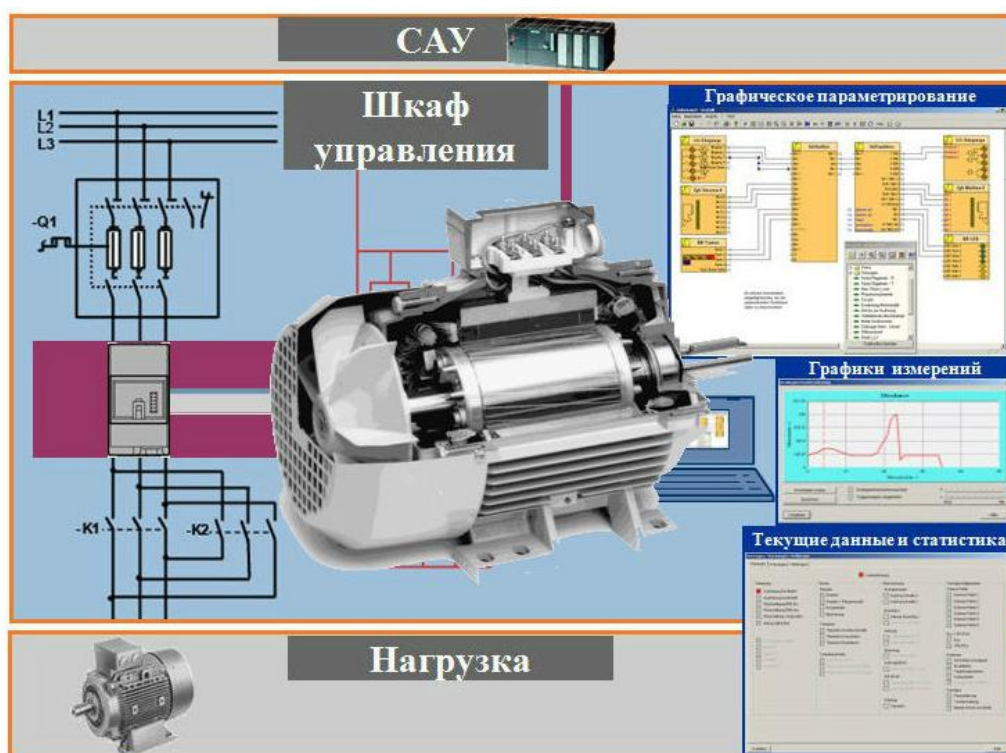


Ярмухаметов У.Р.

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Лабораторный практикум



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Ярмухаметов У.Р.

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Лабораторный практикум

Уфа
Башкирский ГАУ
2016

УДК 621.3(07)
ББК 40.76 Я7
Я 75

Автор:
Ярмухаметов У.Р.

Рецензенты:
к.т.н., доцент кафедры электрификации и автоматизации АПК
ФГБОУ ВО Самарская государственная сельскохозяйственная
академия **Нугманов С.С.**;
к.т.н., доцент кафедры электроснабжения и применения
электрической энергии в сельском хозяйстве **Лукин В.Г.**

Я 75 Электропривод: лабораторный практикум. – Уфа: Башкирский
ГАУ, 2016. – 128 с. – Ил. 71. Табл. 28. Библиогр. назв. 15.

ISBN 978-5-7456-0472-0

Лабораторный практикум предназначен для студентов аграрных
высших учебных заведений, изучающих дисциплину «Электропри-
вод» в рамках подготовки бакалавров по направлениям «Агроинже-
нерия» и «Теплотехника и теплоэнергетика».

Практикум включает в себя 11 лабораторных работ, направлен-
ных на изучение студентами электромеханических свойств электро-
двигателей, механики и динамики, регулирования координат элек-
тропривода, аппаратуры управления и защиты, принципов автомати-
зированного управления электроприводами.

УДК 621.3(07)
ББК 40.76 Я7

ISBN 978-5-7456-0472-0

© Ярмухаметов У.Р., 2016
© Башкирский ГАУ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Правила работы в учебной лаборатории	4
Требования к содержанию и оформлению отчета	6
1 Исследование механических и скоростных характеристик электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением	6
2 Исследование механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором при регулировании частоты вращения изменением сопротивления в цепи ротора	16
3 Регулирование частоты вращения электроприводов с асинхронными двигателями	23
4 Исследование механических характеристик асинхронного двигателя при регулировании частоты вращения изменением частоты тока	32
5 Исследование процесса нагрева электродвигателя и определение его постоянных нагрева и охлаждения	37
6 Изучение аппаратуры и характерных схем управления асинхронными электродвигателями в электроприводе	42
7 Исследование и испытание аппаратуры защиты электродвигателей	52
8 Исследование микропроцессорных устройств LOGO! на 24 В для построения систем дискретного автоматизированного управления электроприводами	61
9 Исследование микропроцессорных устройств LOGO! на 230 В для построения систем дискретного автоматизированного управления электроприводами	77
10 Исследование микропроцессорных устройств SIMOCODE PRO С для защиты асинхронных электродвигателей	85
11 Исследование потерь энергии в асинхронном электроприводе молочного сепаратора в динамических и установившихся режимах	104
Библиографический список	118
Приложение П1	120

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по дисциплине «Электропривод» предназначен для студентов очной и заочной форм обучений и призван способствовать освоению рабочей программы по указанной дисциплине.

Содержание лабораторного практикума направлено на углубленное изучение студентами наиболее важных модулей теоретического курса и включает: требования техники безопасности, цель и программу работы, методику и порядок выполнения работы, требования к содержанию отчета по работе, контрольные вопросы, а также библиографический список.

Перед началом цикла лабораторных работ студенты проходят первичный инструктаж по технике безопасности. Перед началом каждой лабораторной работы студенты проходят текущий инструктаж по технике безопасности непосредственно на рабочем месте.

ПРАВИЛА РАБОТЫ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

К работе в лаборатории допускаются лица:

- имеющие, как минимум, III группу допуска к работе на электроустановках напряжением до 1000 В;
- изучившие правила по технике безопасности при работе в лаборатории кафедры;
- прослушавшие инструктаж преподавателя и расписавшиеся об этом в специальном журнале по технике безопасности.

Правила по технике безопасности

1) Прежде чем приступить к изучению оборудования, аппаратуры, приборов, предназначенных для проведения работы, необходимо убедиться в отсутствии напряжения на лабораторном стенде (панели, щите, рабочем месте): автоматический выключатель главного щита лаборатории должен быть выключен; штепсельные разъемы разомкнуты, автоматические выключатели на рабочем месте также отключены.

2) При работе с машинами, имеющими вращающиеся части, нужно убедиться, надежно ли они защищены – в случае необходимости принять меры по предотвращению несчастных случаев.

3) Схемы собираются при снятом с установки напряжении.

4) При сборке сложных схем необходимо убедиться, что в каждой параллельной цепи включены элементы аппаратов с достаточным сопротивлением, не допускающим токов короткого замыкания или недопустимо больших токов, способных вывести оборудование из строя.

5) Реостаты необходимо подбирать по допустимому току и допустимой величине сопротивления.

6) Присоединение проводов к контактам аппаратов, щитков и приборов должно быть достаточно плотным и надежным и не превышать двух проводов.

7) Включение установки разрешается производить только после проверки преподавателем собранной схемы.

8) Включение и отключение рубильников, переключателей и автоматов должно производиться решительно, но без удара.

9) После того, как установка включена, нельзя присоединять провода в схеме или переставлять оборудование (операции по пересоединению проводов можно производить только при отключенном напряжении и неподвижных машинах).

10) Разбирать схемы можно только после отключения напряжения и полной остановки вращающихся машин.

11) При каждом включении схемы включающий должен предупредить об этом работающих с ним товарищей.

При выполнении лабораторных работ студент должен:

1) Соблюдать правила по технике безопасности.

2) Вычертить принципиальную схему установки и согласовать ее с преподавателем.

3) Собрать схему и убедиться в ее правильности. Включить схему с разрешения преподавателя.

4) Результаты опытов представить преподавателю для утверждения. Экспериментальная часть считается выполненной после утверждения результатов.

5) По окончании работы разобрать схему, привести в порядок рабочее место, сдать оборудование, методические указания, плакаты, приборы.

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) Паспортные данные электрических машин, аппаратов и измерительных приборов, применяемых при выполнении работы.
- 2) Электрические схемы, выполненные с соблюдением положений стандартов.
- 3) Таблицы результатов измерений и расчетов.
- 4) Примеры расчетов в нескольких точках различных характеристик.
- 5) Необходимые характеристики, диаграммы, построенные по результатам опытов и расчетов.
- 6) Описание физической сути процессов, происходящих при пуске, торможении и реверсировании двигателя, при переходе с одной скорости на другую.
- 7) Выводы по проделанной работе.

При защите отчета учитываются: знание цели, физической сущности, методики выполнения работы, использованных машин и оборудования, способность объяснить и проанализировать полученные результаты.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Лабораторная работа № 1

1 Цель работы

1.1 Изучение механических и скоростных характеристик двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

1.2 Освоение методики снятия механических и скоростных характеристик электрической машины.

1.3 Изучение и оценка способов регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

2 Программа работы

2.1 Ознакомиться с электрическими машинами, измерительными приборами и другим электрооборудованием установки, записать их технические данные.

2.2 Рассчитать по паспортным данным испытуемой машины (для двух точек – идеального холостого тока и номинального тока якоря) естественную механическую и скоростную характеристики.

2.3 Собрать электрическую схему лабораторной установки для снятия механических и скоростных характеристик испытуемого двигателя.

2.4 Снять естественную и искусственные механические характеристики $n=f(M)$ машин в двигательном режиме при постоянном напряжении питания $U=const$, постоянном токе возбуждения $I_g=const$ и различных значениях дополнительного сопротивления в цепи якоря.

2.5 Снять механические и скоростные характеристики машины для тормозных (генераторных) режимов: рекуперативное торможение, торможение противовключением, динамическое торможение.

2.6 Представить на графике полученные опытные и расчетные данные и проанализировать их.

3 Краткие теоретические сведения

При сборке электрической схемы следует иметь в виду, что сопротивление пусковых реостатов $R_{\partial 1}$ и $R_{\partial 2}$ электрических машин постоянного тока $M1$ и $M2$ выбирают так, чтобы пусковой ток был больше номинального не более чем в 2...2,5 раза

$$R_{\partial} = \frac{U_n}{(2...2,5)I_n}, \quad (3.1)$$

где I_n - номинальный ток машины постоянного тока, А;

U_n - номинальное напряжение машины постоянного тока, В.

Величина регулировочного сопротивления R_g обычно больше пускового сопротивления в цепи возбуждения и должна быть выбрана из условия

$$R_g \geq (1...1,5)R_{ш}, \quad (3.2)$$

где $R_{ш}$ – сопротивление обмотки возбуждения двигателя постоянного тока, Ом.

Следует иметь в виду, что с целью снижения броска тока в цепи якоря машины постоянного тока с параллельным возбуждением перед пуском необходимо пусковой реостат R_{∂} полностью ввести, а реостат в цепи обмотки возбуждения R_{ϵ} вывести.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется на установке, электрическая схема которой показана на рисунке 4.1.

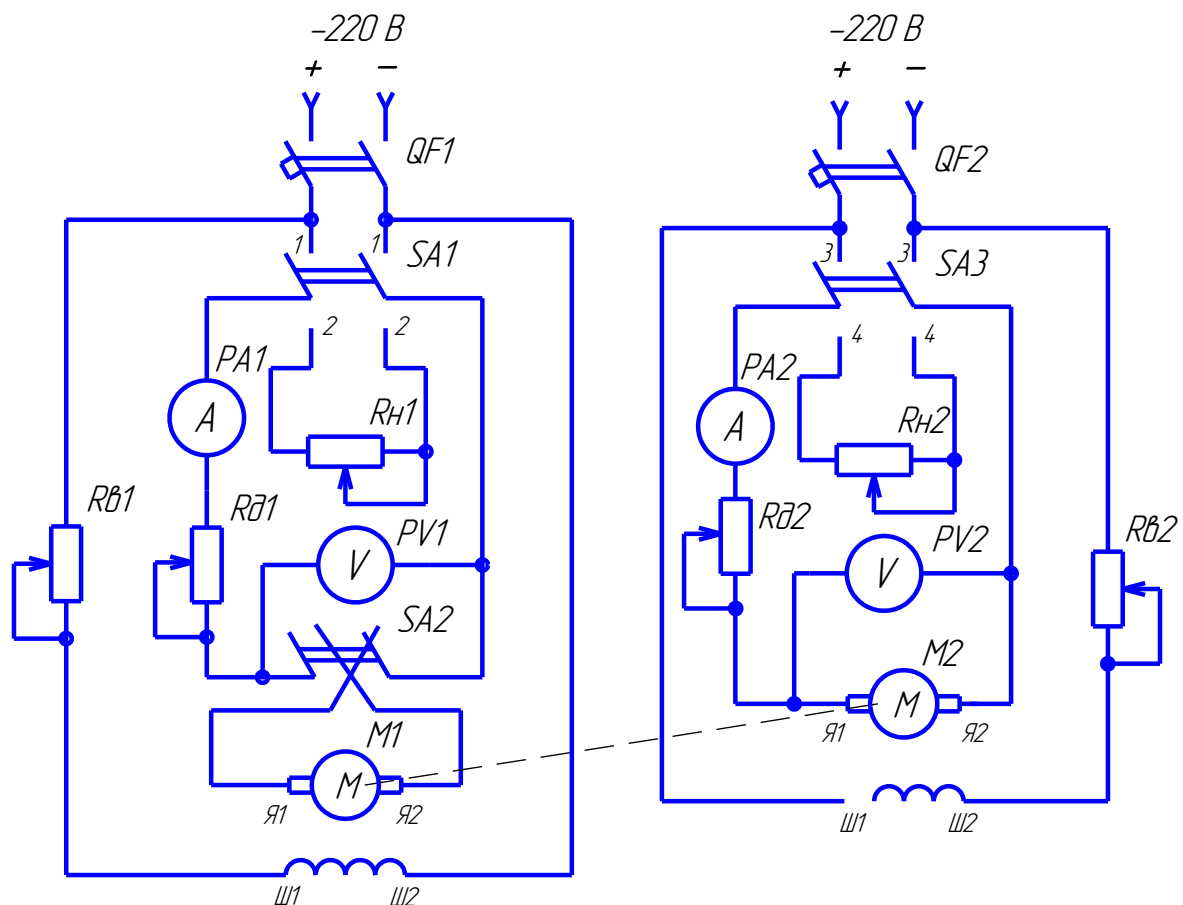


Рисунок 4.1 Электрическая схема лабораторной установки для снятия характеристик двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

Лабораторная установка состоит из автоматических выключателей с комбинированными расцепителями $QF1$ и $QF2$, переключателей $SA1$, $SA2$ и $SA3$, испытуемой $M1$ и нагрузочной $M2$ машин постоянного тока с параллельным возбуждением, реостатов обмотки возбуждения $R_{\epsilon 1}$ и $R_{\epsilon 2}$, пусковых реостатов $R_{\partial 1}$ и $R_{\partial 2}$, нагрузочных реостатов R_{H1} и R_{H2} , амперметров постоянного тока $PA1$ и $PA2$, вольтметров

PV1 и *PV2*. Валы электрических машин *M1* и *M2* жестко соединены между собой муфтой.

Снятие характеристик электрической машины производят в порядке, приведенном ниже.

4.1 Двигательный режим

При снятии характеристик машины *M1* в двигательном режиме нагрузочная машина *M2* работает в режиме генератора с независимым возбуждением. Для этого включают автоматический выключатель *QF1*, переключатель *SA1* устанавливают в положение *1*, а переключатель *SA2* – в положение, соответствующее направлению вращения, совпадающему с направлением вращения механического тахометра. При этом двигатель *M1* работает в режиме, близком к идеальному холостому ходу (рисунок 4.2, квадрант *I*). Затем возбуждают генератор *M2* (включают автоматический выключатель *QF2*, переключатель *SA3* устанавливают в положение *4*).

Механические характеристики следует снять при трех различных сопротивлениях *R_{n2}* цепи якоря *M2* (нагружая двигатель *M1* на 25, 50 и 100%) и трех различных пусковых сопротивлениях *M1*: *R_{д1}* = 0 Ом, *R_{д1}* = 15 Ом и *R_{д1}* = 25 Ом.

Показания приборов заносят в таблицу 4.1.

4.2 Рекуперативное торможение

Генераторное торможение с отдачей энергии в сеть (рекуперативное торможение) имеет место в том случае, когда электрическая машина приводится в движение исполнительным механизмом с частотой вращения, выше частоты вращения идеального холостого хода (*n₀*). При этом обратная ЭДС двигателя будет больше напряжения сети, ток якоря меняет свое направление согласно формуле

$$I_{я} = \frac{U - E}{R_{я} + R_{д}}, \quad (4.1)$$

где *U* - напряжение сети, В;

E – обратная электродвижущая сила, В;

R_я – сопротивление цепи обмотки якоря, Ом;

R_д – сопротивление пускового реостата в цепи обмотки якоря, Ом.

Характеристики рекуперативного торможения являются продолжением характеристик двигательного режима (рисунок 4.2, квадрант IV).

Для снятия механических характеристик машины $M1$ в режиме рекуперативного торможения нагрузочная машина $M2$ должна работать в режиме двигателя, а испытуемая машина $M1$ – в режиме электрического торможения. Для этого якорь машины $M2$ включают в сеть постоянного тока, при этом реостат $R_{\partial 2}$ играет роль пускового и регулировочного сопротивления.

Перед снятием механических характеристик проверяют направления вращения нагрузочной и испытуемой машины. Это достигается кратковременным раздельным включением машин. При согласованном направлении вращения обеих машин установка готова к работе. Если направление вращения встречное, то изменяют полярность приложенного напряжения к якорю или к обмотке возбуждения одной из машин.

