораторная работа. Схема для исследования синхронной машины представлена на рисунке 2.1.

Статорная обмотка машины переменного тока подключается к выходу трехфазного сетевого напряжения модуля питания через модуль измерителя мощности. Для контроля тока и напряжения статора в цепь статора включаются датчики тока и напряжения. Выходы датчиков тока и напряжения, а также выход ДС датчика частоты вращения силового модуля подключаются к входам $ADC1...ADC3$ модуля ввода/вывода.

Обмотка возбуждения синхронного двигателя формируется соединением двух фаз ротора универсальной машины переменного тока в параллель. Обмотка возбуждения синхронного двигателя подключается к регулируемому источнику постоянного напряжения модуля автотрансформатора. Постоянный ток в роторной цепи I_B измеряется амперметром модуля измерительного.

В качестве нагрузочной машины работает машина постоянного тока, запитанная от тиристорного преобразователя, переведенного в режим регулирования крутящего момента. Якорная цепь машины постоянного тока подключается к регулируемому источнику постоянного напряжения $U_{ТП}$ модуля тиристорного преобразователя. Обмотка возбуждения подключается к нерегулируемому источнику постоянного напряжения $U_{ОВ}$ модуля тиристорного преобразователя.

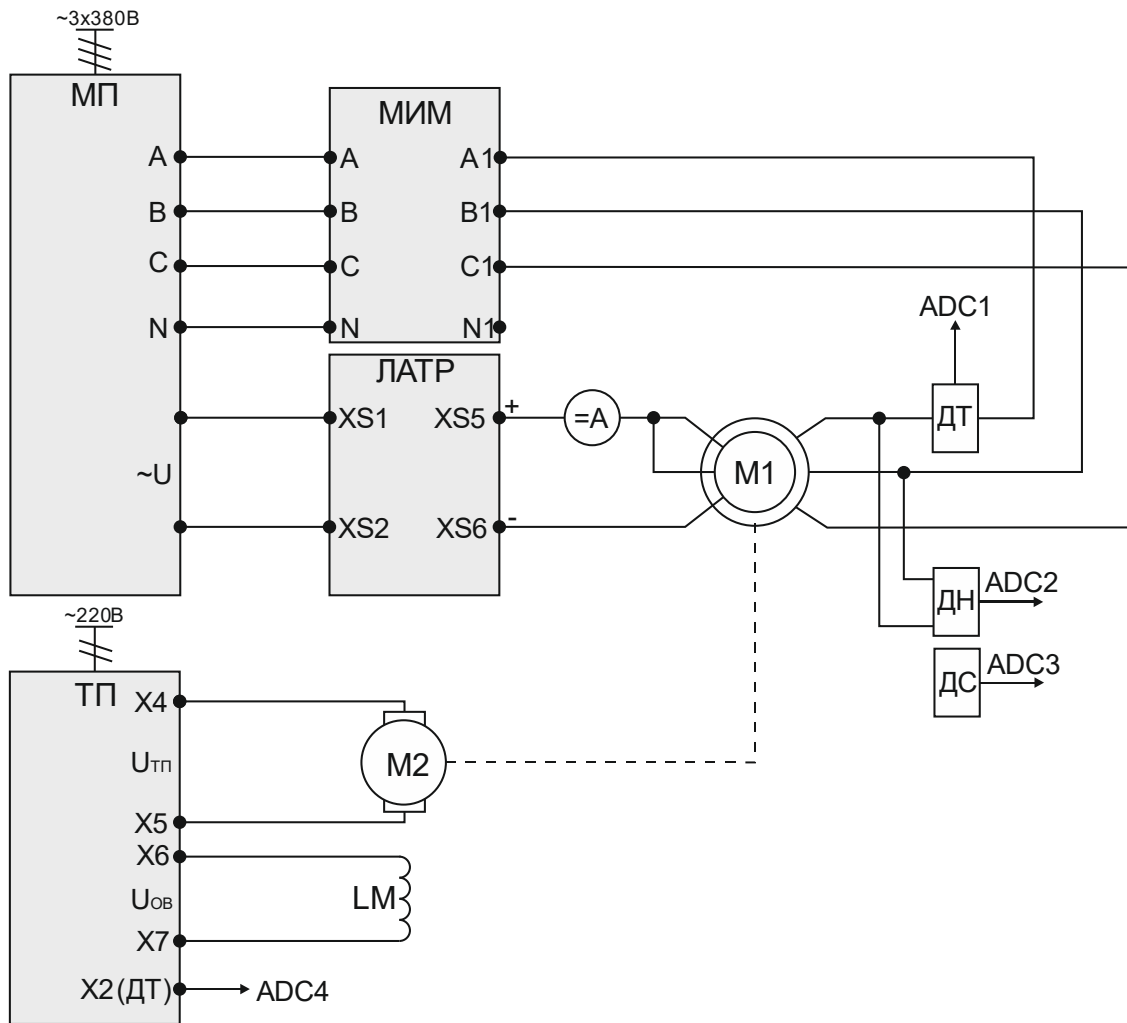


Рисунок 2.1 – Схема для исследования синхронного двигателя

Измерение тока якоря, напряжение якоря и тока возбуждения машины постоянного тока осуществляется с помощью индикатора, расположенного в модуле ТП. Текущее значение частоты вращения агрегата наблюдать на индикаторе силового модуля. Выход датчика тока тиристорного преобразователя подключается к входу ADC4 модуля ввода/вывода.

2.1 Асинхронный пуск синхронного двигателя

Особенность пуска СД заключается в том, что при асинхронном пуске ротор СД нужно разогнать до частоты вращения, близкой к синхронной ω_0 при отключенном возбуждении. Затем обмотку возбуждения (ротора) необходимо подключить к источнику постоянного напряжения для создания тока возбуждения I_B . При подаче тока возбуждения двигатель втянется в синхронизм.