Машины запускают при полностью введенном в цепи якорей добавочных сопротивлениях $R_{\partial 1}$ и $R_{\partial 2}$ и номинальном напряжении на обмотках возбуждения. При достижении установившейся скорости сопротивления в якорных цепях выводят. Уменьшая ток в обмотке возбуждения нагрузочной машины $M2$ (работающей как электродвигатель), увеличивают ее скорость. При достижении скорости идеального холостого хода двигателя ток в якорной цепи $M1$ будет равен нулю (амперметр $PA1$ покажет нулевое значение). Дальнейшее увеличение скорости приведет к изменению направления тока в якорной цепи машины $M1$ и электрическая машина будет работать в рекуперативном тормозном режиме, отдавая энергию в сеть. Увеличивая частоту вращения нагрузочной машины, записывают показания приборов для двух-трех точек характеристики при $R_{\partial 1} = 0 \text{ Ом}$, $R_{\partial 1} = 15 \text{ Ом}$ и $R_{\partial 1} = 25 \text{ Ом}$.

4.3 Режим торможения противовключением

4.3.1 Торможение противовключением – тормозной спуск

Торможение противовключением можно получить по той же схеме, что и рекуперативное торможение (при условии встречного направления вращения испытуемой и нагрузочной машины). Вначале запускают испытуемый двигатель $M1$, затем нагрузочную машину

M2. Путем постепенного увеличения момента нагрузочной машины (выведением сопротивления $R\partial_2$) добиваются полной остановки двигателей, а затем принудительно изменяют направление вращения испытуемого двигателя *M1* в сторону, противоположную направлению момента двигателя. При этом машина *M1* будет работать в режиме тормозного спуска, а нагрузочная машина *M2* – в двигательном режиме. Сопротивление в цепи якоря *M1* при проведении опыта должно быть максимальным ($R\partial_1 \approx 8 R_{я}$). При проведении опыта допускается увеличение тока якоря до $1,5 \cdot I_n$. Записывают показания приборов для 3...4 точек механической характеристики.

4.3.2 Торможение противовключением – изменением полярности подводимого к якорю напряжения

При данном виде торможения машина *M1*, работающая до переключения в двигательном режиме с частотой вращения, соответствующей точке «а» (рисунок 4.2, квадрант I) переходит в точку «в» (рисунок 4.2, квадрант IV). Наблюдаемое постепенное снижение частоты вращения обуславливается инерцией. Если в момент остановки электрическую машину не отключить от сети, то она перейдет в двигательный режим с обратным направлением вращения. Торможение осуществляется переключением полярности напряжения, подводимого к цепи якоря *M1* переключателем SA2.

4.4 Режим динамического торможения

Динамическое торможение для двигателей постоянного тока можно получить, если обмотку якоря испытуемого двигателя *M1* замкнуть на тормозное сопротивление $R_{н1}$, а обмотку возбуждения питать от источника постоянного тока. Якорь двигателя *M1* вращается нагрузочной машиной *M2*, работающей в двигательном режиме. При этом испытуемая машина *M1* будет работать в режиме генератора, создавая тормозной момент. Величину тормозного сопротивления $R_{н1}$ подбирают так, чтобы при номинальной скорости вращения якоря *M1* ток в ее якоре был в пределах номинального.

Величину тормозного сопротивления можно вычислить по формуле

$$R_{н1} = \frac{E}{I_m} - R_{я}, \quad (4.2)$$

где I_m - величина тока при торможении, А.

Таблица 4.1 Результаты опытов по снятию механических и скоростных характеристик

№ п/п	Опытные данные					Расчетные данные							
	Испытуемый двигатель			Нагрузочная машина		Потери в машине						Данные на валу двигателя	
	$U_{я\partial}$	$I_{я\partial}$	n	$U_{ям}$	$I_{ям}$	P_m	ΔP_m	$\Delta P_{щ}$	$\Delta P_{до\ б}$	ΔP_{xx}	$\Sigma \Delta P$	$P_{в\partial}$	$M_{в\partial}$
	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>мин₁</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>Bm</i>	<i>Bm</i>	<i>Bm</i>	<i>Bm</i>	<i>Bm</i>	<i>Bm</i>	<i>Bm</i>	<i>H·м</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Двигательный режим ($R\partial_1 = 0 \text{ Ом}$)</i>													
25%													
50%													
100%													
<i>Двигательный режим ($R\partial_1 = 15 \text{ Ом}$)</i>													
25%													
50%													
100%													
<i>Двигательный режим ($R\partial_1 = 25 \text{ Ом}$)</i>													
25%													
50%													
100%													
<i>Рекуперативное торможение ($R\partial_1 = 0 \text{ Ом}$)</i>													
1													
2													
<i>Рекуперативное торможение ($R\partial_1 = 15 \text{ Ом}$)</i>													
1													
2													
3													
<i>Рекуперативное торможение ($R\partial_1 = 25 \text{ Ом}$)</i>													
1													
2													
3													

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Торможение противовключением – тормозной спуск</i>													
1													
2													
3													
<i>Динамическое торможение</i>													
1													
2													
3													

В таблице 4.1 приняты следующие обозначения:

n - частота вращения вала испытуемой машины, мин^{-1} ;

$I_{я\partial}$ - ток якоря испытуемой машины постоянного тока в двигательном режиме, A ;

$I_{ям}$ - ток якоря нагрузочной машины постоянного тока, A ;

$U_{я}$ - напряжение на якоре, B ;

$P_{м}$ - мощность, потребляемая или отдаваемая машиной, Bm ;

$\Delta P_{м}$ - тепловые потери в якоре, Bm ;

$\Delta P_{щ}$ - потери мощности в щеточном контакте, Bm ;

$\Delta P_{доб}$ - добавочные потери, Bm ;

$\Delta P_{хх}$ - потери идеального холостого хода нагрузочной машины, Bm ;

$\Sigma \Delta P$ - сумма потерь нагрузочной машины (сумма тепловых потерь в якоре машины, потерь мощности в щеточном контакте, добавочных потерь и потерь идеального холостого хода машины), Bm ;

$P_{в\partial}$ - мощность на валу испытуемой машины, Bm ;

$M_{в\partial}$ - момент на валу испытуемой машины, $H \cdot m$.

Мощность, потребляемая или отдаваемая машиной, находится по формуле:

$$P_{м} = I_{я\partial} \cdot U_{я\partial} . \quad (4.3)$$

Тепловые потери в якоре машины равны

$$\Delta P_{м} = I_{я\partial}^2 \cdot R_{я\partial} , \quad (4.4)$$

где $R_{ям}$ - сопротивление якоря машины постоянного тока, Om .

Сопротивление якоря машины постоянного тока находится по формуле:

$$R_{я\partial} = 0,5(1 - \eta_n) \cdot R_n , \quad (4.5)$$

где η_n - коэффициент полезного действия;

$R_n = U_n / I_n$ - номинальное сопротивление машины, Ом.

Потери мощности в щеточном контакте машины равны

$$\Delta P_{щ} = \Delta U \cdot I_{я\partial}, \quad (4.6)$$

где ΔU - потери напряжения в щеточном контакте (при графитовых щетках $\Delta U = 1B$, при медноугольных щетках $\Delta U = 0,3B$), В.

Добавочные потери находятся по формуле:

$$\Delta P_{доб} = 0,01 \cdot P_m. \quad (4.7)$$

Потери идеального холостого хода нагрузочной машины равны

$$\Delta P_{xx} = U_n \cdot I_o, \quad (4.8)$$

где I_o - ток холостого хода машины, который определяется по показанию амперметра, когда нагрузочная машина работает в режиме двигателя, а испытуемая машина отключена от сети, А.

Мощность, потребляемая испытуемым двигателем из сети, равна

$$P_{с.д} = U_c \cdot I_{я\partial}. \quad (4.9)$$

Мощность на валу двигателя находится по формуле:

$$P_{в.д} = P_m \pm \Sigma \Delta P. \quad (4.10)$$

Если исследуемая машина работает в генераторном режиме, а нагрузочная - в двигательном режиме, то для определения мощности на валу двигателя к мощности P_m прибавляют суммарные потери $\Sigma \Delta P$ и наоборот, если исследуемая машина работает в двигательном режиме, а нагрузочная - в режиме торможения, потери в машине необходимо вычитать из мощности, потребляемой из сети.

Момент на валу двигателя равен

$$M_{в.д} = 9,55 \cdot P_{в.д} / n. \quad (4.11)$$

Частота вращения идеального холостого хода двигателя равна

$$n_0 = \frac{U_n}{U_n - I_{я\partial} \cdot R_{я}} \cdot n_n. \quad (4.12)$$

Исходя из сказанного выше, мощность на валу машины в двигательном режиме и при торможении противовключением (тормозной спуск) определяют по формуле:

$$P_{в.м.} = P_m - \Delta P_m - \Delta P_{щ} - \Delta P_{доб} - \Delta P_{xx}. \quad (4.13)$$

Мощность на валу машины в режиме генераторного торможения определяют по формуле:

$$P_{в.м.} = P_m + \Delta P_m + \Delta P_{щ} + \Delta P_{доб} + \Delta P_{xx}. \quad (4.14)$$

Мощность на валу машины в режиме динамического торможения определяют по формуле:

$$P_{в.м.} = I_{я\partial}^2 \cdot (R_{я\partial} + R_n), \quad (4.15)$$

где R_n - добавочное сопротивление в цепи якоря машины постоянного тока при торможении, Ом.

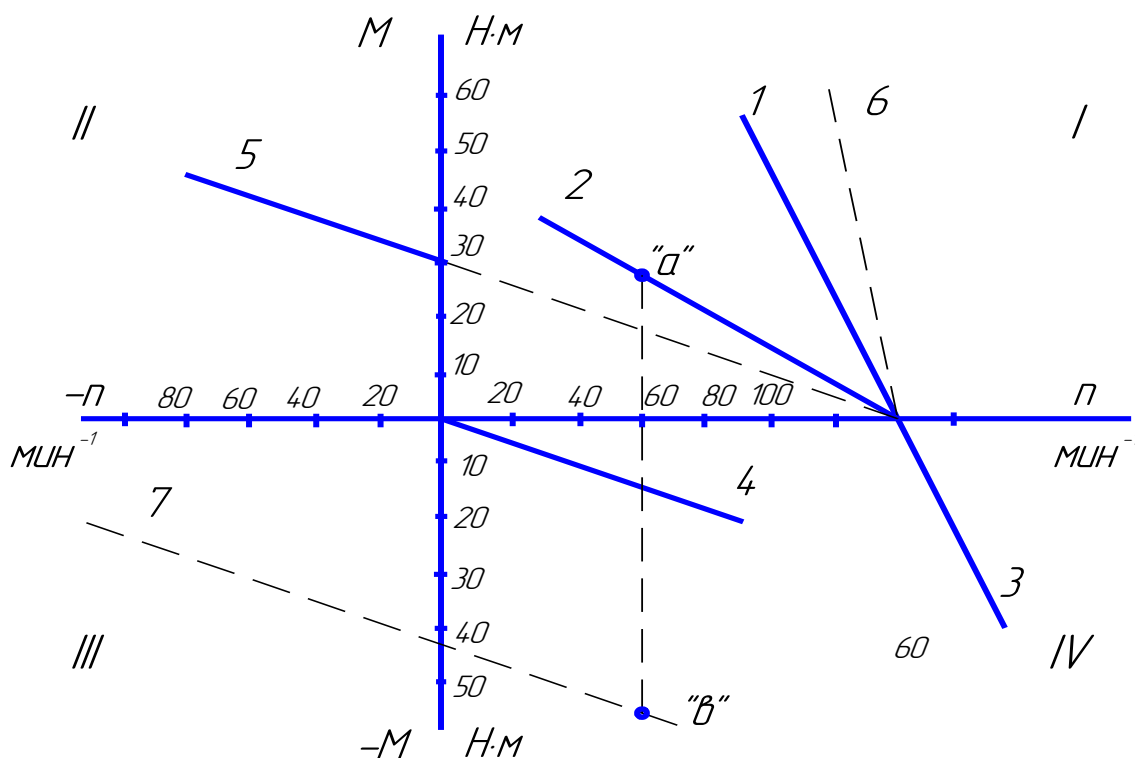


Рисунок 4.2 Механические характеристики двигателя с параллельным возбуждением в различных режимах работы: 1 - естественная для двигательного режима; 2 - искусственная для двигательного режима при введенном сопротивлении в цепи якоря; 3 - естественная при рекуперативном торможении; 4 - искусственная для динамического торможения; 5 – искусственная при торможении противовключением – тормозной спуск; 6 - естественная по каталожным данным; 7 – искусственная при торможении противовключением - изменением полярности напряжения цепи якоря.

Механические характеристики для двигательных и тормозных режимов рекомендуется строить в четырех квадрантах системы координат (рисунок 4.2). Опытные точки на графике наносить четко и для различных характеристик условными знаками.

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;

- расчёты и результаты измерений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Назначение отдельных элементов электрической схемы лабораторной установки.

6.2 Каким должно быть положение реостатов в цепи якоря и обмотке возбуждения двигателя постоянного тока при его пуске?

6.3 Каким должно быть положение реостатов в цепи якоря и обмотке возбуждения двигателя постоянного тока при его номинальном режиме работы?

6.4 В чем особенности рекуперативного торможения?

6.5 В чем особенности торможения противовключением?

6.6 В чем особенности динамического торможения?

6.7 Как осуществляются различные виды торможения в лабораторной установке и для привода каких рабочих машин они могут быть применены?

6.8 Какие составляющие необходимо учитывать при определении мощности на валу машины постоянного тока с параллельным возбуждением в различных тормозных режимах?

6.9 Особенности механических характеристик двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

6.10 Как можно регулировать частоту вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением?

2 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЦЕПИ РОТОРА

Лабораторная работа № 2

1 Цель работы

Изучение механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором при изменении активного сопротивления в цепи ротора.

2 Программа работы

2.1 Ознакомиться с оборудованием лабораторной установки и записать их паспортные данные.

2.2 Собрать схему лабораторной установки для снятия механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором при изменении активного сопротивления в цепи ротора.

2.3 Снять естественную и искусственные механические характеристики $n=f(M)$ асинхронного двигателя с фазным ротором.

2.4 Представить на графике полученные опытные данные и проанализировать их.

3 Краткие теоретические сведения

Регулирование скорости, тока и момента с помощью сопротивлений в цепи ротора - это один из распространенных способов регулирования координат асинхронного двигателя с фазным ротором.

Достоинством данного способа регулирования является простота реализации, что определило его широкое применение в ряде электроприводов.

Для искусственных механических характеристик при данном способе регулирования характерно следующее:

- частота вращения идеального холостого хода АД n_0 при изменении величины сопротивления не изменяется;
- максимальный (критический) момент двигателя $M_{кр}$ также остается неизменным;
- критическое скольжение $s_{кр}$ увеличивается при увеличении сопротивления в цепи ротора;
- диапазон регулирования скорости небольшой (около 2...3), что определяется снижением жесткости характеристик и ростом потерь по мере увеличения диапазона регулирования скорости;
- плавность регулирования небольшая и определяется плавностью изменения дополнительного сопротивления в цепи ротора;
- скорость АД изменяется только вниз от основной механической характеристики.
- экономичность способа определяется стоимостью используемых средств регулирования и расходами при эксплуатации электропривода.

Затраты, связанные с созданием данной системы электропривода, невелики, так как для регулирования обычно используются простые и дешевые магазины металлических резисторов. В то же время при эксплуатации этой системы затраты значительны, поскольку велики потери энергии.

Схема для реализации этого способа регулирования приведена на рисунке 3.1.

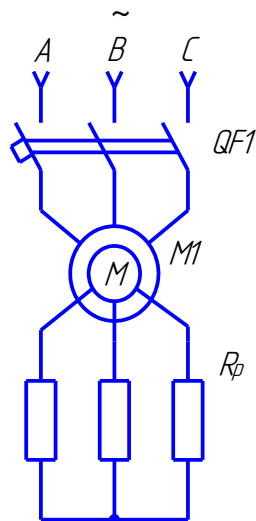


Рисунок 3.1 Схема регулирования координат АД с фазным ротором введением в цепь ротора активного сопротивления

Электрические потери в роторной цепи ΔP_2 , называемые потерями скольжения, возрастают с ростом самого скольжения s . Поэтому реализация большого диапазона регулирования скорости приводит к значительным потерям энергии и снижению $KПД$ электропривода.

Регулирование скорости этим способом применяется в тех случаях, когда требуется небольшой диапазон регулирования скорости и работа на пониженных скоростях непродолжительна. Например, этот способ нашел широкое применение в электроприводе ряда подъемно-транспортных машин и механизмов.

Пусковой ток АД уменьшается по мере увеличения добавочных сопротивлений, что позволяет с помощью введения добавочных резисторов осуществлять его ограничение.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

Лабораторная установка, представленная на рисунке 4.1, состоит из автоматических выключателей с комбинированными расцепи-

телями $QF1$ и $QF2$, испытуемого асинхронного двигателя с фазным ротором $M1$, нагрузочной машины постоянного тока независимого возбуждения $G1$, тахогенератора $TG1$, реостата обмотки возбуждения $Rb1$, нагрузочного реостата $Rн1$, комплекта регулировочных сопротивлений $Rд$, амперметров $PA1$ и $PA2$, вольтметра $PV1$. Валы электрических машин $M1$ и $M2$ жестко соединены между собой через муфту.

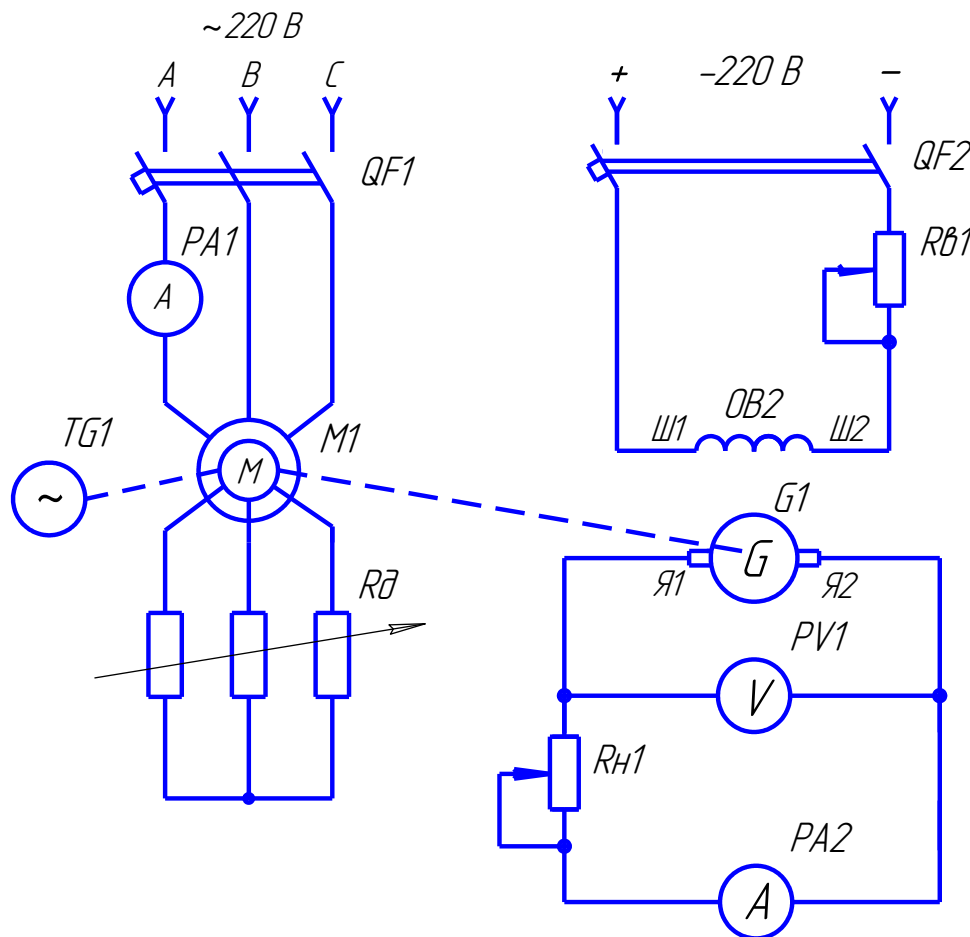


Рисунок 4.1 Схема лабораторной установки для снятия механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором

4.1 Порядок выполнения работы

Для выполнения лабораторной работы необходимо проделать следующее:

4.1.1 Собрать схему лабораторной установки и произвести пробный пуск. При пуске в цепи ротора сопротивление $Rд$ должно быть максимальным, которое затем выводится.

4.1.2 Проверить работоспособность механической нагрузки двигателя $M1$. В качестве механической нагрузки применяется генератор постоянного тока с независимым возбуждением $G1$.

4.1.3 Произвести снятие естественной ($R_d=0$ Ом) и двух-трех искусственных механических характеристик двигателя $n=f(M)$ при постоянном фазном напряжении и различных значениях сопротивления в цепи ротора асинхронного двигателя.

4.1.4 Определить точку установившейся частоты вращения при совместной работе данного двигателя и исполнительного механизма с вентиляторной характеристикой.

4.1.5 По механическим характеристикам двигателя и исполнительного механизма определить диапазон регулирования при данном комплекте сопротивлений и моменте нагрузки.

4.2 Методика выполнения работы

Величины сопротивлений в цепи ротора R_d изменяются путем переключения положения рукоятки специального трехфазного проволочного реостата.

Для каждого значения сопротивления в цепи ротора снимают измерения, которые заносят в таблицу 4.1. Значение каждой ступени добавочных сопротивлений проволочного реостата в цепи ротора R_d замеряются с помощью омметра.

Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 Результаты измерений и вычислений

N_0 n/n	$U_{cm},$ B	$I_{cm},$ A	$n,$ $мин^{-1}$	$R_d,$ $Ом$	$U_z,$ B	$I_z,$ A	$P_z,$ Bm	$P_o,$ Bm	$P_{ad},$ Bm	$M,$ $H \cdot m$
1										
2										
...										
n										

В таблице 4.1 величинами, которые необходимо записать по показаниям приборов, являются:

U_{cm} - напряжение на статоре асинхронного двигателя с фазным ротором $M1$, равное напряжению сети переменного тока, B ;

I_{cm} - ток в статоре асинхронного двигателя с фазным ротором $M1$, A ;

n - частота вращения ротора двигателя MI , мин^{-1} ;

R_{∂} - величина добавочного сопротивления в обмотке фазного ротора, Ом ;

U_z - напряжение на якоре генератора постоянного тока, В ;

I_z - ток в цепи якоря генератора постоянного тока, А .

Величинами, которые необходимо вычислить, являются:

P_z - мощность, отдаваемая генератором, Вт ;

$P_{a\partial}$ - мощность на валу асинхронного двигателя, Вт ;

P_o - мощность потерь при холостом ходе генератора, Вт .

M - вращающий момент двигателя, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

Мощности генератора и асинхронного двигателя вычисляют по следующим формулам:

$$\begin{aligned} P_z &= U_z \cdot I_z, \\ P_{a\partial} &= P_z + P_o + I_z^2 \cdot R_{яг}, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где $R_{яг}$ - сопротивление обмотки якоря генератора (измеряется при помощи омметра);

P_o - потери в генераторе постоянного тока, определяемые по зависимости $P_o=f(n)$ для данного генератора, приведенные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Зависимость частоты вращения от потерь нагрузочного генератора

n	об/мин	990	1250	1380	1420	1440
P_o	Вт	200	260	280	290	293

Момент на валу асинхронного двигателя определяется выражением

$$M = 9,55 \frac{P_{a\partial}}{n}. \quad (4.2)$$

Зависимость момента сопротивления исполнительного механизма с вентиляторной характеристикой от частоты вращения находится по формуле

$$M_c = a \cdot n^2 \cdot 10^{-5}, \quad (4.3)$$

где a – коэффициент, приведенный в таблице 4.3.

Таблица 4.3 Варианты значений коэффициента «а»

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- расчёты и результаты измерений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 В чем особенности механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором при введении в цепь ротора активного сопротивления?

6.2 Приведите достоинства и недостатки рассмотренного способа регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с фазным ротором.

6.3 Как влияет возрастание величины добавочного сопротивления в фазном роторе на частоту вращения асинхронного двигателя?

6.4 Что выступает в качестве нагрузки для асинхронного двигателя в данной работе?

6.5 С помощью какого устройства изменяется сопротивление в фазном роторе асинхронного двигателя в данной работе?

6.6 Оцените плавность и экономичность данного способа регулирования.

6.7 Какой вид имеет механическая характеристика асинхронного двигателя с фазным ротором?

6.8 Как влияет величина скольжения на потери в роторной цепи асинхронного двигателя с фазным ротором?

6.9 Приведите примеры использования электропривода с асинхронным двигателем с фазным ротором в АПК.

3 РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Лабораторная работа № 3

1 Цель работы

Изучение основных способов регулирования частоты вращения трехфазных асинхронных электродвигателей.

2 Программа работы

2.1 Ознакомиться с оборудованием лабораторного стенда и записать их паспортные данные.

2.2 Собрать поочередно схемы для регулирования частоты вращения асинхронных двигателей изменением числа пар полюсов p в статоре, введением в цепь ротора активного сопротивления R_l , изменением частоты тока f и питающего напряжения U .

2.3 Выполнить регулирование частоты вращения n , указанными в пункте 2.2 способами, снять зависимости $n = f(p)$, $n = f(R_l)$, $n = f(f)$ и $n = f(U)$.

2.4 Построить графики расчетных и опытных характеристик, выполнить сравнительный анализ способов регулирования частоты вращения электродвигателей.

3 Краткие теоретические сведения

Построение механических характеристик трехфазного асинхронного двигателя по паспортным (каталожным) данным производят по пяти точкам при данном числе пар полюсов в следующей последовательности:

- синхронная угловая скорость (первая точка)

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}; \quad (3.1)$$
$$M_{\partial \partial} = 0,$$

где f – частота тока сети, Гц;

p – число пар полюсов;

- номинальные момент, угловая скорость и скольжение (вторая точка)

$$\begin{aligned}
M_n &= \frac{P_n}{\omega_n}; \\
\omega_n &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60}; \\
s_n &= \frac{\omega_o - \omega_n}{\omega_o},
\end{aligned}
\tag{3.2}$$

где P_n – номинальная мощность, *Вт*;
 n_n – номинальная частота вращения, *мин⁻¹*;
 ω_n – номинальная угловая скорость, *рад/с*;

- максимальные момент, угловая скорость и скольжение (третья точка)

$$\begin{aligned}
M_{кр} &= M_{кр}^* \cdot M_n; \\
\omega_{кр} &= \omega_0 \cdot (1 - s_{кр}); \\
s_{кр} &= s_n \left(M_{кр}^* + \sqrt{(M_{кр}^*)^2 - 1} \right),
\end{aligned}
\tag{3.3}$$

где M_n – номинальный момент, *Н·м*;
 $M_{кр}^*$ – кратность максимального момента двигателя;
 s_n – номинальное скольжение;

- минимальные момент, угловая скорость и скольжение (четвертая точка)

$$\begin{aligned}
M_{\min} &= M_{\min}^* \cdot M_n; \\
\omega_{\min} &= \omega_0 \cdot (1 - s_{\min}); \\
s_{\min} &= 0,85,
\end{aligned}
\tag{3.4}$$

где M_{\min}^* – кратность минимального момента;

- пусковой момент (пятая точка)

$$\begin{aligned}
M_{пуск} &= M_{пуск}^* \cdot M_n; \\
\omega &= 0; \\
s_{пуск} &= 1,
\end{aligned}
\tag{3.5}$$

где $M_{пуск}^*$ – кратность пускового момента.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

4.1 Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором изменением числа пар полюсов статора

Изменение числа пар полюсов для регулирования частоты вращения производят на отключенном от сети двигателе посредством переключения выводов обмоток по схеме, представленной на рисунке 4.1.

Для каждой схемы включения асинхронного двигателя при помощи ручного тахометра на холостом ходу измеряется частота вращения ротора, фиксируются показания измерительных приборов. Результаты измерений заносятся в таблицу 4.1.

Синхронная частота вращения магнитного поля определяется по формуле

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

Таблица 4.1. Зависимость частоты вращения ротора от числа пар полюсов статора

Число пар полюсов	$p = 4$	$p = 2$
Частота вращения ротора, об/мин		
Синхронная частота вращения магнитного поля, об/мин		
Напряжение сети, В		

У исследуемого двигателя по паспортным данным рассчитать механические характеристики для числа пар полюсов, равным двум и четырем. По результатам расчетов построить естественные механические характеристики асинхронного двигателя.

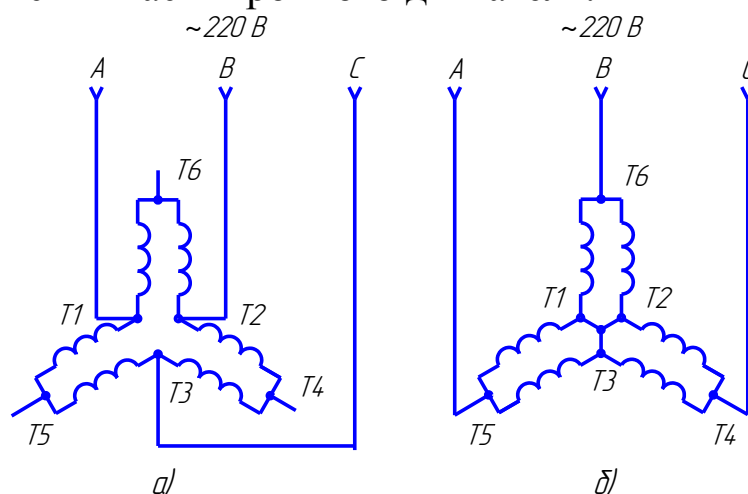


Рисунок 4.1 Схемы включения обмоток многоскоростного асинхронного двигателя на различное число пар полюсов: *а* – четыре пары полюсов (треугольник); *б* – две пары полюсов (двойная звезда)

4.2 Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением активного сопротивления в цепи фазного ротора

Для проведения эксперимента по регулированию частоты вращения изменением сопротивления в цепи ротора собирают электрическую схему, представленную на рисунке 4.2.

Лабораторная установка состоит из автоматического выключателя с комбинированным расцепителем *QF1*, испытуемого трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором *M1*, трехфазного реостата R_p .

Опыты проводят для пяти различных сопротивлений реостата в цепи фазного ротора (от $R_p = \max$ до $R_p = 0$). Сопротивление реостата измеряется омметром. При помощи ручного тахометра фиксируют изменение частоты вращения ротора двигателя на холостом ходу. Результаты опытов заносят в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 Зависимость частоты вращения ротора асинхронного двигателя от сопротивления (R_p) в цепи ротора

Сопротивление реостата R_p, Ом					
Частота вращения n, об/мин					

По результатам полученных данных построить зависимость $n = f(R_p)$.

Возможность регулирования частоты вращения данным способом вытекает из соотношений

$$M_{BP} = \frac{C \cdot U^2 \cdot r_2 \cdot s}{r_2^2 + (X \cdot s)^2}; \quad (4.2)$$

$$s = (n_o - n_p) / n_o,$$

где C – постоянный коэффициент;

r_2 – активное сопротивление цепи ротора двигателя, Ом;

X – индуктивное сопротивление, Ом;

U – напряжение питания, В;

s – скольжение.

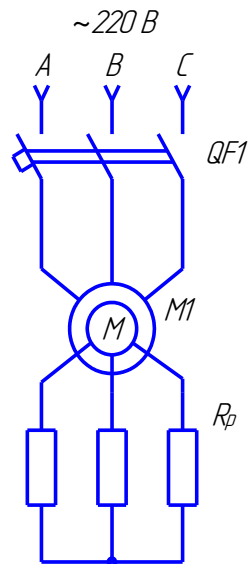


Рисунок 4.2 Схема для регулирования частоты вращения двигателя введением в цепь ротора активного сопротивления

Для исследуемого двигателя рассчитать и построить механические характеристики рабочего участка ($0 \leq \omega \leq \omega_{кр}$) для двух значений сопротивления ротора, при этом следует иметь в виду, что максимальный момент не зависит от сопротивления в цепи ротора, при увеличении этого сопротивления увеличивается скольжение при данном моменте по зависимости

$$s_u = \frac{R_2 + R_{don}}{R_2} \cdot s_n, \quad (4.3)$$

где s_u и s_n - соответственно искусственное и номинальное скольжение при номинальном моменте;

R_2 - сопротивление ротора, принимаемое равным 0,25 Ом;

R_{don} - дополнительное сопротивление в цепи ротора, Ом.

4.3 Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением напряжения, подводимого к статору

Для регулирования частоты вращения изменением напряжения источника питания собирается схема, приведенная на рисунке 4.3. Регулирование частоты вращения данным способом возможно, исходя из соотношения 4.2.

Лабораторная установка состоит из автоматического выключателя с комбинированным расцепителем $QF1$, испытуемого трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором MI , трехфазного автотрансформатора $TV1$, вольтметра $PV1$.

В качестве регулятора напряжения применяется трехфазный автотрансформатор $TV1$. Выводы обмоток $TV1$ подключаются к источнику питания и нагрузке согласно схеме, приведенной в паспорте автотрансформатора.

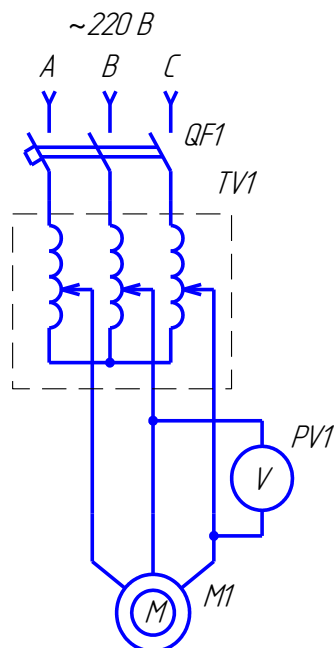


Рисунок 4.3 Схема установки для регулирования частоты вращения двигателя изменением напряжения на статоре

При каждом значении напряжения тахометром измеряется частота вращения ротора. Результаты замеров заносят в таблицу 4.3.

Таблица 4.3. Зависимость частоты вращения асинхронного двигателя от напряжения питания

$U, В$	60	90	120	150	180	220
$n, об/мин$						
$n_0, об/мин$						

Для исследуемого двигателя $M1$ построить зависимость $n=f(U)$ и расчетные механические характеристики для двух произвольно взятых значений напряжения U источника питания.

4.4 Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением частоты тока

Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя изменением частоты тока источника питания проводится на лабораторной установке, схема которой приведена на рисунке 4.4.

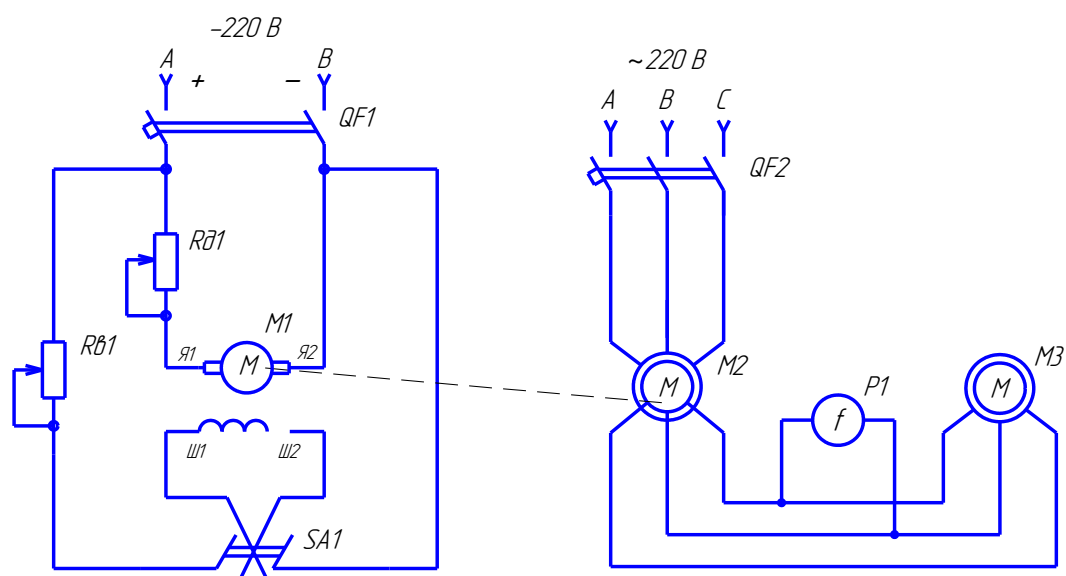


Рисунок 4.4 Схема установки для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя изменением частоты тока

Лабораторная установка состоит из автоматических выключателей с комбинированными расцепителями $QF1$ и $QF2$, приводного электродвигателя постоянного тока $M1$, переключателя $SA1$, служащего для изменения направления вращения двигателя постоянного тока, реостатов обмотки возбуждения $R\beta1$, пускового реостата $R\delta1$, трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором $M2$, служащего в качестве преобразователя частоты, и испытуемого двигателя $M3$, частотомера $P1$.