Асинхронный пуск проводится в следующей последовательности:

- включить автоматический выключатель *QF1* модуля питания стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля питания, синхронная машина разгонится до подсинхронной частоты;

- переключатель *SA1* модуля автотрансформатора перевести в верхнее положение и, изменяя положение ручки автотрансформатора, наблюдать изменение тока ротора I_B и вход двигателя в синхронизм. После того, как СД втянется в синхронизм, можно перейти к исследованию его рабочих характеристик.

2.2 Рабочие характеристики синхронного двигателя

Рабочие характеристики представляют собой зависимости тока статора, активной мощности, момента на валу КПД и коэффициента мощности от мощности на валу двигателя I_C , P_1 , M_B , η и $\cos\varphi = f(P_B)$ при $U_C = \text{const}$ и $I_B = \text{const}$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

- ручкой автотрансформатора установить ток возбуждения СД в пределах 0,5...1,5А;
- включить кнопку «Сеть» модуля тиристорного преобразователя, тумблер SA6 «Разрешение» модуля перевести в верхнее положение, тумблером SA5 задать направление момента нагрузки;
- потенциометром RP1 модуля ТП увеличивать момент, создаваемый двигателем постоянного тока;
- переключателем SA5 модуля ТП изменить направление момента нагрузки и повторить опыт.

Данные опыта снимаются для двух значений тока возбуждения синхронной машины. Данные опыта занести в табл. 2.1.

После проведения опыта:

- убрать нагрузку (установить потенциометр RP1 модуля ТП в крайнее положение против часовой стрелки, установить переключатель SA5 в среднее положение, переключатель SA6 – в нижнее положение);
- установить рукоятку автотрансформатора в крайнее положение против часовой стрелки, переключатель автотрансформатора – в нижнее положение;
- нажать кнопку «Откл» модуля питания и выключить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

Таблица 2.1

Опытные данные					
n , об/мин					
I_B , А					
I_C , А					
U_C , В					
P_1 , Вт					
I_A , А					
U_A , В					
Расчетные данные					
ω , 1/с					
$\Delta P_{эл.1}$, Вт					
ΔP_C , Вт					
$P_{эм}$, Вт					
$M_{эм}$, Н·м					
ΔP_Σ , Вт					
P_B , Вт					
M_B , Н·м					
S_1 , ВА					
$\cos\varphi_1$					
η					

В табл. 2.1 приняты следующие обозначения:

n – частота вращения двигателя, об/мин;

I_B – ток возбуждения, А;

I_C – ток статора электродвигателя, А;

U_C – напряжение статора электродвигателя, В;

P_1 – трехфазная активная мощность, потребляемая двигателем, Вт.

$U_{я}$ – напряжение якоря ДПТ, В;

$I_{я}$ – ток якоря ДПТ, А.

Расчетные данные

Основные расчеты производятся аналогично расчетам для предыдущего опыта.

Электромагнитная мощность, Вт

$$P_{ЭМ} = P_1 - \Delta P_{ЭЛ.1} - \Delta P_{СТ}$$

где $\Delta P_{СТ}$ – потери в стали (взять из опыта холостого хода), Вт.

Электромагнитный момент, Н·м

$$M_{ЭМ} = \frac{P_{ЭМ}}{\omega},$$

где ω_1 – синхронная частота вращения, 1/с.

Суммарные потери, Вт

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{ЭЛ.1} + \Delta P_{СТ} + \Delta P_{МЕХ}.$$

Мощность на валу двигателя, Вт

$$P_B = P_1 - \Delta P_{\Sigma}.$$

Момент на валу электродвигателя, Н·м

$$M_B = \frac{P_B}{\omega}.$$

Полная мощность, потребляемая электродвигателем, ВА

$$S_1 = 3U_C I_C.$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}.$$

Коэффициент полезного действия электродвигателя

$$\eta = \frac{P_B}{P_1} \cdot 100.$$

2.3 U-образные характеристики синхронного двигателя

U-образные характеристики представляют собой зависимости тока статора и коэффициента мощности от тока возбуждения, $I_C = f(I_B)$ и $\cos \varphi = f(I_B)$ при $M_B = \text{const}$.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– осуществить асинхронный пуск СД;

- ручкой автотрансформатора установить ток возбуждения СД на уровне 0,5А;
- ручкой автотрансформатора плавно увеличивать ток возбуждения до 2А, занося показания в табл. 2.2.

- включить кнопку «Сеть» модуля тиристорного преобразователя, тумблер *SA6* «Разрешение» модуля перевести в верхнее положение, тумблером *SA5* задать направление момента нагрузки;

- потенциометром *RP1* модуля ТП установить ток нагрузки на уровне 0,5А...1А;

- ручкой автотрансформатора плавно увеличивать ток возбуждения до 2А, занося показания в табл. 2.2.

После проведения опыта:

- убрать нагрузку (установить потенциометр *RP1* модуля ТП в крайнее положение против часовой стрелки, установить переключатель *SA5* в среднее положение, переключатель *SA6* – в нижнее положение);

- установить рукоятку автотрансформатора в крайнее положение против часовой стрелки, переключатель автотрансформатора – в нижнее положение;

- нажать кнопку «Откл» модуля питания и выключить автоматический выключатель *QF1* модуля питания стенда.