Работа установки осуществляется следующим образом. При включении автоматического выключателя QF_2 напряжение сети подается к статору асинхронного электродвигателя с фазным ротором $M2$ и возбуждает в нем вращающееся магнитное поле, которое, пересекая витки обмотки ротора, наводит в нем ЭДС. Фазный ротор двигателя $M2$ принудительно вращается двигателем постоянного тока $M1$.

Регулирование частоты вращения асинхронного электродвигателя $M3$ в зависимости от частоты тока происходит на основании следующих зависимостей

$$\begin{aligned} n &= \frac{60 \cdot f_p}{p}; \\ f_p &= s \cdot f_c; \\ s_2 &= (n_o - n_p) / n_o, \end{aligned} \quad (4.4)$$

где n – частота вращения испытуемого асинхронного двигателя $M3$, мин^{-1} ;

f_p – частота тока, наводимая в фазном роторе асинхронного электродвигателя с фазным ротором $M2$ или в статоре асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором $M3$, Гц;

p – число пар полюсов испытуемого асинхронного двигателя $M3$, равное 2;

f_c – частота тока сети, равная 50 Гц;

s_2 – скольжение асинхронного двигателя с фазным ротором $M2$;

n_o – синхронная частота вращения, равная для двигателя $M2$ 1500 мин⁻¹;

n_p – частота вращения ротора асинхронного двигателя, мин⁻¹.

При неподвижном фазном роторе $M2$ частота тока в нем f_p , наводимая ЭДС, равна 50 Гц (скольжение s двигателя $M2$ равно 1) и частота вращения электродвигателя $M3$ равна 1500 мин⁻¹.

При вращении двигателем постоянного тока $M1$ фазного ротора $M2$ с частотой вращения от 0 до 1500 мин⁻¹ в направлении вращения магнитного поля статора $M2$, частота тока в фазном роторе f_p , наводимая ЭДС, изменяется от 50 до 0 Гц (скольжение s двигателя $M2$ изменяется от 1 до 0) и частота вращения электродвигателя $M3$ изменяется от 1500 до 0 мин⁻¹.

При вращении двигателем постоянного тока $M1$ фазного ротора $M2$ с частотой вращения от 0 до 1500 мин⁻¹ навстречу магнитному полю статора двигателя $M2$, частота тока в фазном роторе f_p , наводимая ЭДС, изменяется от 50 до 100 Гц (скольжение s изменяется от 1 до 2) и частота вращения электродвигателя $M3$ изменяется от 1500 до 3000 мин⁻¹.

Изменение направления вращения ротора асинхронного двигателя с фазным ротором $M2$ осуществляется переключением полярности обмотки возбуждения двигателя постоянного тока $M1$ посредством ключа $SA1$.

Частота тока в цепи ротора двигателя $M2$ определяется с помощью электронного частотомера.

Результаты замеров частоты тока и частоты вращения ротора асинхронного двигателя $M3$ заносят в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 Зависимость частоты вращения асинхронного двигателя от изменения частоты напряжения питания

$f, \text{Гц}$	40	50	60	70	80	90	100
$n, \text{мин}^{-1}$							

По полученным замерам построить зависимость $n=f(f)$ и расчетные механические характеристики исследуемого двигателя для двух произвольно взятых значений частоты тока f источника питания.

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- расчёты и результаты измерений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Почему изменяется частота вращения ротора асинхронного двигателя при изменении числа пар полюсов в обмотке статора?

6.2 Каким образом возможно изменять число пар полюсов многоскоростного асинхронного двигателя?

6.3 Почему изменяется частота вращения ротора асинхронного двигателя при изменении напряжения источника питания?

6.4 Почему изменяется частота вращения ротора асинхронного двигателя с фазным ротором при изменении сопротивления в цепи ротора?

6.5 Почему изменяется частота вращения ротора асинхронного двигателя при изменении частоты тока источника питания?

6.6 Укажите достоинства и недостатки изученных способов регулирования частоты вращения ротора асинхронного двигателя, обратив внимание на изменение жесткости механической характеристики и перегрузочную способность двигателя.

6.7 Поясните характер изменения механических характеристик для различных способов регулирования частоты вращения.

6.8 Где на производстве возможно применять изученные способы регулирования вращения ротора асинхронного двигателя?

6.9 Каким образом величина скольжения асинхронного двигателя с фазным ротором влияет на частоту тока в роторе?

6.10 Применяются ли другие способы регулирования частоты вращения и какие?

4 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТЫ ТОКА

Лабораторная работа № 4

1 Цель работы

Изучение механических характеристик и способа регулирования частоты вращения асинхронного двигателя изменением частоты тока.

2 Программа работы

2.1 Ознакомиться с электрическими машинами и измерительными приборами лабораторного стенда, записать их паспортные данные.

2.2 Изучить принцип работы преобразователя частоты АПЧ - ТТЕТ - 6,3 - 380.

2.3 Собрать схему для снятия механических и скоростных характеристик асинхронного двигателя в системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Снять опытные данные и записать их в таблицу.

2.4 Рассчитать и построить механические и скоростные характеристики асинхронного двигателя при разной частоте тока.

2.5 Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

3 Краткие теоретические сведения

Принципиальная возможность регулирования угловой скорости ω асинхронного двигателя изменением частоты тока f_1 вытекает из зависимости

$$\omega = 2\pi f_1 (1 - s) / p \quad (3.1)$$

где s – скольжение;

p – число пар полюсов.

При регулировании частоты источника питания асинхронного двигателя при неизменном напряжении (U) изменяется обратно пропорционально магнитный поток (Φ) машины. Это следует из выражения

$$\Phi \approx U / (k f_1) \quad (3.2)$$

где k – постоянный коэффициент, определяемый конструктивными параметрами машины.

При уменьшении частоты возрастает поток, это приводит к насыщению стали машины, резкому увеличению тока в роторе и перегреву машины; при увеличении частоты поток уменьшается, и как следствие, будет уменьшаться допустимый момент.

Для наилучшего использования асинхронного двигателя при регулировании угловой скорости изменением частоты необходимо регулировать напряжение одновременно в функции частоты и нагрузки, что реализуемо только в замкнутых системах электропривода. В разомкнутых системах напряжение регулируется лишь в функции частоты по некоторому закону, зависящему от вида нагрузки, чаще всего соблюдается условие $U/f_1 = \text{const}$.

Преобразователи частоты можно разделить на электромашинные и статические. Электромашинные преобразователи имеют такие недостатки, как невысокая надежность, необходимость в использовании двух электрических машин, значительная инерционность привода, связанная с изменением угловой скорости агрегата переменной скорости при изменении угловой скорости. Указанные недостатки ограничивают применение электромашинных преобразователей и приводят к необходимости использования статических преобразователей на основе использования тиристоров или транзисторов.

Наибольшее применение в электрических приводах находят статические преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока, структурная схема которого приведена на рисунке 3.1.

Преобразователь состоит из двух силовых элементов - управляемого выпрямителя $УВ$ и инвертора $И$. На вход $УВ$ подается нерегулируемое напряжение переменного тока промышленной частоты; с выхода $УВ$ постоянное регулируемое напряжение подается на инвертор $И$, который преобразует постоянное напряжение в переменное регулируемой амплитуды и частоты. Кроме двух силовых элементов, преобразователь содержит еще систему управления, состоящую из блока управления выпрямителем $БУВ$ и блока управления инвертором $БУИ$. Выходная частота регулируется в широких пределах и определяется частотой коммутации тиристоров инвертора, которая задается блоком управления инвертором $БУИ$. В такой схеме производится раздельное регулирование амплитуды и частоты выходного напряжения. Блок задания скорости $БЗС$ устанавливает требуемое соот-

ношение между действующим значением напряжения и частотой на зажимах асинхронного двигателя.

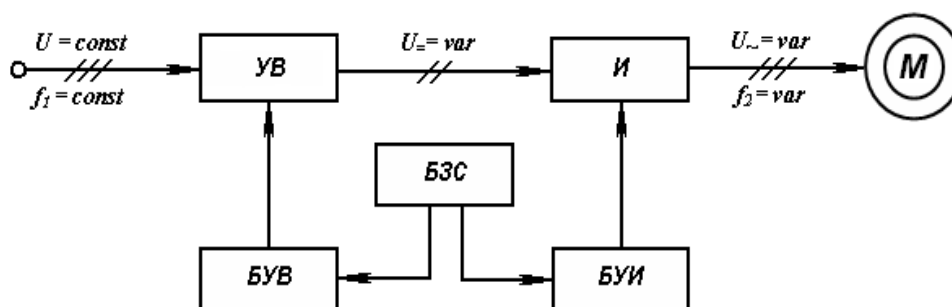


Рисунок 3.1 Структурная схема статического преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется на установке, представленной на рисунке 4.1.

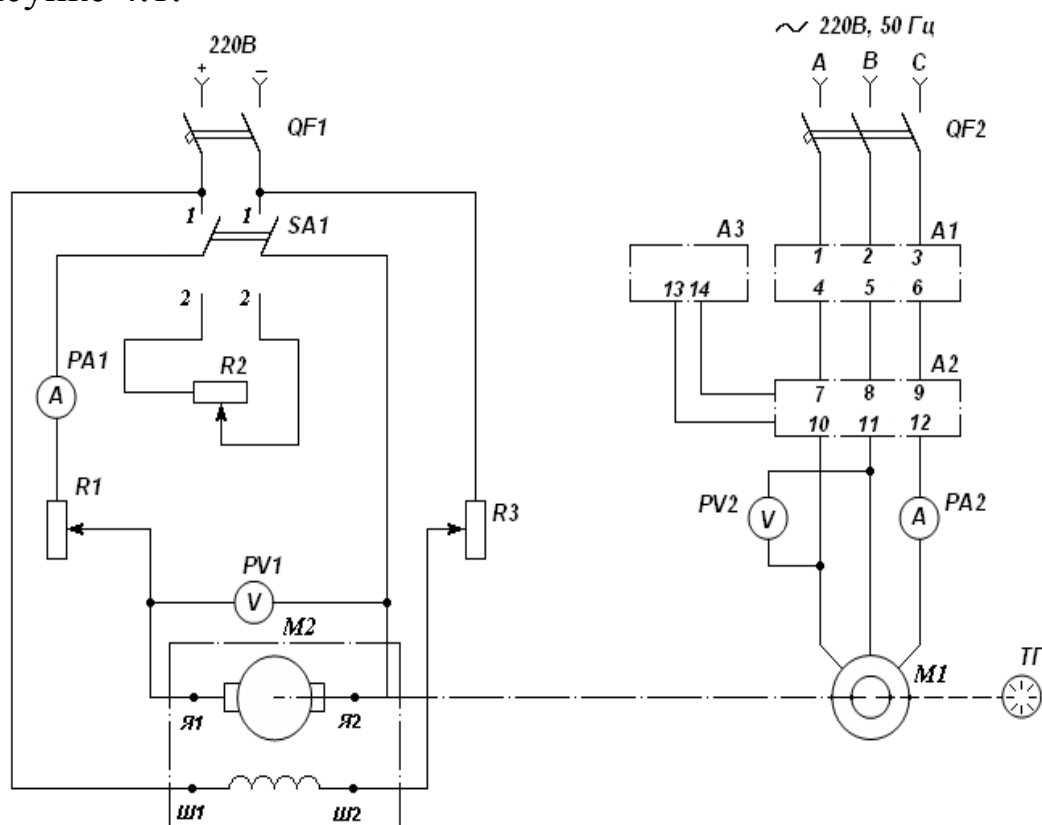


Рисунок 4.1 Электрическая схема лабораторной установки для изучения характеристик асинхронного двигателя при изменении частоты тока

Установка состоит из испытуемого двигателя $M1$ и нагрузочной машины $M2$ постоянного тока параллельного возбуждения. Валы электрических машин $M1$ и $M2$ соединены муфтой.

Снятие характеристик электрической машины производят следующим образом. Включают автоматический выключатель $QF1$. Для работы преобразователя необходимо подключить управляющие сигналы $PP1$, $PP2$ и «Сброс» на пульте дистанционного управления (блок $A3$). Частотное управление возможно как с самого преобразователя (блок $A2$), так и с пульта дистанционного управления.

Задавая необходимую частоту тока, двигатель приводится во вращение. Нагрузка на валу испытуемого асинхронного двигателя $M1$ задается двигателем постоянного тока $M2$, работающего в режиме динамического торможения. Переключатель $SA1$ переводится в положение 2, величина нагрузки изменяется реостатом $R2$.

Для снятия механических и скоростных характеристик асинхронного двигателя необходимо задавать частоту тока. Далее, изменяя нагрузку на валу испытуемого двигателя, в диапазоне скольжения $1 > s > 0$, записываются необходимые показания в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 Результаты опытов по снятию механических и скоростных характеристик

Опытные данные			Расчетные данные									
Испытуемый двигатель			Нагрузочная машина		Потери в машине						$P_{вд}$	$M_{вд}$
U	I	n ,	$U_{ям}$	$I_{ям}$	P_m	ΔP_m	$\Delta P_{щ}$	$\Delta P_{доб}$	ΔP_{xx}	$\Sigma \Delta P$		
В	А	мин ⁻¹	В	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Нм

Обозначения в таблице 4.1:

n - частота вращения вала испытуемой машины, об/мин;

$I_{ям}$ - ток якоря, А;

$U_{ям}$ - напряжение на якоре, В;

$P_m = I_{ям} U_{ям}$ - мощность, потребляемая или отдаваемая машиной, Вт;

$\Delta P_m = I_{ям}^2 R_{ям}$ - тепловые потери в якоре, Вт;
 $R_{ям} = 0,5(1 - \eta_n)R_n$ - сопротивление якоря, Ом;
 η_n - коэффициент полезного действия электрической машины;
 $R_n = U_n / I_n$ - номинальное сопротивление машины, Ом;
 $\Delta P_{щ} = \Delta U I_{ям}$ - потери мощности в щеточном контакте, Вт;
 ΔU - потери напряжения в щеточном контакте (при графитовых щетках $\Delta U = 1В$, при медноугольных $\Delta U = 0,3В$);
 $\Delta P_{доб} = 0,01 P_m$ - добавочные потери, Вт;
 $\Delta P_{xx} = U_n I_o$ - потери холостого хода нагрузочной машины, Вт;
 I_o - ток холостого хода нагрузочной машины, который определяется по показанию амперметра, когда нагрузочная машина работает в режиме двигателя, а испытываемая машина отключена от сети, А;
 $\Sigma \Delta P$ - сумма потерь нагрузочной машины, Вт;
 $P_{вд} = P_m + \Sigma \Delta P$ - мощность на валу двигателя, Вт (для определения мощности на валу двигателя к мощности P_m прибавляют суммарные потери);
 $M_{вд} = 9,55 P_{вд} / n$ - момент на валу двигателя, Н·м;

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- расчёты и результаты измерений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Вопросы для самоконтроля знаний

6.1 Область применения преобразователей частоты питающего напряжения.

6.2 В чем преимущество статических преобразователей частоты перед электромашинными?

6.3 Почему возникает необходимость регулирования напряжения при изменении частоты питающего напряжения?

6.4 Почему изменяется механическая и скоростная характеристики двигателя при изменении частоты питающего напряжения?

6.5 Как изменяются показания амперметра РА1 при уменьшении частоты и как объяснить это явление?

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ПОСТОЯННЫХ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ

Лабораторная работа № 5

1 Цель работы

Изучение законов протекания тепловых переходных процессов нагрева и охлаждения электродвигателя. Освоение методики определения постоянных времени нагрева и охлаждения электродвигателя.

2 Программа работы

2.1 Ознакомиться с экспериментальной установкой. Записать паспортные данные оборудования лабораторного стенда.

2.2 Собрать схему лабораторной установки для проведения опыта.

2.3 Снять зависимость температуры нагрева и охлаждения двигателя от времени.

2.4 По данным опытов построить кривые нагрева $\tau=f(t)$ и охлаждения двигателя. Определить установившееся превышение температуры двигателя, постоянные времени нагрева и охлаждения, номинальную мощность электродвигателя.

3 Краткие теоретические сведения

Поскольку опыт проводят в течение небольшого времени, то получить установившуюся температуру двигателя не удастся, так как температура машины считается установившейся, если ее изменение в течение часа не превышает одного градуса. Но, имея начальную часть кривой нагрева, можно графическим построением найти установившуюся температуру двигателя (рисунок 3.1). Для этого находят приращение превышения температуры $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$, $\Delta\tau_3$ и т.д. за равные промежутки времени Δt . Через точки кривой нагрева 1, 2, 3 проводят горизонтальные линии и на них влево от оси ординат откладывают или истинные величины $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$, $\Delta\tau_3$ или пропорциональные им. Получают точки б, в, г через которые проводят прямую до пересечения с осью τ в точке д. Отрезок $од$ в выбранном масштабе равен устано-

вившемся превышению температуры $\tau_{уст}$. Горизонтальная прямая, проведенная через точку d будет асимптотой для кривой нагрева.

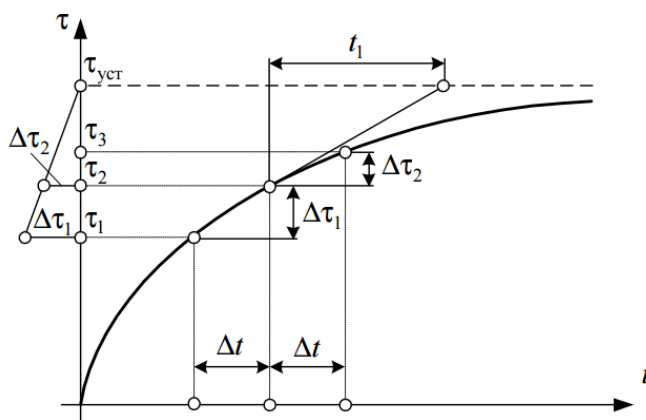


Рисунок 3.1 Определение $\tau_{уст}$ по кривой нагрева

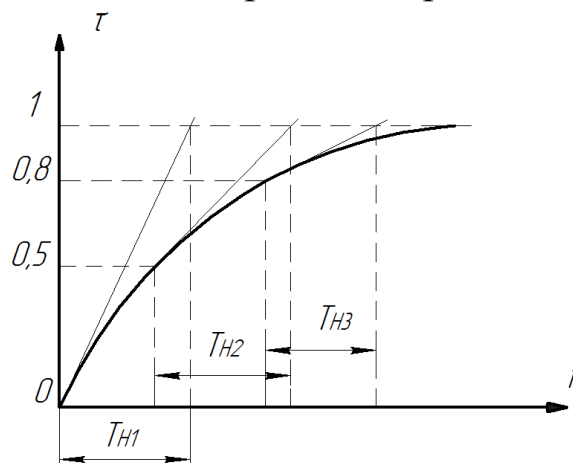


Рисунок 3.2 Определение постоянной времени нагрева методом трех касательных

Постоянные времени нагрева T_n и охлаждения $T_{охл}$ можно определить различными способами:

1) По касательной к кривой нагрева двигателя. На графике $\tau=f(t)$ проводят три касательные при значениях $\tau=0$; $\tau=0,5$; $\tau=0,8 \tau_{уст}$ до пересечения с асимптотой $\tau_{уст}$. Отрезок асимптоты, заключенной между вертикалью из точки касания и точкой пересечения с асимптотой, равен постоянной времени нагрева T_n (рисунок 3.2). По трем значениям нужно определить среднюю величину:

$$T_n = \frac{T_{н1} + T_{н2} + T_{н3}}{3}. \quad (3.1)$$

Таким же образом определяют и постоянную времени охлаждения.

2) Если $\tau_{уст}$ не определено, можно найти постоянную времени нагрева по трем точкам по формуле:

$$T_n = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_2}}, \quad (3.2)$$

где τ_1, τ_2, τ_3 - значения превышений температуры, взятые на графике $\tau=f(t)$ (рисунок 3.3) через равные промежутки времени Δt .

Постоянную времени охлаждения определяют по двум точкам:

$$T_H = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_1}{\tau_2}}. \quad (3.3)$$

3) Постоянные времени нагрева T_H и охлаждения $T_{охл}$ можно определить по кривой нагрева, по времени $t=T_H$ при нагреве $\tau=0,632$ $\tau_{уст}$, а при охлаждении $\tau=0,368$ $\tau_{уст}$ (рисунок 3.4). В двигателях нормального исполнения $T_{охл} > T_H$, так как теплоотдача в неподвижной машине меньше, чем во вращающейся [13].

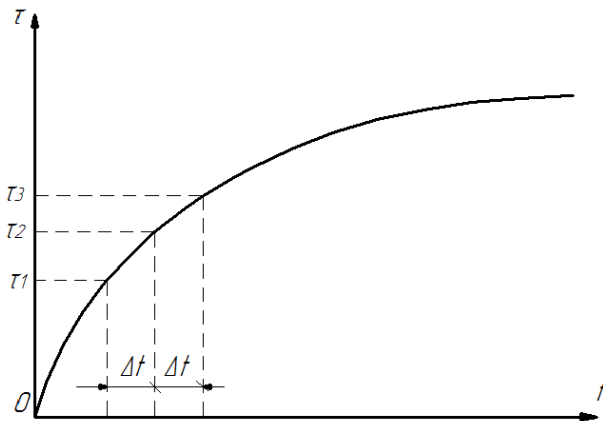


Рисунок 3.3 Определение постоянной времени нагрева по трем точкам

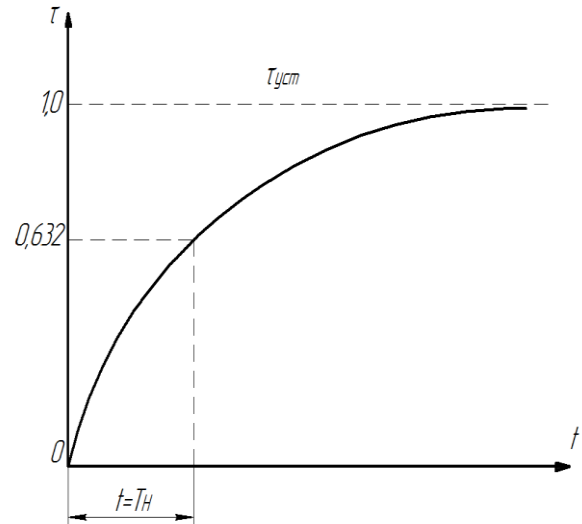


Рисунок 3.4 Определение постоянной времени нагрева по температуре

Имея кривую нагрева, можно определить номинальную мощность электродвигателя по формуле:

$$P_H = P_{дв} \cdot \sqrt{\tau_{max} / \tau_{уст}} \quad (3.4)$$

где τ_{max} - максимально допустимое превышение температуры обмоток двигателя для данного класса изоляции (например, по ГОСТу для изоляции класса А $\tau_{max}=65^0$);

$P_{дв}$ - мощность на валу двигателя во время опыта, можно определить по показателям ваттметра P_W с учётом КПД $P_{дв} = P_W \cdot \eta$ (для исследуемого двигателя $\eta = 0,75$);

$\tau_{уст}$ - находят графически по кривой нагрева или определяют аналитическим методом из формулы:

$$\tau_{уст} = \frac{\tau}{1 - e^{-t/T_H}}, \quad (3.5)$$

где τ и t – текущие значения превышения температуры и времени для любой точки кривой (лучше во второй половине кривой нагрева).

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

Лабораторная установка для исследования процесса нагрева электродвигателя состоит из асинхронного электродвигателя, нагружаемого генератором постоянного тока независимого возбуждения (рисунок 3.5). Обмотка возбуждения генератора питается от сети постоянного тока. Изменение нагрузки асинхронного двигателя можно регулировать как реостатом в цепи якоря, так и реостатом в цепи обмотки возбуждения генератора.

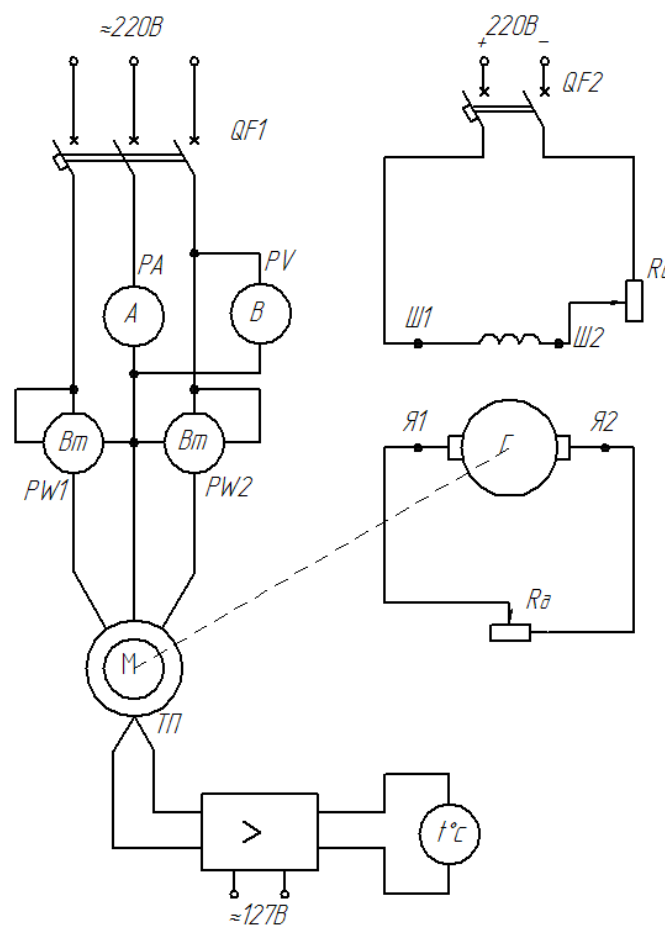


Рисунок 3.5 Электрическая схема лабораторной установки

Величина нагрузки двигателя задается преподавателем, контролируется ваттметром и поддерживается постоянной в течение всего опыта (путем изменения сопротивления реостатов генератора).

Контроль за температурой двигателя производится термопарой (ТП), заложенной в паз обмотки двигателя.

Эксперимент выполняют следующим образом. Включают электродвигатель M , дают ему нагрузку и через каждые 5 минут в течение 40...60 мин записывают показания температуры двигателя.

После опыта нагрева отключают электродвигатель от сети и исследуют в течение 40...60 мин процесс его охлаждения.

Таблица 4.1 Зависимость температуры двигателя от времени работы

№ п/п	Показания темпера- туры дви- гателя, °С	Время t , мин	Приращение температуры, Δt , °С	Мощ- ность P , кВт	Напря- жение, U , В	Ток I , А
Нагрев						
1						
...						
Охлаждение						
1						
...						

По экспериментальным данным строят кривую нагрева и охлаждения двигателя.

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- расчёты и результаты измерений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Назначение отдельных элементов электрической схемы установки.

6.2 Как описывается процесс нагрева и охлаждения электродвигателя аналитически?

6.3 Как определить по кривой нагрева установившееся превышение температуры?

6.4 Что такое постоянная времени нагрева, каков её физический смысл и методы определения?

6.5 Что такое постоянная времени охлаждения, каков её физический смысл и методы определения?

6.6 Как долго длится переходной процесс нагрева, охлаждения?

6.7 Как по кривой нагрева определить номинальную мощность электродвигателя?

6.8 От каких факторов зависит нагрев электродвигателя?

6.9 В каком случае начальное превышение температуры двигателя не равно 0?

6 ИЗУЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ И ХАРАКТЕРНЫХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Лабораторная работа № 6

1 Цель работы

1.1 Изучение устройства, принципа действия аппаратуры ручного, автоматического и бесконтактного управления.

1.2 Изучение характерных схем управления асинхронными электродвигателями в электроприводе.

2 Программа работы

2.1 Ознакомится с конструкцией, принципом действия аппаратуры ручного, автоматического и бесконтактного управления силовыми цепями электроприводов.

2.2 Изучить, собрать и опробовать схемы управления асинхронными двигателями: с одного рабочего места; с двух рабочих мест; без блокировки кнопки «Пуск»; реверсивного управления с одного рабочего места; автоматизированного управления по времени электродвигателей поточной линии.

2.3 Осуществить управление трехфазной нагрузкой блоком бесконтактного управления силовыми цепями.

3 Краткие теоретические сведения

Универсальный переключатель (УП) - электрический аппарат с ручным приводом, предназначенный для коммутации электрических цепей управления и автоматики, для ручного переключения полюсов многоскоростных асинхронных электродвигателей малой мощности, а также в качестве переключателей электроизмерительных приборов.

Пакетный выключатель - электрический аппарат с ручным приводом, предназначенный для включения, отключения и переключения тока в электрических цепях низкого напряжения (до 500 В). Пакетный выключатель состоит из группы контактов, механизма, перемещающего контакты и фиксирующего их в определенном коммутационном положении, и корпуса. Контактная система ножевых пакетных выключателей набирается отдельными секциями, состоящими из изоляционной платы с расположенными на ней неподвижными контактами в виде ножей и пружинящих подвижных контактов, изолированных друг от друга. Пакетные выключатели применяют в распределительных устройствах постоянного и переменного тока низкого напряжения (щиты, пульты и др.), в устройствах переключения цепей управления и сигнализации, для непосредственного включения в сеть и отключения асинхронных электродвигателей малой мощности, в электрических цепях бытового назначения и бытовых электрических приборах (стиральных машинах, вентиляторах, пылесосах и т. д.).

Кнопки управления предназначены для оперативного управления контакторами и магнитными пускателями. Применяются в электрощитах, промышленном оборудовании, на объектах энергоснабжения.

Конечные выключатели предназначены для контроля достижения подвижным элементом механизма конечных положений и сигнализации о достижении конечного положения коммутированием электрической цепи

Контактор – это электромагнитный аппарат, обладающий возможностью самовозврата. Основное предназначение контактора – это включение и выключение электрических цепей на расстоянии. Контакторы являются самыми проверенными временем аппаратами, с помощью которых управляют электродвигателями.

Магнитный пускатель - электрический аппарат низкого напряжения, предназначенный для дистанционного управления (пуска, остановки, изменения направления и т.д.) и защиты асинхронных электродвигателей малой и средней мощности с короткозамкнутым рото-

ром. Существуют нереверсивные и реверсивные магнитные пускатели; выпускаются также специальные магнитные пускатели для переключения обмоток многоскоростных электроприводов. Магнитный пускатель состоит, как правило, из контактора, кнопочного поста и теплового реле.

Реле времени предназначены для выдержки интервала времени между моментом включения катушки реле и замыканием или размыканием его контактов, а также моментом выключения катушки реле и размыканием или замыканием его контактов.

Блоки бесконтактного управления силовыми цепями – это симисторные или тиристорные блоки, предназначенные для бесконтактной коммутации силовых цепей в системах регулирования и автоматизации. Данные блоки обеспечивают включение активной нагрузки в момент прохождения сетевого напряжения через ноль, то есть в тот момент, когда ток через нагрузку минимален. В результате, при коммутации мощной нагрузки электромагнитные помехи отсутствуют. Поэтому их важным преимуществом является отсутствие такого негативного явления, возникающего у контактных пускателей, как дребезг контактов. Дребезг контактов, как известно, приводит к значительному разрушению контактов и большим электромагнитным помехам. Блоки незаменимы в тех случаях, когда необходима высокая частота срабатываний и требуется, соответственно, значительный ресурс по числу срабатываний (у симисторов и тиристоров число срабатываний практически неограниченно).

За счет бесконтактного (с помощью полупроводниковых приборов) переключения блоки имеют следующие преимущества:

- отсутствие искр и электрической дуги, что при переключении обеспечивает возможность применения электронного реле на взрыво- и пожароопасных производствах;
- создают существенно меньший уровень электромагнитных помех;
- имеют существенно больший ресурс и не требуют профилактических работ в процессе эксплуатации;
- высокое быстродействие и готовность к следующему переключению (количество включений/выключений может достигать 60 раз в минуту).

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

4.1 Изучение работы схем управления асинхронным электродвигателем

Лабораторная установка состоит из автоматического выключателя с комбинированным расцепителем *QF1*, магнитного пускателя *KM1*, теплового реле *KK1*, двух кнопочных постов с кнопками «Стоп» *SB1* и *SB3* и кнопками «Пуск» *SB2* и *SB4*, асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором *M1*.

Включение и отключение электродвигателя *M1* через магнитные пускатели осуществляется с помощью различных аппаратов: конечных выключателей, переключателей, кнопок управления и т. д.

Часто встречается схема включения электродвигателя в сеть с одного рабочего места с помощью магнитного пускателя *KM1*, представленная на рисунке 4.1, а. Магнитный пускатель *KM1* включается с помощью кнопки «Пуск» *SB2*, отключается с помощью кнопки «Стоп» *SB1* или (при перегрузке) контактами теплового реле *KK1.1*. Контакт *KM1.2*, включенный параллельно кнопке *SB2*, имеет два назначения: шунтирует кнопку «Пуск» *SB2* при включении пускателя *KM1*, что позволяет отпустить кнопку и не позволяет самопроизвольно включиться двигателю, отключившемуся при исчезновении напряжения в сети или его понижении ниже допустимых для двигателя норм. Тем самым магнитный пускатель выполняет защиту двигателя от произвольного запуска, так называемую «нулевую защиту». Приведенная схема позволяет дистанционно управлять работой двигателя с одного рабочего места.

В ряде случаев, например, при значительном удалении поста управления поточно-транспортными системами, возникает необходимость управлять работой двигателя электропривода с двух рабочих мест. В этом случае кнопки «Пуск» *SB2* и *SB4* включаются последовательно, а кнопки «Стоп» *SB1* и *SB3* – параллельно. Схема такого управления показана на рисунке 4.1, б.

Ряд рабочих механизмов требует, чтобы их двигатель был включен только при нажатии и удержании кнопки «Пуск» *SB2*, как например, в схеме управления тельфером и отключен, когда кнопка отпущена. Схема управления двигателем для этого случая приведена на рисунке 4.1, в.