Таблица 2.2

Опытные данные					
<i>n</i> , об/мин					
<i>I_B</i> , А					
<i>I_C</i> , А					
<i>U_C</i> , В					
<i>P₁</i> , Вт					
<i>I_я</i> , А					
<i>U_я</i> , В					
Расчетные данные					
ω , 1/с					
$\Delta P_{эл.1}$, Вт					
ΔP_C , Вт					
<i>P_{эм}</i> , Вт					
<i>M_{эм}</i> , Н·м					
ΔP_{Σ} , Вт					
<i>P_в</i> , Вт					
<i>M_в</i> , Н·м					
<i>S₁</i> , ВА					
cosφ ₁					
η					

По результатам опыта построить *U*-образные характеристики, обработать графические зависимости, выделить и объяснить характерные точки.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам можно определить, что двигатель втянулся в синхронизм?
2. По каким признакам следует переключателем SA3 тиристорного регулятора напряжения включать ток возбуждения СД?
3. По каким приборам можно определить, что СД работает в режиме идеального холостого хода?
4. Почему при регулировании тока возбуждения меняется величина тока статора СД?
5. Как изменяется характер зависимости тока статора I_C и $\cos\varphi$ от тока возбуждения I_B с изменением нагрузки?
6. Объясните явление выпадения СД из синхронизма, при каких условиях и каковы внешние признаки выпадения из синхронизма?
7. При каких условиях СД работает с отстающим током статора, а при каких с опережающим?
8. Как зависит ток статора и $\cos\varphi$ от тока возбуждения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин: Учеб. пособ. для вузов по спец. «Электромеханика» / О.Д. Гольдберг. – М.: Высш. шк., 1990. – 255 с.
2. Коварский Е.М. Испытания электрических машин / Е.М. Коварский, Ю.И. Янко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
3. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов / И.П. Копылов. – М.: Энергоатомиздат, 1986.–360 с.
4. Мезин Е.К. Судовые электрические машины: Учебник / Е.К. Мезин. – Л.: Судостроение, 1985. – 322 с.
5. ГОСТ Р 52776-2007. Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики: Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2008. – 68 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Паспортные данные электрических машин

Таблица А.1

Машина постоянного тока П11М

Наименование параметра	Значение
Тип	Двигатель постоянного тока смешанного возбуждения
Мощность, Вт	290
Номинальное напряжение питания обмотки якоря, В	220
Номинальный ток якоря, А	2,04
Номинальный ток обмотки последовательного возбуждения, А	2,04
Номинальное напряжение обмотки параллельного возбуждения, В	220
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
КПД	0,6
Масса, кг	18,5
Сопротивление обмотки якоря $R_{я,20^{\circ}\text{C}}$ (расч. значение), Ом	26,3
Сопротивление обмотки возбуждения $R_{ов,20^{\circ}\text{C}}$ (расч. значение), Ом	885
Механические потери, $P_{\text{МЕХДПТ}}$, Вт	15

Таблица А.2

Паспортные и расчетные данные универсальной машины переменного тока

Наименование параметра	Значение
Тип	ИММ71
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение питания обмотки статора, Y/Δ, В	380/220
Номинальная частота вращения, об/мин	1370
Номинальный ток фазы статора, Y/Δ, А	1,37/2,37
cos φ	0,7
Число пар полюсов	2
Номинальный момент, Н·м	1,4
Активное сопротивление статора $r_{1,27^{\circ}\text{C}}$, Ом	19
Механические потери, $P_{\text{МЕХАД}}$, Вт	15

Таблица А.3

Паспортные данные импульсного датчика скорости

Наименование параметра	Значение
Тип	E40S6-500-6-L-5
Напряжение питания, В	5
Разрешающая способность, имп./об	500
Максимальная частота вращения, об/мин	5000
Тип выходного сигнала	Линейный драйвер

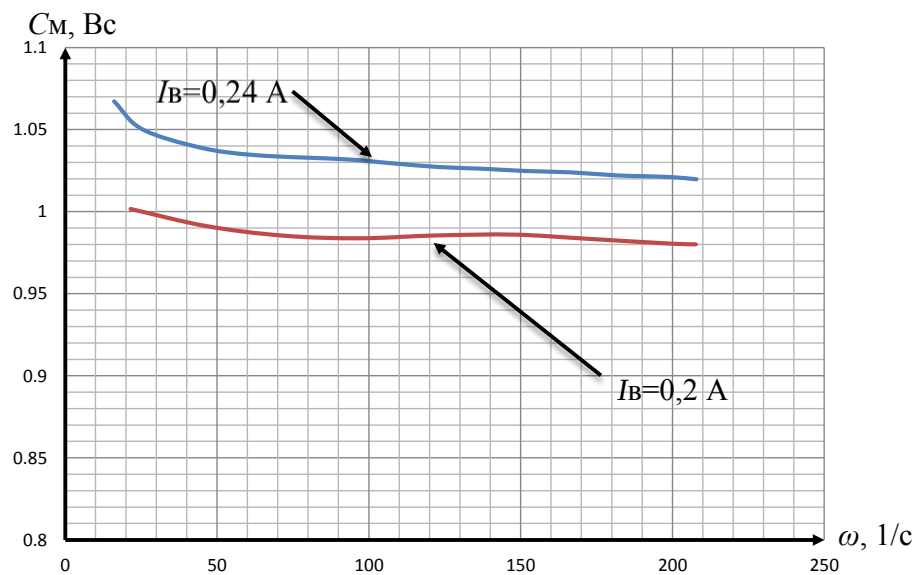


Рис.А.1 – Зависимость $C_M = f(\omega)$ машины постоянного тока П11М

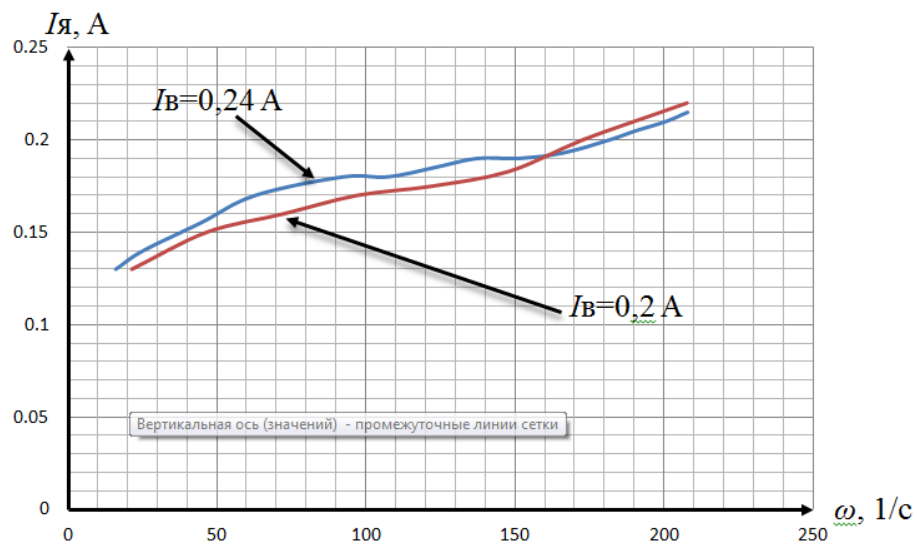


Рис.А.2 – Зависимость $I_{Я0} = f(\omega)$ машины постоянного тока П11М

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Описание работы программного обеспечения «DeltaProfi»

Программное обеспечение *Delta Profi* разработано для работы с лабораторными стендами, разрабатываемыми ООО НПП «Учтех-Профи».

С помощью программного обеспечения выполняется осциллографирование переходных процессов, снятие характеристик изучаемого объекта в автоматическом режиме, измерение и индикация на мониторе координат исследуемых объектов.

Программное обеспечение предназначено для работы с модулем ввода/вывода лабораторного комплекса. Работая совместно с модулем, программа обрабатывает аналоговые сигналы, поступающие с входов $ADC1...ADC8$ модуля ввода/вывода, а также выдает управляющие воздействия на аналоговые выходы $DAC1, DAC2$ модуля ввода/вывода. Рабочее окно программы приведено на рис. Б.1.

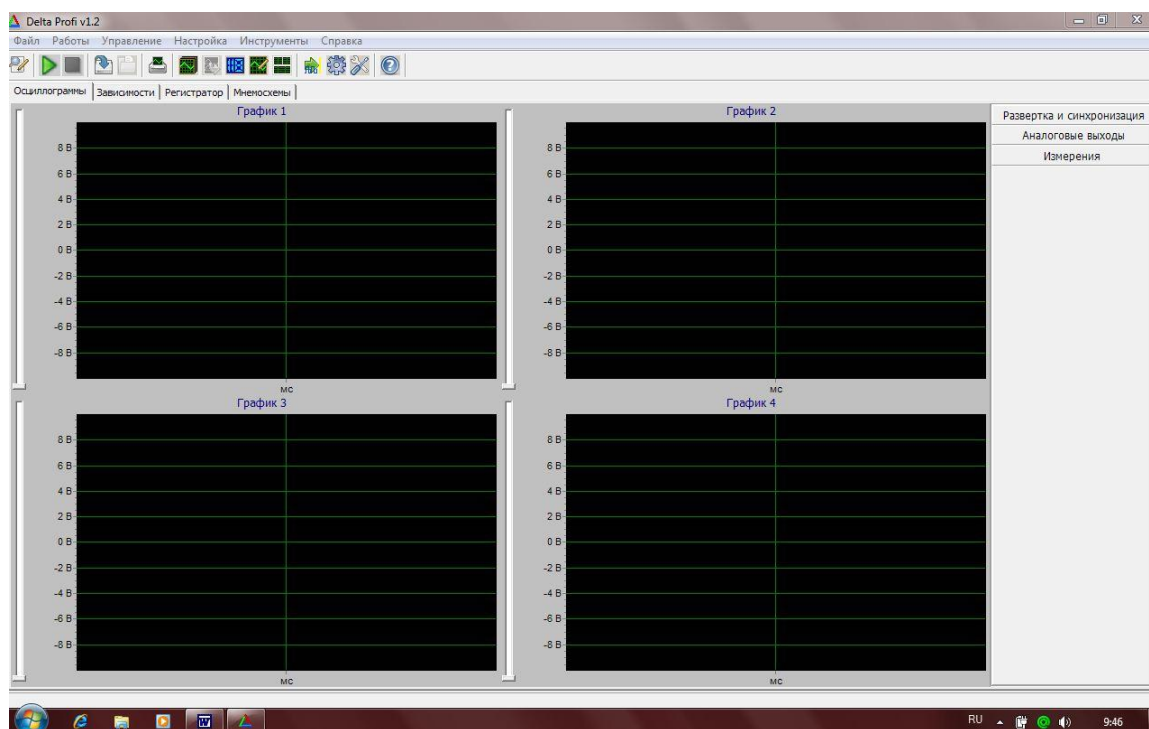


Рисунок Б.1 - Рабочее окно программы Delta Profi

Для выбора необходимой работы необходимо в строке меню найти вкладку «Работы», где следует найти название используемого варианта лабораторного комплекса и в открывшейся вкладке выбрать нужную лабораторную работу. При выборе работы на экране появляются доступные эксперименты (рис. Б.2).