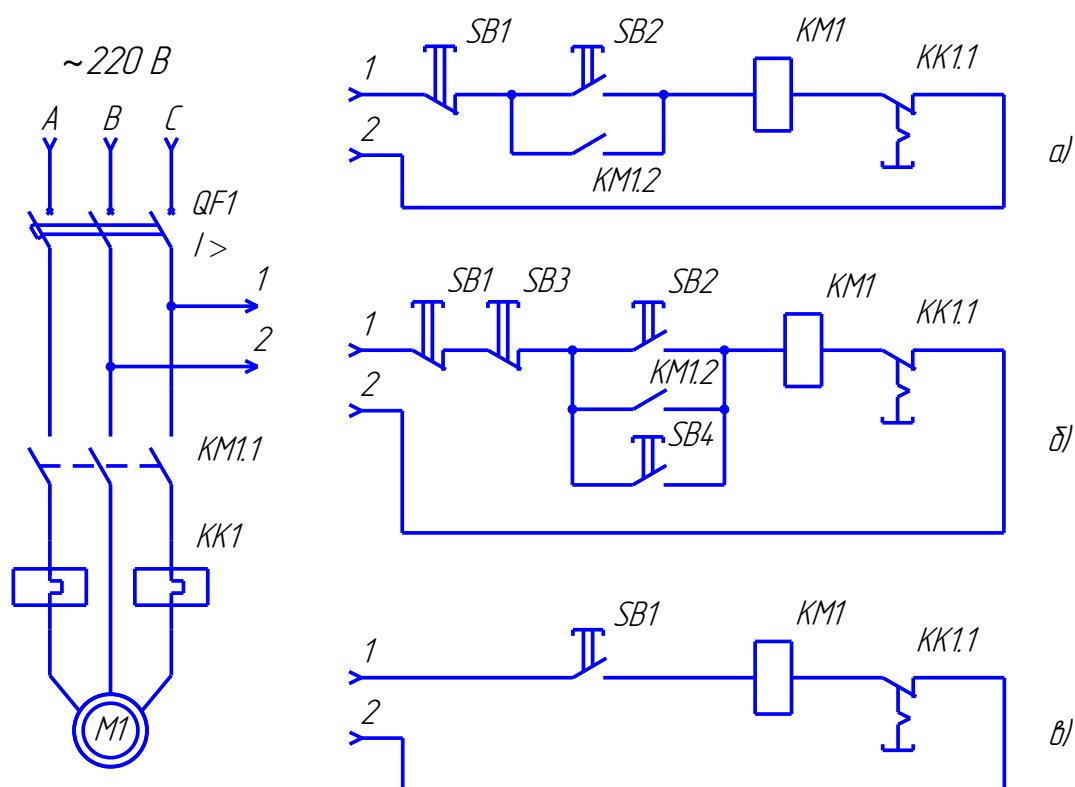


Рисунок 4.1 Принципиальные электрические схемы управления асинхронным электродвигателем: а) с одного рабочего места; б) с двух рабочих мест; в) «толчок»

4.2 Изучение реверсивных схем управления электродвигателями

Для смены направления вращения асинхронного двигателя *M1* применяют реверсивные магнитные пускатели. Они представляют два нереверсивных пускателя, размещенных в одном корпусе. Когда включается один из них, то на обмотку статора подается напряжение сети в определенной последовательности.

Лабораторная установка, представленная на рисунке 4.2, состоит из автоматического выключателя с комбинированным расцепителем *QF1*, магнитных пускателей *KM1* и *KM2*, кнопочного поста с кнопкой «Стоп» *SB1* и кнопками «Пуск» *SB2* и *SB3*, асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором *M1*.

Допустим, при включении магнитного пускателя *KM1*, представленного на рисунке 4.2, на обмотку статора подается напряжение трехфазное напряжение (*A-B-C*). Если отключить магнитный пускатель *KM1* и включить *KM2*, то меняется чередование фаз напряжения подводимого к статору (*C-B-A*). При этом происходит смена направления вращения – реверс.

Если бы одновременно включались силовые контакты $KM1.1$ и $KM2.1$, то замкнулись бы между собой фазы A и C и возникло бы короткое замыкание на клеммах пускателей. Для предотвращения этого явления в схемах реверсирования предусматривается механическая и электрическая блокировка.

Механическая блокировка выполнена на реверсивном магнитном пускателе и состоит из коромысла со штоком, препятствует включению одного из пускателей при работающем другом.

Электрическую блокировку выполняют с помощью вспомогательных контактов пускателей (так называемых блок-контактов). На рисунке 4.2 в цепи катушки магнитного пускателя $KM2$ установлен размыкающий блок-контакт $KM1.3$, а в цепи катушки $KM1$ – размыкающий контакт $KM2.3$. Когда включен один из пускателей, например $KM2$, то его блок-контакт $KM2.3$ в цепи катушки пускателя $KM1$ размыкается. Следовательно, если нажать кнопку $SB2$, то пускатель $KM1$ не сработает.

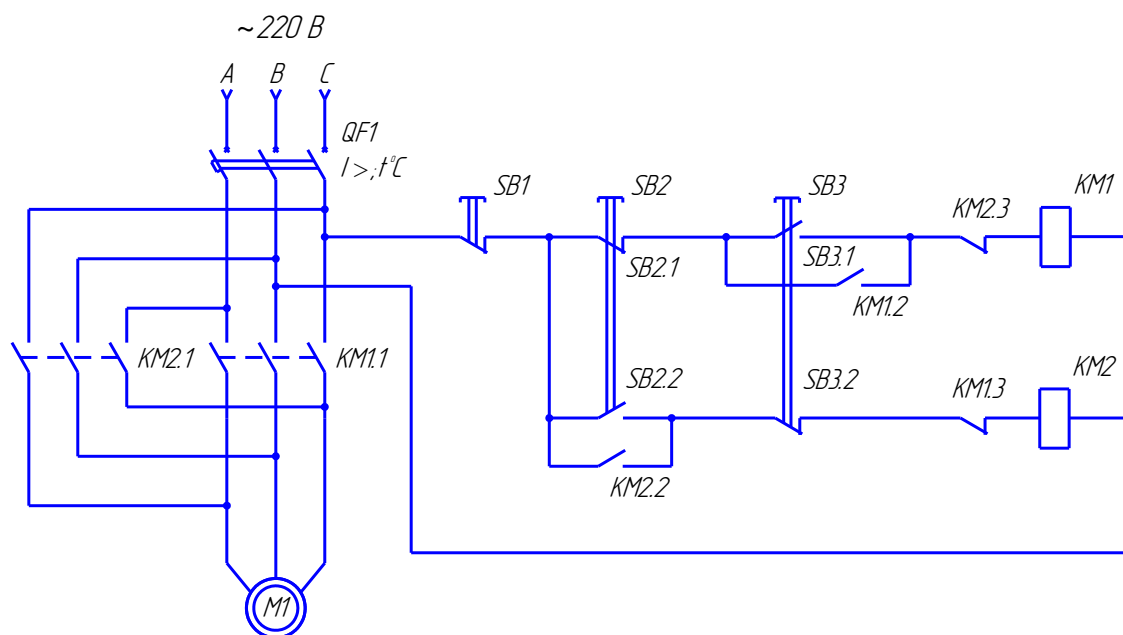


Рисунок 4.2 Схема реверсирования асинхронного электродвигателя

Третий вид блокировки в подобных схемах осуществляется с помощью кнопочной станции, у которой каждая кнопка имеет два контакта: замыкающий и размыкающий. Замыкающий контакт кнопки установлен в цепи включения катушки одного пускателя, а размыкающий – в цепи включения катушки другого пускателя. Если включен был магнитный пускатель $KM2$, то для реверса двигателя нужно

нажать кнопку *SB3*. При этом разомкнется контакт *SB3.2* в цепи катушки *KM2* и отключит пускатель *KM2*. Одновременно замкнется второй контакт кнопки *SB3.1* и через блок-контакт *KM2.3* напряжение подается на катушку магнитного пускателя *KM1*. Для остановки двигателя необходимо нажать кнопку *SB1*. Блок-контакты *KM1.2* и *KM2.2*, шунтирующие замыкающие контакты кнопки *SB3* и *SB2*, позволяют отпускать ее после включения. В случае исчезновения напряжения сети один из пускателей *KM1* или *KM2* отключается, а его блок-контакты, параллельные кнопке, размыкаются. При повторной подаче напряжения на схему управления двигатель самопроизвольно не включится.

4.3 Изучение автоматизированных схем пуска по времени асинхронных электродвигателей поточной линии

Поточная линия представляет систему рабочих машин, емкостей и механизмов, связанных одним технологическим процессом или циклом. Она характеризуется непрерывностью и ритмичностью работы. При изучении требований к автоматизированному электроприводу поточной линии необходимо обратить внимание на основные из них:

1) Пуск электродвигателей всех последовательно включенных машин и механизмов поточной линии проводится против движения перерабатываемого продукта (зерна, сена, корнеплодов и т. д.), а отключение - по ходу его движения.

2) При аварийном отключении одной машины сразу должны остановиться агрегаты, работающие на ее загрузку, а по истечении времени необходимого для освобождения продукта, отключаются электродвигатели машин, действующих на отгрузку.

3) Электрические двигатели поточной линии должны иметь защиту от перегрузки.

4) В схеме необходимо предусматривать наладочный режим, который позволит произвольно включать и отключать двигатели поточной линии.

5) Для безопасности персонала, обслуживающего поточную линию, перед пуском должен подаваться предупредительный звуковой или световой сигнал.

В лабораторном стенде реализована схема управлением электроприводом поточной линии в отделении подготовки сочных кормов

кормоцеха. Корнеклубнеплоды со склада транспортером подаются в мойку, а оттуда в корнерезку. По второму транспортеру измельченные корнеклубнеплоды поступают в приемный бункер готового продукта. Каждый механизм имеет индивидуальный привод.

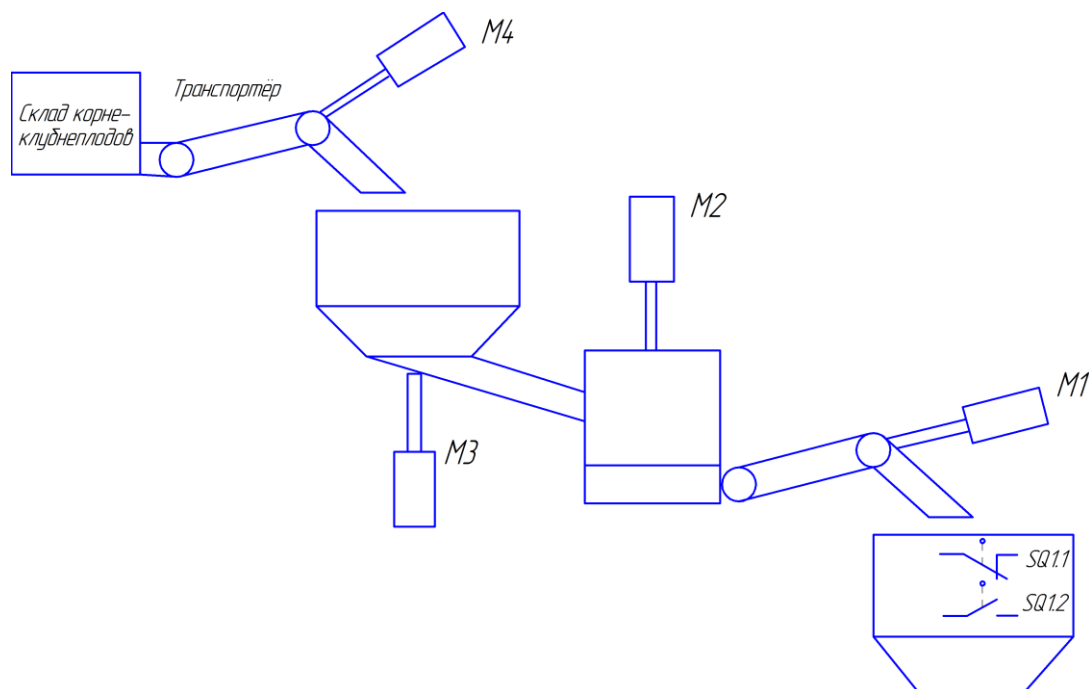


Рисунок 4.3 Технологическая схема поточной линии в отделении подготовки сочных кормов кормоцеха

Принципиальная схема управления по времени электроприводом данной поточной линии представлена на рисунке 4.4. Полагают, что приемный бункер пустой, поэтому датчик *SQ1.1* замкнут, а *SQ1.2* разомкнут. При замыкании *SB2* включается контактор *KM1*, которые включают реле *KT1*. По истечении определенного времени замыкается контакт *KT1.1* и включается контактор *KM2*, а следовательно двигатель корнерезки *M2*. Дополнительный контакт *KM2.2* контактора *KM2* включают реле *KT2* и т.д. Когда заработает двигатель *M4* загорается лампа *HL2*, которая сигнализирует о включении линии. При заполнении бункера на 80% замыкается датчик *SQ1.2*, загорается лампа *HL1*. Когда бункер загружается полностью, размыкается датчик *SQ1.1* и отключает *KM1*, *M1*, *KT1*, *KM2* и т.д.- то есть останавливается вся линия. В случае перегрузки любого из двигателей размыкается контакт *KK* его теплового реле и отключается двигатель. Так при перегрузке двигателя *M3* отключается *M3* и *M4*, а *M1* и *M2* остаются в работе. Для отключения линии необходимо нажать кнопку стоп *SB1*.

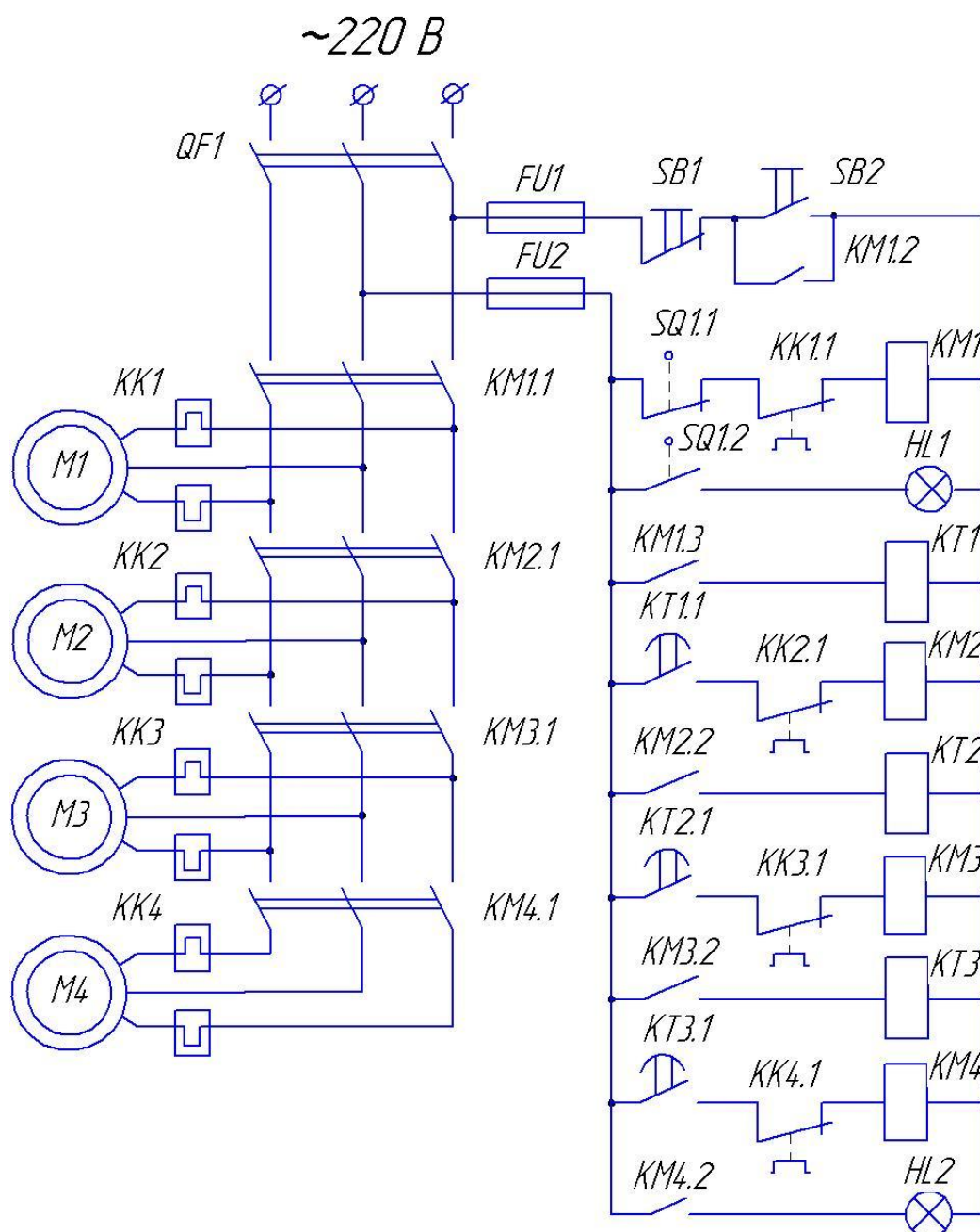


Рисунок 4.4 Принципиальная схема управления электроприводом поточной линии

4.4 Изучение бесконтактных схем управления электродвигателями

Лабораторная установка, представленная на рисунке 4.5, состоит из автоматического выключателя с комбинированным расцепителем *QF1*, блока тиристоров *VS1...VS6* и блока управления тиристорами *A1*.

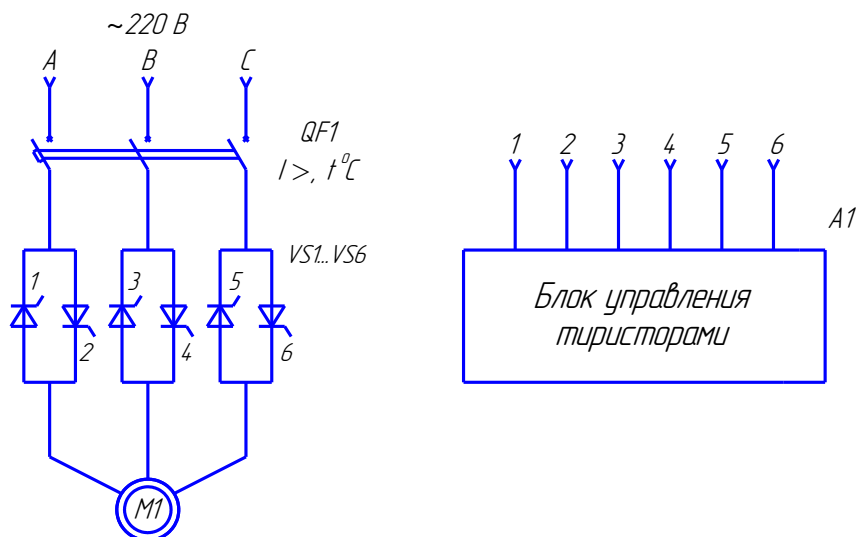


Рисунок 4.5 Электрическая схема бесконтактного управления асинхронным двигателем

Блок управления тиристорами *A1* формирует управляющие сигналы для их открывания. Электрический двигатель подключается к сети, когда все тиристоры *VS1...VS6* открыты, и наоборот электрический двигатель отключается от сети тогда, когда все тиристоры закрыты [13].