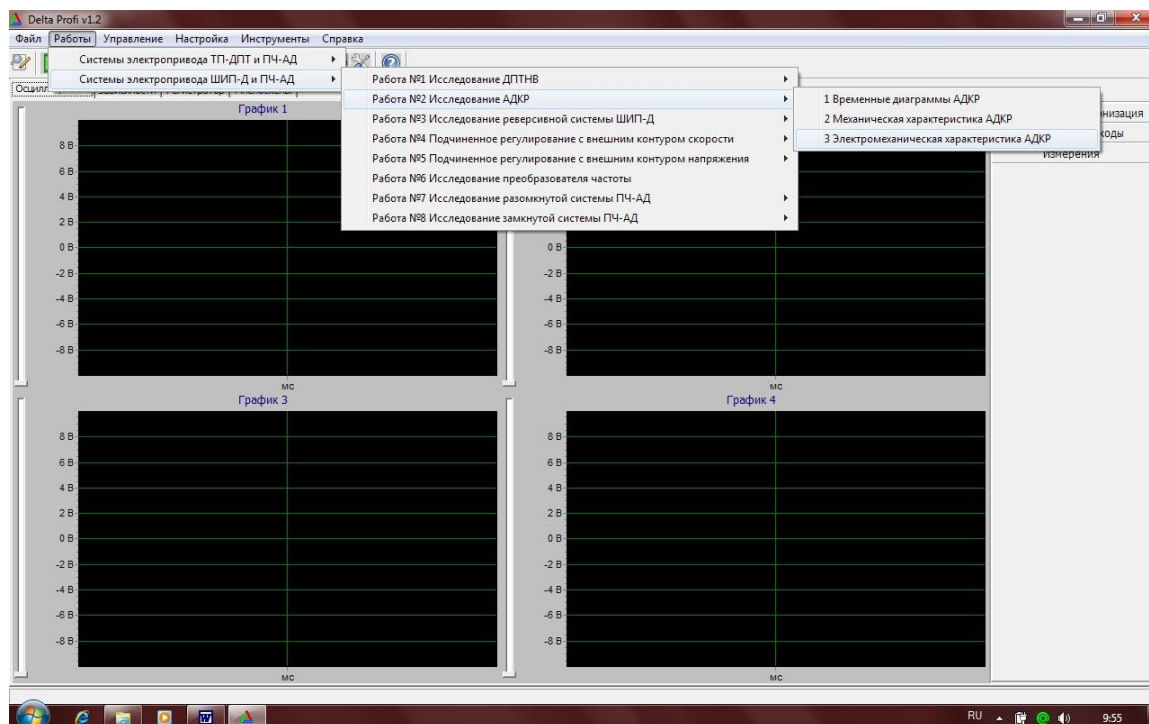


Рисунок Б.2 - Выбор лабораторной работы и эксперимента

При выборе лабораторной работы рабочее пространство изменяется в зависимости от того, какой эксперимент выбран. В случае, если выбран пункт «Временные диаграммы», экран разделяется на несколько малых экранов с наименованием выводимой на индикацию величины (рис. Б.3). С правой части экрана выводятся цифровые индикаторы (если они необходимы).

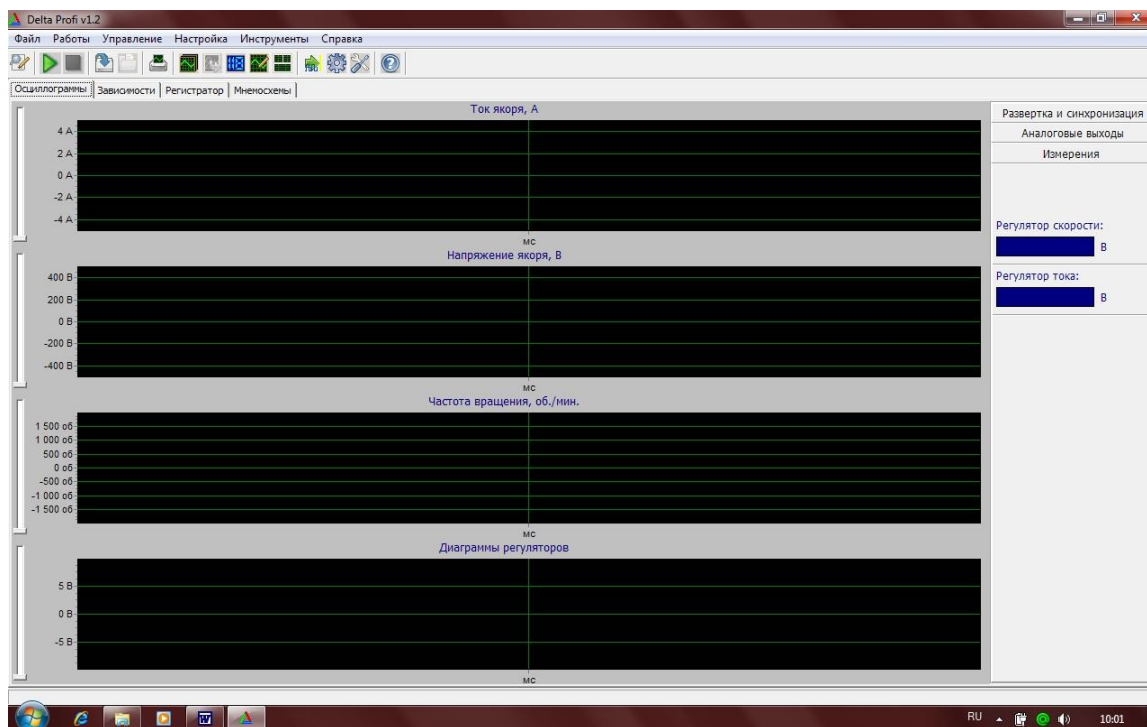


Рисунок Б.3 - Вид экрана программы при отображении временных диаграмм

При работе пакета в режиме снятия характеристик электропривода в автоматическом режиме экран представляет собой полотно, на котором в режиме реального времени прорисовываются снимаемые характеристики. Величина сигналов управления показывается в правой части экрана. В некоторых случаях требуется установить величину управляющего воздействия вручную (например, если студент должен установить заданную частоту вращения электродвигателя). С этой целью в правой части экрана под индикаторами управляющего воздействия расположен «ползунок», положение которого студент меняет с помощью «мыши» (рис. Б.4).