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- расчёты и результаты измерений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Какая аппаратура управления применяется в лабораторных установках?

6.2 Поясните работу приведенных схем управления асинхронными электродвигателями.

6.3 Для чего применяется управление электродвигателя с нескольких рабочих мест? Приведите примеры.

6.4 Где на производстве применяется схема управления асинхронным двигателем типа «толчок»?

6.5 Перечислите возможные способы осуществления защитной перекрестной блокировки.

6.6 Как осуществляется перекрестная блокировка в лабораторной работе?

6.7 Поясните работу принципиальной электрической схемы электропривода поточной линии?

6.8 Какие требования предъявляются к электроприводам поточных линий?

6.9 Перечислите преимущества и недостатки контактных систем управления электроприводами.

6.10 Перечислите преимущества и недостатки бесконтактных систем управления электроприводами.

6.11 Как выбирают аппараты управления в электроприводе?

7 ИССЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ АППАРАТУРЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Лабораторная работа № 7

1 Цель работы

Изучить устройство и принцип работы теплового реле, плавкого предохранителя, автоматического выключателя, универсальной встроенной температурной защиты электродвигателя (УВТЗ).

2 Программа работы

2.1 Ознакомиться с устройством и принципом действия различных защитных аппаратов и записать их паспортные данные.

2.2 Собрать электрическую схему установки по испытанию теплового реле. Осуществить испытание теплового реле на соответствие тока защиты.

2.3 Собрать электрическую схему установки по испытанию плавкой вставки предохранителя. Осуществить испытание выбранной вставки на соответствие тока защиты.

2.4 Собрать электрическую схему установки по испытанию УВТЗ. Проверить работоспособность УВТЗ двумя способами. Осуществить испытание УВТЗ под нагрузкой.

2.5 Построить ампер-секундные характеристики аппаратов, сделать выводы.

3 Краткие теоретические сведения

Плавкие предохранители предназначены для защиты электрооборудования, электроустановок и электрических цепей от токов короткого замыкания.

Для защиты электроприемников, включение которых характеризуется малой продолжительностью изменения тока в цепи (например, лампы накаливания, электронагревательные приборы) плавкий предохранитель выбирают из условия

$$I_{н.вст} \geq I_{р.мах} , \quad (3.1)$$

где $I_{н.в}$ – номинальный ток плавкой вставки, А;

$I_{р.мах}$ – максимальный рабочий ток нагрузки, А.

Максимальный рабочий ток нагрузки равен

$$I_{р.мах} = k_3 \cdot I_n , \quad (3.2)$$

где I_n – номинальный ток нагрузки, А;

k_3 – коэффициент загрузки.

Для защиты электроприемников, включение которых характеризуется значительной продолжительностью изменения тока в цепи (например, электрических двигателей), при выборе следует учитывать то обстоятельство, что пусковой ток может в 5...7 раз превышать номинальный. Поэтому выбирать плавкую вставку предохранителя по номинальному току двигателя нельзя, т.к. она перегорит при пуске. Нельзя выбирать плавкую вставку и по пусковому току, т.к. не будет обеспечена защита [13].

Плавкую вставку для защиты асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором выбирают в зависимости от режима их пуска из условий:

- при легком и нормальном режимах пуска (нечастые пуски с продолжительностью не более 10 с):

$$I_{н.вст} \geq 0,4 \cdot I_n , \quad (3.3)$$

где I_n – пусковой ток асинхронного двигателя, А;

- при тяжелом режиме пуска (частые пуски с продолжительностью более 15 с):

$$I_{н.вст} \geq (0,5...0,6) \cdot I_n . \quad (3.4)$$

Плавкую вставку для защиты АД с фазным ротором выбирают из условия

$$I_{н.вст} \geq (1,0...1,25) \cdot I_n . \quad (3.5)$$

Тепловое реле служит для защиты электродвигателя от небольших, но длительных перегрузок. Хорошо отрегулированное тепловое реле так же надежно защищает трехфазный электродвигатель от работы в однофазном режиме. Тепловые реле не предназначены для защиты от токов коротких замыканий.

Тепловое реле к электродвигателю выбирают по его номинальному току, а нагревательный элемент к нему – по току уставки $I_{уст}$

$$I_{уст} = I_n, \quad (3.6)$$

где I_n – номинальный ток электродвигателя, А.

В случае несовпадения тока уставки с номинальным током имеется возможность корректировать ток уставки в пределах 5...20 % имеющимся на реле регулятором тока уставки.

Автоматический выключатель (автомат) служит для ручного включения и отключения электрических цепей и автоматического отключения при коротких замыканиях и значительных перегрузках токоприемников. Автоматы изготавливаются с электромагнитными расцепителями (для отключения при коротких замыканиях), с тепловыми расцепителями (для защиты от перегрузок) или с комбинированным расцепителем (с электромагнитным и тепловым расцепителями).

Автоматический выключатель для защиты асинхронного двигателя выбирают из следующих условий:

$$U_{н.авт} \geq U_{н.дв}, \quad (3.7)$$

$$I_{н.авт} \geq I_{н.дв}, \quad (3.8)$$

$$I_{н.т} \geq k_{н.т} \cdot I_{р.мах}, \quad (3.9)$$

$$I_{ср.эл} = 12 \cdot I_n, \quad (3.10)$$

где $U_{н.авт}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя, В;

$U_{н.дв}$ – номинальное напряжение электродвигателя, В;

$I_{н.авт}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{н.дв}$ – номинальный ток асинхронного электродвигателя, А;

$I_{н.т}$ – номинальный ток теплового расцепителя, А;

$k_{н.т}$ – коэффициент запаса тепловой перегрузки, принимаемый равным 1,1...1,3;

$I_{р.мах}$ – максимальный рабочий ток асинхронного электродвигателя, А;

$I_{ср.эл}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А.

Максимальный рабочий ток асинхронного электродвигателя равен

$$I_{p.max} = K_3 \cdot I_n, \quad (3.11)$$

где K_3 – коэффициент загрузки АД, обычно равный 1.

Затем выполняют проверку выбранного автоматического выключателя на несрабатывание при пуске двигателя. Для этого должно выполняться следующее условие

$$I_{ср.эл} \geq (1,5...1,6) \cdot I_n. \quad (3.12)$$

В случае защиты автоматическим выключателем нескольких электродвигателей его проверку на несрабатывание при пуске двигателей проверяют по условию

$$I_{ср.эл} = (1,5...1,8) \cdot \left[\sum_{i=1}^n I_n + I_{n.наиб} - I_{n.наиб} \right], \quad (3.13)$$

где $(I_{n.наиб} - I_{n.наиб})$ – разность между пусковым и номинальным токами электродвигателя, у которого они наибольшие, A ;

$\sum_{i=1}^n I_n$ – сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей, A .

Универсальная встроенная температурная защита (УВТЗ) предназначена для защиты обмоток статора электродвигателя любой мощности, питающихся от сети 220/380 В с глухозаземленной нейтралью, от теплового разрушения.

Система встроенной температурной защиты предназначена для отключения преимущественно асинхронных двигателей при возникновении аварийных режимов, связанных с повышенным нагревом обмотки статора, таких как: перегрузка; стоянка под напряжением при заторможенном роторе; тяжелый пуск недопустимой продолжительности; неполнофазный режим питания; низкое качество электроэнергии (несимметрия по фазам, несинусоидальность, отклонение от нормы напряжения и частоты); неисправность в системе охлаждения (поломка вентилятора, забивание входных отверстий кожуха вентилятора и межреберных каналов станины пылью, грязью, отходами производства); повышение температуры окружающей среды.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

В лаборатории в качестве источника питания в опытах по испытанию теплового реле и плавкой вставки предохранителя применяет-

ся универсальный стенд электрика МИИСП. Для установки тока необходимо подключиться к клемме стенда «*N общ*» и к одной клемме «*15 А*», «*50 А*», «*150 А*» или «*600 А*» в зависимости от величины тока испытания. Рукоятку «*Переключатель питания*» стенда ставят в положение «*Тр-р плавно*» и переводят ручку управления «*Регулятор нагрузки*» в положение «*0*». Затем стенд посредством автоматического выключателя включают в сеть. Регулятором нагрузки устанавливают необходимый ток испытания, который контролируют по амперметру «*Ток нагрузки*». После каждого этапа необходимо стенд выключить на время 3...5 минут для охлаждения нагревательного элемента аппарата защиты.

4.1 Исследование защитных характеристик тепловых реле

Исследование защитных характеристик тепловых реле, зависимости времени срабатывания от тока, протекающего по нему $t = f(I)$, в соответствии с методикой испытаний требует больших затрат времени.

Для сокращения времени испытаний рекомендуется следующая методика. Берутся три одинаковых тепловых реле по типу и току установки. Поочередно подключают силовые выводы тепловых реле к источнику питания (стенд «МИИСП»), устанавливая через него ток, соответственно $1,5 \cdot I_{уст}$, $2,5 \cdot I_{уст}$ и $3 \cdot I_{уст}$. После этого одновременно включают секундомер. Определяют время срабатывания каждого реле. Результаты опытов заносят в таблицу 4.1. Ток через реле в течение опыта должен быть неизменным. По данным опытов строят зависимость $t = f(I)$.

Таблица 4.1 Зависимость времени срабатывания теплового реле от тока испытания

<i>Параметры измерений</i>	<i>Номер опыта</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Величина тока испытания, <i>A</i>			
Время срабатывания теплового реле, <i>c</i>			

По защитной характеристике теплового реле определяется ток установки теплового реле

$$I_{уст.ном} = I_{2,5} / 1,5, \quad (4.1)$$

где $I_{2,5}$ – ток срабатывания теплового реле при времени 2,5 мин, A .

4.2 Исследование защитных характеристик плавких предохранителей

При снятии защитных характеристик медных проволочных плавких ставок (используя микрометр) определяют, по заданию преподавателя, диаметр проволоки. Испытуемую медную проволоку монтируют в предохранитель и последний вставляют в контактную стойку для плавкого предохранителя. После этого одновременно пускают секундомер и подключают предохранитель к источнику питания с конкретным значением тока. После перегорания плавкой вставки секундомер отключается от сети, зафиксировав время плавления плавкой вставки при данном установочном токе. Результаты опытов заносят в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 Зависимость времени плавления плавкой вставки от величины тока

<i>Параметры измерений</i>	<i>Номер опыта</i>					
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Диаметр плавкой вставки, мм						
Величина тока испытания, A						
Время плавления плавкой вставки, c						

При проведении опытов величина испытательного тока поддерживается постоянной регулятором тока. По полученным данным строят ампер-секундную характеристику плавкой вставки предохранителя $I_{н.вст} = f(t)$.

По ампер-секундной характеристике определяют номинальный ток плавкой вставки предохранителя

$$I_{н.н.вст} = I_{10} / 2,5, \quad (4.2)$$

где I_{10} – ток плавления вставки, определенный по кривой при выдержке времени равной 10 с, A .

Номинальный ток плавкой вставки можно определить и по эмпирической формуле

$$I_{н.н.вст} = (\gamma / 2,5) \cdot \sqrt{d^3}, \quad (4.3)$$

где γ - коэффициент, зависящий от материала плавкой вставки (для меди равен 80);

d – диаметр проволоки, мм.

Вычислить номинальный ток плавкой вставки $I_{н.п.вст}$ рассмотренными методами, сравнить и сделать выводы.

4.3 Исследование защитных характеристик универсальной встроенной температурной защиты

Схема лабораторной установки представлена на рисунке 4.1. Лабораторная установка состоит из автоматического выключателя $QF1$ с электромагнитным расцепителем, трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором $M1$, магнитного пускателя $KM1$, универсальной встроенной температурной защиты $A1$, ключей $SA1$ и $SA2$, кнопок управления $SB1$ и $SB2$.

Универсальная встроенная температурная защита $A1$ работает совместно с магнитным пускателем $KM1$ и состоит из управляющего устройства и трех термодатчиков $RK1...RK3$. В качестве последних чаще всего служат терморезисторы. Терморезисторы через изоляцию контактируют с обмотками статора электродвигателя (устанавливают в лобовую часть обмотки электродвигателя).

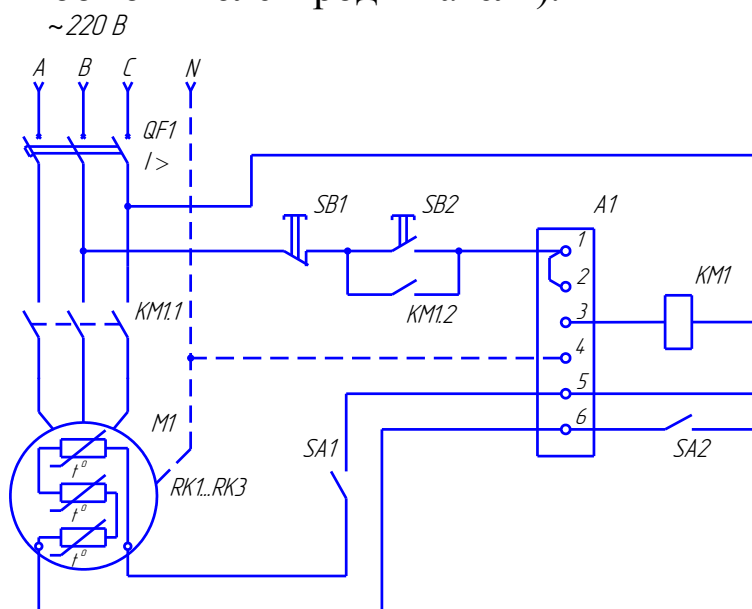


Рисунок 4.1 Электрическая схема включения УВТЗ на испытательном стенде

Управляющее устройство $УВТЗ$, представленное на рисунке 4.2, работает следующим образом. При достижении температуры обмоток двигателя предельно допустимого значения, сопротивление терморе-

зисторов $RK1...RK3$ скачкообразно увеличивается. При этом транзистор $VT2$ закрывается, а $VT1$ открывается. Управляющий переход тиристора $VS1$ обесточивается и он закрывается. Тем самым отключается реле $KM2$, контакты которого $KM2.1$ разрывают цепь питания магнитного пускателя $KM1$ (рисунок 4.1). Двигатель отключается. Повторное включение двигателя в работу можно осуществить только после охлаждения обмоток [13].

В схему управляющего устройства входит узел питания, состоящий из диодного моста $VD1...VD4$, стабилитрона $VD5$, конденсатора $C1$ и токоограничивающих резисторов $R1$ и $R2$.

В лабораторной установке, представленной на рисунке 4.1, предусмотрена возможность проверки работоспособности $УВТЗ$. Нажатием кнопки $SB2$ «Пуск» асинхронный электродвигатель включается в сеть (при этом ключ $SA1$ должен быть включен, а ключ $SA2$ выключен). Убедившись в нормальной работе на холостом ходу электродвигателя $M1$, ключом $SA1$ размыкают цепь термодатчиков $RK1...RK3$. При этом электродвигатель $M1$ должен остановиться. Далее вновь запускают электродвигатель (ключ $SA1$ предварительно замыкают) и осуществляют ключом $SA2$ короткое замыкание цепи термодатчиков $RK1...RK3$. Двигатель должен отключиться от сети, что свидетельствует о нормальной работе $УВТЗ$.

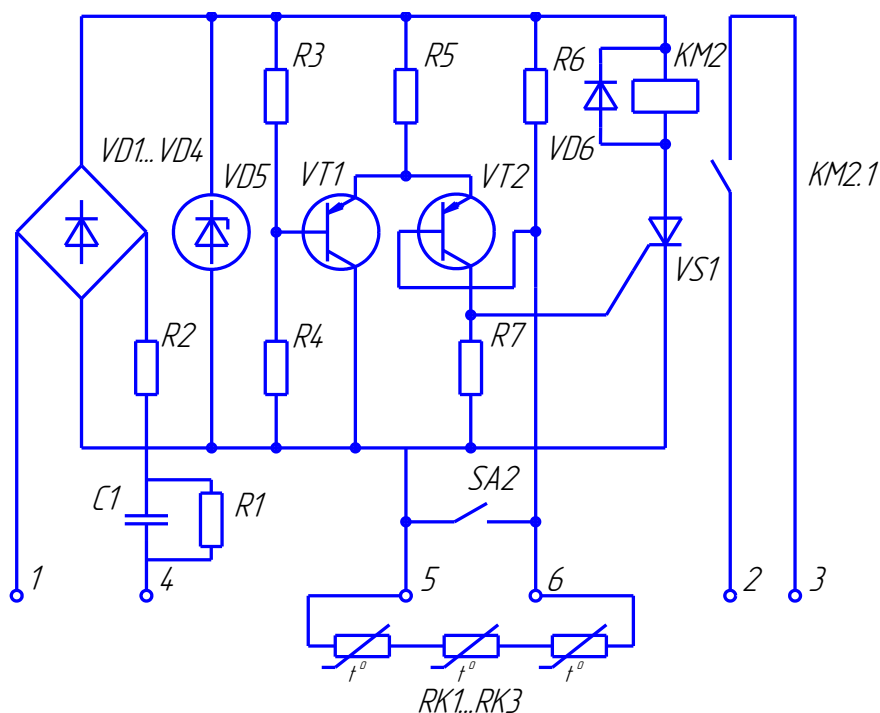


Рисунок 4.2 Принципиальная электрическая схема управляющего устройства УВТЗ

После проверки работоспособности проводят испытание УВТЗ под нагрузкой. Для этого собирают схему лабораторной установки, представленную на рисунке 4.3. Нагрузкой для электродвигателя *M1* выступает генератор постоянного тока независимого возбуждения *G1*. Изменяя нагрузку *R_{н1}* в якорной цепи генератора, устанавливают ток асинхронного двигателя *M1* в пределах 3...5 А и отмечают, через сколько времени и при какой температуре произойдет отключение электродвигателя от сети. Данные заносят в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 Зависимость времени срабатывания теплового реле от температуры