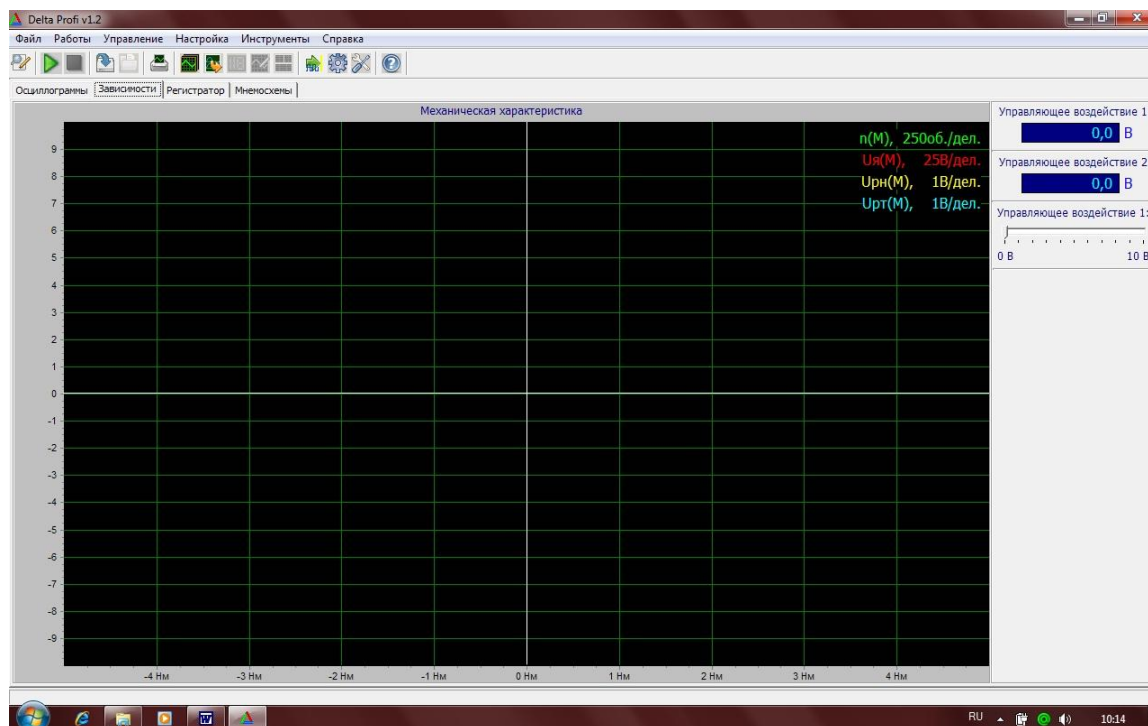


Рисунок Б.4 - Внешний вид программы при снятии характеристик в автоматическом режиме

При запуске программы режим осциллографирования выключен. Для начала измерения, снятия характеристик требуется удостовериться в правильности сборки схемы, выполнить все пункты методических указаний, подать, если требуется, разрешение на работу преобразователей, а затем включить режим измерения кнопкой «Пуск» (F5). Остановка процесса измерения осуществляется нажатием кнопки «Стоп» (F6).

Внимание!!! Во избежание сбоев в работе программы необходимо при смене эксперимента или лабораторной работы обязательно выключить режим измерения (кнопка «Стоп» (F6)).

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Тиристорный преобразователь

Тиристорный преобразователь представляет собой однофазный двухкомплектный преобразователь с отдельным управлением комплектами.

Преобразователь служит для управления электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения.

Модуль тиристорного преобразователя содержит выходы управляемого преобразователя для питания обмотки якоря и выходы неуправляемого преобразователя для питания обмотки возбуждения.

Внешний вид модуля приведен на рис. В.1.

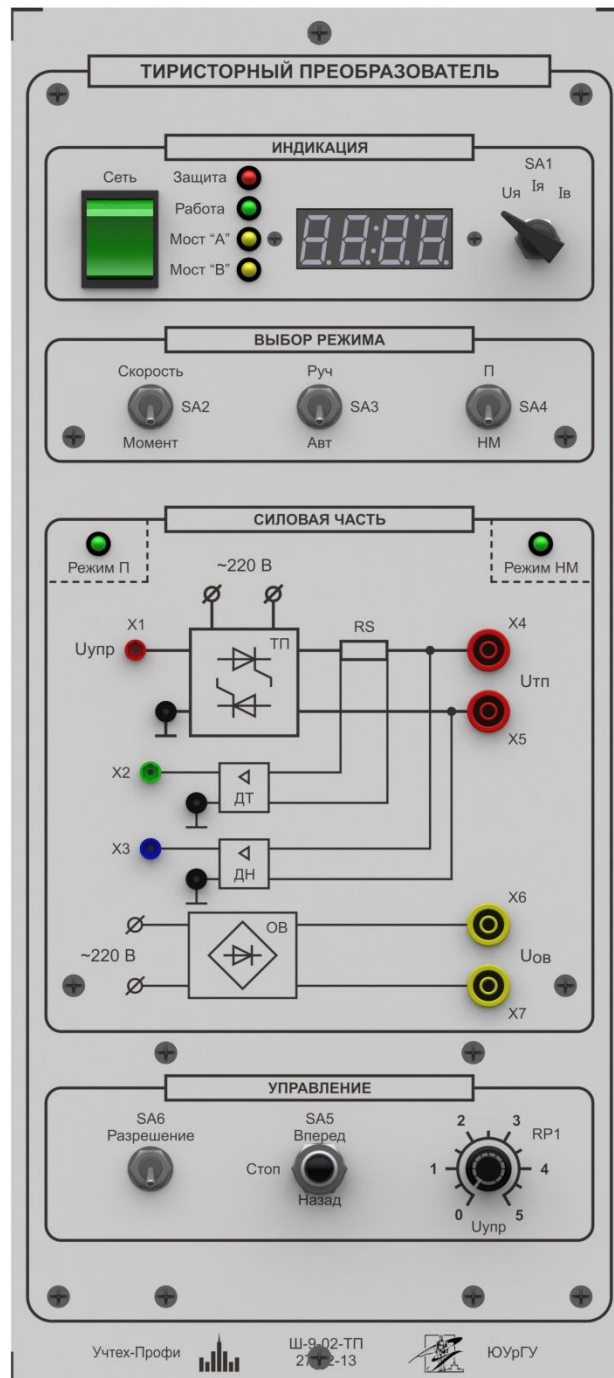


Рисунок В.1 - Внешний вид модуля «Тиристорный преобразователь»

На лицевую панель вынесены:

- кнопка «Сеть» подачи напряжения электропитания на ТП;
- переключатель SA1, который служит для переключения параметра, значение которого отображается на светодиодном индикаторе «напряжение/ ток якоря/ток возбуждения»;
- тумблер SA2 – выбор режима регулирования «Скорость/Момент»;
- тумблер SA3 – выбор режима управления «Руч/Авт». В положении «Авт» управление осуществляется с помощью внешнего входного сигнала, сигнал подается на клемму X1, внутренние связи преобразователя не размыкаются. В положении «Руч» подача сигнала управления осуществляется с потенциометра RP1 модуля;
- тумблер SA4 – выбор режима работы «П/НМ». В режиме «НМ» (нагрузочная машина) обратные связи по частоте вращения или моменту подключаются автоматически, их переключение осуществляется с помощью тумблера SA2. В режиме «П» (преобразователь) все внутренние обратные связи преобразователя размыкаются, и аналоговый сигнал с клеммы X1 модуля поступает непосредственно на вход СИФУ преобразователя. Выбор режима работы сигнализируется соответствующими светодиодами;
- тумблер SA5, который осуществляет выбор направления вращения;
- тумблер SA6 «Разрешение», который управляет подачей управляющих импульсов на тиристоры;
- потенциометр RP1, который обеспечивает уставку задания, в соответствии с положением тумблера SA2, по напряжению якоря или по моменту;
- клеммы $U_{ТП}$, предназначенные для подачи регулируемого выпрямленного напряжения на обмотку якоря двигателя постоянного тока;
- клеммы $U_{ОВ}$, предназначенные для подачи нерегулируемого выпрямленного напряжения на обмотку возбуждения двигателя постоянного тока;
- датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН) предназначенные для коммутации внешних обратных связей с помощью аналоговых регуляторов.

Модуль ТП имеет индикатор, на который выводятся значения его выходного напряжения, тока якоря и возбуждения.

Индикация режима работы преобразователя содержит 4 светодиода («Защита», «Работа», «Мост А» и «Мост В»).

При работе в режиме НМ (нагрузочная машина) преобразователь работает в двух основных режимах (рис. В.2):

- регулирования частоты вращения;
- регулирования момента.

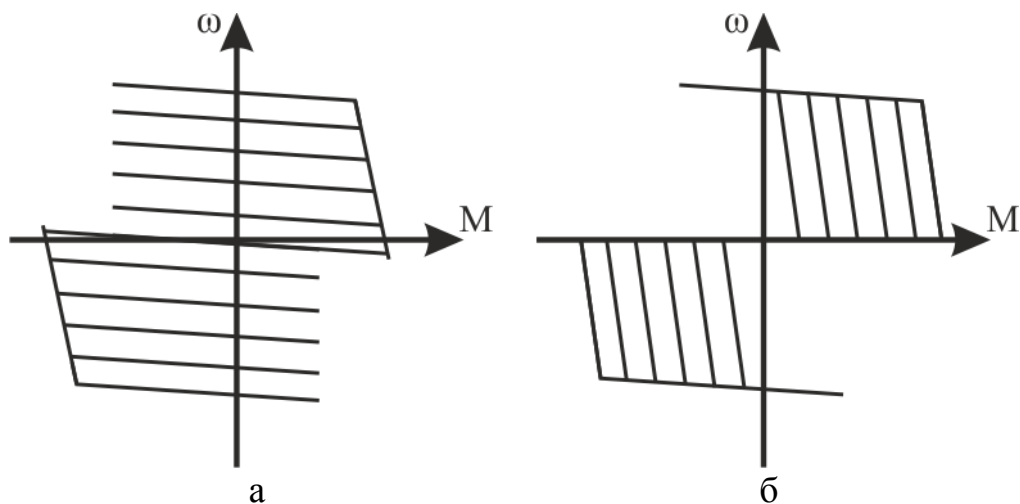


Рисунок В.2 - Механические характеристики ДПТ при работе ТП в режиме НМ:

а – при регулировании задания по скорости;

б – при регулировании задания по моменту.

В режиме регулирования частоты вращения двигатель работает на горизонтальной механической характеристике, а в режиме регулирования момента – на вертикальной.

Режим регулирования частоты вращения:

Для работы преобразователя в режиме регулирования частоты вращения необходимо:

- тумблер *SA2* установить в положение «Скорость»;
- потенциометром *RP1* производить регулирование скорости двигателя.

Режим регулирования момента:

Для работы преобразователя в режиме регулирования момента необходимо:

- тумблер *SA2* установить в положение «Момент»;
- потенциометром *RP1* регулировать момент, развиваемый двигателем.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Структура отчета по лабораторной работе

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Морской институт
Кафедра «Судовое электрооборудование»

Лабораторная работа № 5
Исследование синхронного двигателя

Выполнил	студент ЭОс- 2_-1о	Иванов А. А.
Проверил	преподаватель	Петров В. В.

Севастополь
202_

Исследование синхронного двигателя

Цель работы

Овладение методами асинхронного пуска трехфазного синхронного двигателя (СД) и исследования его рабочих свойств путем снятия и анализа соответствующих опытных характеристик.

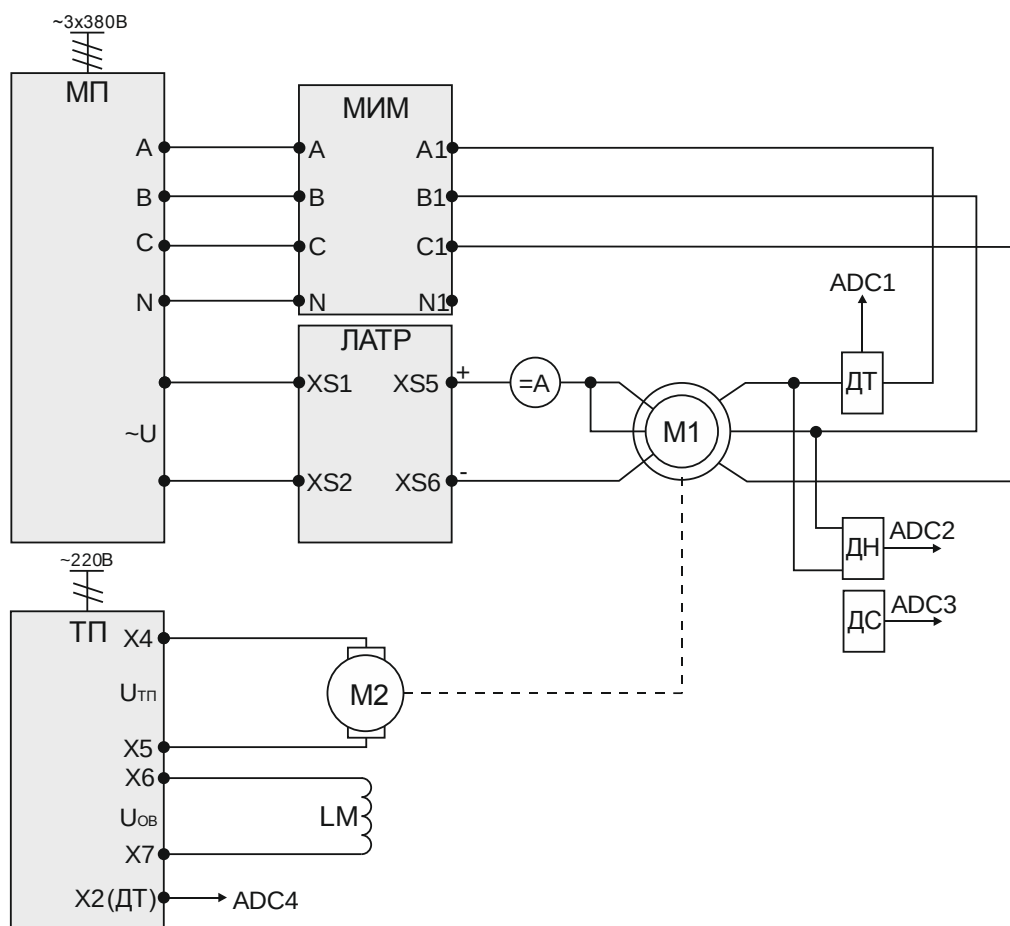


Рис. 5.1 – Схема для исследования синхронного двигателя

5.1 Номинальные данные электрооборудования

5.2 Рабочие характеристики синхронного двигателя

Таблица 5.1

Опытные данные					
n , об/мин					
I_B , А					
I_C , А					
U_C , В					
P_1 , Вт					
$I_{\text{я}}$, А					
$U_{\text{я}}$, В					

Расчетные данные					
ω , 1/с					
$\Delta P_{\text{эл.1}}$, Вт					
$\Delta P_{\text{ст}}$, Вт					
$P_{\text{эм}}$, Вт					
$M_{\text{эм}}$, Н·м					
ΔP_{Σ} , Вт					
$P_{\text{в}}$, Вт					
$M_{\text{в}}$, Н·м					
S_1 , ВА					
$\cos\varphi_1$					
η					

По результатам опыта построены рабочие характеристики синхронного двигателя

5.3 U-образные характеристики

Таблица 5.2

Опытные данные					
n , об/мин					
$I_{\text{в}}$, А					
$I_{\text{с}}$, А					
$U_{\text{с}}$, В					
P_1 , Вт					
$I_{\text{я}}$, А					
$U_{\text{я}}$, В					
Расчетные данные					
ω , 1/с					
$\Delta P_{\text{эл.1}}$, Вт					
$\Delta P_{\text{с}}$, Вт					
$P_{\text{эм}}$, Вт					
$M_{\text{эм}}$, Н·м					
ΔP_{Σ} , Вт					
$P_{\text{в}}$, Вт					
$M_{\text{в}}$, Н·м					
S_1 , ВА					
$\cos\varphi_1$					
η					

По результатам опыта построены U-образные характеристики при холостом ходе и при нагрузке.

Выводы по работе

- 1.
- 2.
- 3.

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Методические указания

Составители: **Высоцкий** Виталий Евгеньевич,
Нагирняк Александр Анатольевич

В авторской редакции

Изд. № 112/2024. Объем 3 п.л. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,94.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»