<i>Параметры измерений</i>	<i>Номер опыта</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Величина тока нагрузки, <i>A</i>			
Время срабатывания УВТЗ, <i>c</i>			
Температура обмоток электродвигателя, °C			

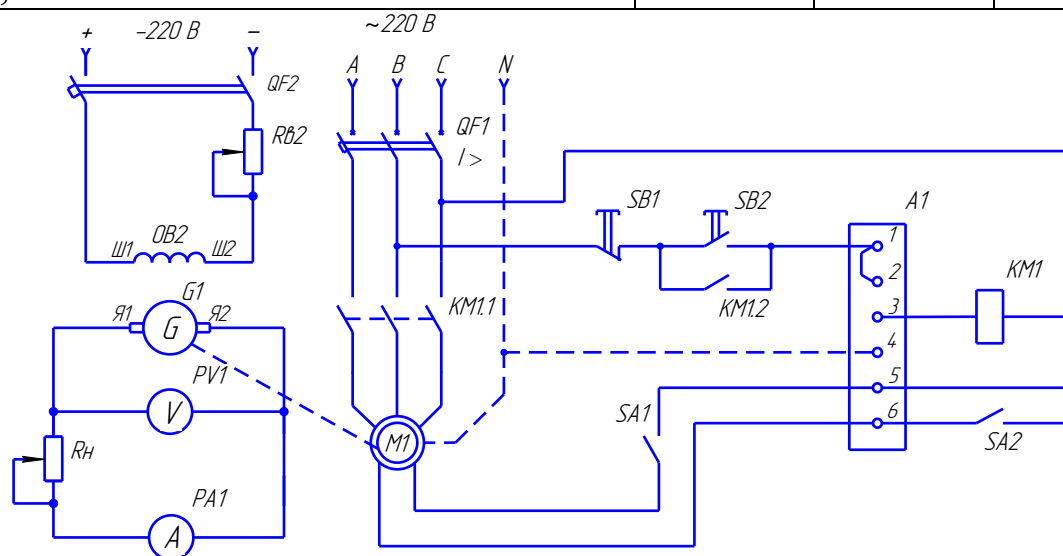


Рисунок 4.3 Электрическая схема испытания УВТЗ под нагрузкой

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- расчёты и результаты измерений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

- 6.1 Какие устройства применяют для защиты электродвигателей и от каких аварийных режимов они защищают электродвигатель?
- 6.2 Поясните принцип действия плавкого предохранителя.
- 6.3 Что такое ампер-секундная характеристика плавкой вставки предохранителя?
- 6.4 Поясните принцип действия теплового реле.
- 6.5 Поясните принцип действия автоматического выключателя.
- 6.6 Опишите принцип действия универсальной встроенной температурной защиты.
- 6.7 С помощью чего в универсальной встроенной температурной защите происходит измерение температуры обмоток электродвигателя?
- 6.8 С какой целью в универсальной встроенной температурной защите используются три термодатчика?
- 6.9 Как работает электрическая схема универсальной встроенной температурной защиты?
- 6.10 Каковы условия выбора изученных аппаратов защиты к электродвигателю?

8 ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ LOGO! НА 24 В ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторная работа № 8

1 Цель работы

Исследование микропроцессорных устройств LOGO! на 24 В для построения дискретных систем автоматизированного управления электроприводами сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.

2 Программа работы

- 2.1 Изучить функциональные возможности логических модулей дискретного управления LOGO! на 24 В [7, 8, 9].

2.2 Исследовать элементарные логические функции, применяемые для реализации алгоритмов дискретного управления электроприводами сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.

2.3 Исследовать вопросы программирования и моделирования дискретных алгоритмов управления в программной среде LOGO! SOFT COMFORT, позволяющей быстро и легко создавать, тестировать, изменять, сохранять и распечатывать коммутационные программы, а так же выполнять программирование модулей с их клавиатуры без использования дополнительного программного обеспечения.

3 Краткие теоретические сведения

Микропроцессорные устройства дискретного управления LOGO! предназначены для замены релейно-контактной аппаратуры в существующих схемах автоматики и построения вновь разрабатываемых схем с логической обработкой информации. Алгоритм их функционирования задается программой, составленной из набора встроенных функций. Для программирования элементов LOGO! разработано специальное программное обеспечение LOGO! SOFT COMFORT. Стоимостные показатели элементов LOGO! позволяют рекомендовать их применение в случае замены этими устройствами комбинаций электромагнитных реле, состоящих из 2-х реле времени и 3...4-х промежуточных реле.

Элементы LOGO! подразделяются:

- по функциональному назначению – логические модули LOGO!, модули расширения, коммуникационные модули, блоки питания, модули LOGO! Contact, текстовый дисплей LOGO! TD, дополнительные принадлежности;

- по напряжению питания – класс 1, это напряжение постоянного тока 12 В, напряжение постоянного или переменного тока 24 В; класс 2, это напряжение постоянного и переменного тока 115...240 В;

логические модули LOGO! – с дисплеем и клавиатурой Basic, без дисплея Pure.

Логические модули LOGO!. Эти модули предназначены для реализации основных логических функций и специальных функций. Библиотека элементов LOGO! содержит базовый набор логических функций, позволяющий использовать в программе модуля все основные логические операции – всего 8 функций. В ней так же содержит-

ся набор функций специального назначения, к которым относятся триггеры, таймеры, счетчики, компараторы, часы и календари, элементы задержки включения и отключения, генераторы, функции работы с аналоговыми величинами и т. д. – всего 29 функций. Общий объем программы ограничен 130 функциями для элементов 5 серии и 200 функций – для элементов 6 серии. Это значит, что один модуль LOGO! способен заменить схему, включающую в свой состав до 130 (200) электронных и электромеханических компонентов.

Логические модули LOGO! выпускаются в пластиковых корпусах размерами 72x90x55 мм и имеют степень защиты IP 20. Они содержат:

- клеммы для подключения питания электроники модуля, входных цепей и цепей нагрузки;
- интерфейс для установки модуля памяти или подключения соединительного кабеля PC-LOGO!;
- клавиатуру и дисплей (только в модулях LOGO! Basic);
- интерфейс внутренней шины для подключения модулей расширения.

Параметры модулей приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Логические модули LOGO! Basic и LOGO! Pure

Обозначение	Напряжение питания, В	Входы	Выходы	Свойства
LOGO! 12/24 RC	= 12/24	8*	4 релейных, 10А	-
LOGO! 24	= 24	8*	4 транзисторных, 0,3 А/24 В	Без часов
LOGO! 24 RC	~/= 24	8	4 релейных, 10А	-
LOGO! 230 RC	~/= 115...240	8	4 релейных, 10А	-
LOGO! 12/24 RCo	= 12/24	8*	4 релейных, 10А	Без дисплея и клавиатуры
LOGO! 24o	= 24	8*	4 транзисторных, 0,3 А/24 В	Без дисплея, клавиатуры и часов
LOGO! 24 RCo	~/= 24	8	4 релейных, 10А	Без дисплея и клавиатуры
LOGO! 230 RCo	~/= 115...240	8	4 релейных, 10А	Без дисплея и клавиатуры

Примечание: * - из них альтернативно можно использовать 2 аналоговых входа (0...10 В) и 2 быстрых входа

Программирование логических модулей может выполняться тремя способами: с клавиатуры модуля LOGO! Basic; установкой запрограммированного модуля памяти; с компьютера, оснащенного пакетом программ LOGO! SOFT COMFORT.

Дисплей и клавиатура логических модулей LOGO! Basic используются как на этапе программирования, так и на этапе эксплуатации готового устройства. В процессе эксплуатации на экран дисплея выводятся простейшие оперативные сообщения (кириллица не поддерживается), которые можно использовать для модификации параметров настройки.

Модули расширения. Эти модули предназначены для увеличения количества входных и выходных сигналов логических модулей LOGO!. К каждому логическому модулю LOGO! может подключаться до 8 модулей расширения, что обеспечивает до 24 входных дискретных сигналов и до 8 выходных дискретных сигналов или до 16 входных дискретных сигналов и до 2 выходных аналоговых сигналов.

Цифровые модули **LOGO! DM8** имеются для напряжений 12 В постоянного тока, 24 В постоянного и переменного тока, 115...240 В постоянного и переменного тока с 4 входами и 4 выходами.

Цифровые модули **LOGO! DM16** имеются для напряжений 24 В постоянного тока, 115...240 В постоянного и переменного тока с 8 входами и 8 выходами.

Релейно-контактные выходы модулей LOGO! DM8/DM16 предназначены для коммутации активной нагрузки с током до 5 А.

Аналоговые модули LOGO! имеются для напряжения 24 В постоянного тока и (отчасти) 12 В постоянного тока с двумя аналоговыми входами, или двумя входами PT100, или двумя аналоговыми выходами. Эти модули предназначены для работы с входными сигналами 0...10 В, 0...20 мА, 4...20 мА.

Модули **LOGO! AM2/ AM2 PT100/ AM2 AQ** позволяют увеличивать количество аналоговых входов и выходов, обслуживаемых одним логическим модулем LOGO!. Модули **LOGO! AM2/ AM2 PT100** оснащены двумя аналоговыми входами, модуль **LOGO! AM2 AQ** – двумя аналоговыми выходами. Общее количество подключаемых аналоговых модулей ограничивается максимальной конфигурацией логического модуля: 8 аналоговых входов и 2 аналоговых выхода.

Модуль **LOGO! AM2** предназначен для измерения сигналов напряжения 0...10 В или силы тока 0...20 мА, модуль **LOGO! AM2 PT100** – для измерения температуры с помощью датчиков PT100 с диапазоном измерения от – 50 °С до +200 °С. С помощью модуля **LOGO! AM2 AQ** могут формироваться выходные аналоговые сигналы 0...10 В.

Блоки питания. Стабилизированные блоки питания **LOGO! Power** предназначены для питания логических модулей LOGO!, их входных и выходных цепей, а также любых других нагрузок. Они обеспечивают стабильность выходного напряжения, защиту нагрузки от коротких замыканий, могут использоваться как в промышленных, так и в офисных условиях.

В зависимости от типа блока питания выходное напряжение может составлять 12 или 24 В постоянного тока.

Во всех блоках питания существует возможность регулировки уровня выходного напряжения. Для увеличения нагрузочной способности допускается параллельное включение двух блоков питания, выходные напряжения которых отличаются друг от друга не более чем на 0,2 %.

Модули LOGO! Contact. Модули **LOGO! Contact** предназначены для бесшумной коммутации трехфазных цепей переменного тока напряжением до 400 В с активной нагрузкой до 20 А или трехфазных асинхронных электродвигателей мощностью до 4 кВт. Модули выпускаются двух модификаций, отличающихся напряжением питания обмотки управления: для постоянного тока это 24 В, для переменного тока – 230 В. Их обмотки управления подключаются к соответствующим выводам логических модулей LOGO! или модулей расширения - DM8/DM16.

Параметры модулей **LOGO! Contact** приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Параметры модулей LOGO! Contact

Параметры	LOGO! Contact 24	LOGO! Contact 230
Рабочее напряжение	24 В постоянного тока	230 В переменного тока, 50/60 Гц
Активная нагрузка, I _{ном}	20 А	
Активная нагрузка, Р _{ном}	13 кВт	
Электродвигатель, I _{ном}	8,4 А	
Электродвигатель, Р _{ном}	4 кВт	

Логические функции элементов LOGO!. В логических модулях LOGO! используется набор функций, встроенных в их операционную систему. Все функции сгруппированы в две библиотеки – **GF** и **SF**. Библиотека **GF** содержит базовый набор функций, позволяющий использовать в программе модуля все основные логические операции. Библиотека **SF** содержит набор функций специального назначения, к которым относятся триггеры, таймеры, счетчики, компараторы, часы и календари, элементы задержки включения и отключения, генераторы, функции работы с аналоговыми величинами и т. д.

Элементы **LOGO!** имеют следующие логические функции:

AND – конъюнкция, **И**, содержит 4 входных сигнала;

NAND – функция Вебба, **НЕ-И**, содержит 4 входных сигнала;

OR – дизъюнкция, **ИЛИ**, содержит 4 входных сигнала;

NOR – штрих Шеффера, **НЕ-ИЛИ**, содержит 4 входных сигнала;

XOR – исключающее **ИЛИ**, содержит 2 входных сигнала;

NOT – инверсия, **НЕ**, содержит 1 входной сигнал.

Условные обозначения логических функций, используемые в программе LOGO! SOFT COMFORT, приведены на рисунке 3.1.

Особенности реализации логических функций на элементах LOGO!:

- любой из входных сигналов может быть инвертирован, для этого достаточно навести на него курсор и один раз нажать левой клавишей манипулятора «мышки»;

- для функций **AND** и **NAND** на незадействованные входы автоматически подается сигнал «1»;

- для функций **OR**, **NOR** и **XOR** на незадействованные входы автоматически подается сигнал «0»;

- для функции **AND по фронту** выходной сигнал принимает значение **1** только тогда, когда на всех входах имеется значение **1** и хотя бы один вход имел в предыдущем состоянии значение **0** (рисунок 3.2);

- для функции **NAND по фронту** выходной сигнал принимает значение **1** только тогда, когда хотя бы один вход имеет значение **0**, а все входы имели в предыдущем состоянии значение **1** (рисунок 3.3).

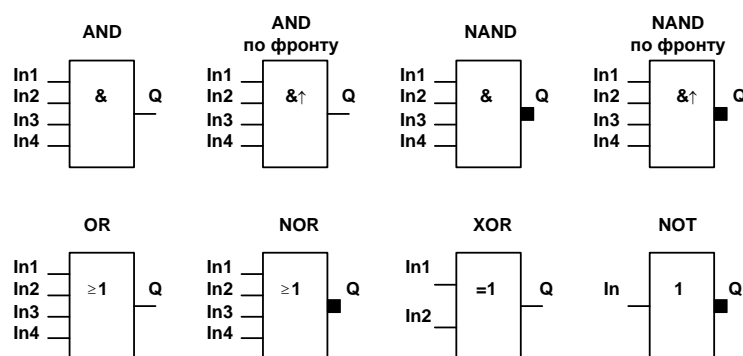


Рисунок 3.1 Обозначения логических функций элементов LOGO!

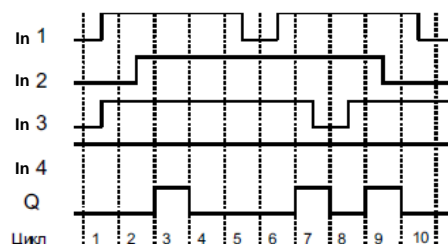


Рисунок 3.2 Временная диаграмма функции **AND** с анализом фронта

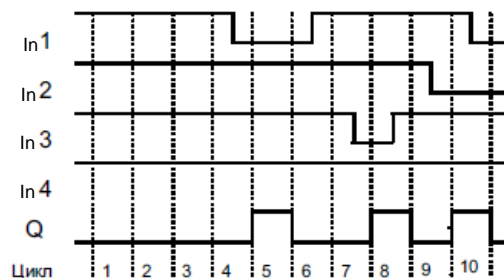


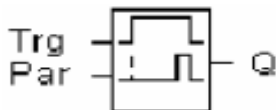
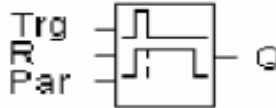
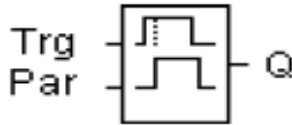
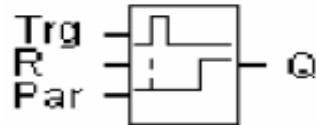
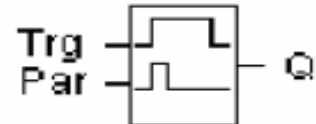
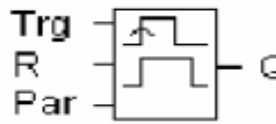

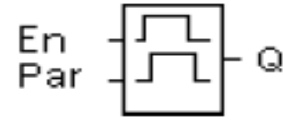
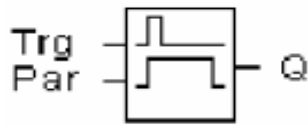
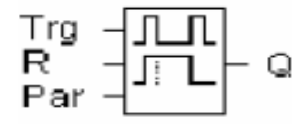
Рисунок 3.3 Временная диаграмма функции **NAND** с анализом фронта

Временные и специальные функции элементов LOGO!. Элементы LOGO! имеют 29 временных и специальных функций, содержащихся в библиотеке **GF** программы LOGO! Soft Comfort. Подробное описание этих функций приведено в руководстве по элементам LOGO!. В методическом указании представлены основные характеристики элементов, используемых для построения дискретных систем управления.

В таблице 3.3 даны описания таймеров и счетчиков, **Rem** — означает наличие у данной функции параметризуемой сохраняемости.

Допустимые значения величины времени для функций, реализующих задержку включения, задержку отключения, задержку включения-отключения, задержку включения с запоминанием, генераторов и др. временных элементов, приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.3 Временные и специальные функции элементов LOGO!

Представление в LOGO!	Название специальной функции	Rem
Таймеры		
	Задержка включения	REM
	Задержка выключения	REM
	Задержка включения/ выключения	REM
	Задержка включения с запоминанием	REM
	Интервальное реле времени (вывод импульса)	REM
	Интервальное реле времени, запускаемое фронтом	REM
	Асинхронный генератор импульсов	REM
	Генератор случайных импульсов	
	Выключатель света на лестничной клетке	REM
	Двухфункциональный выключатель	REM

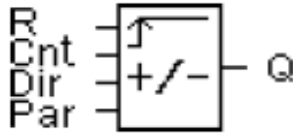
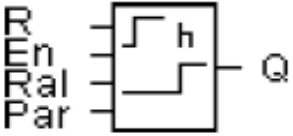
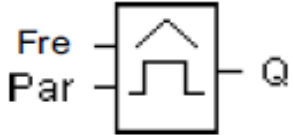

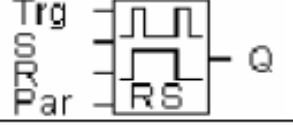
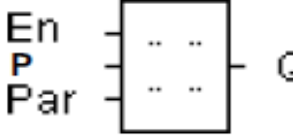
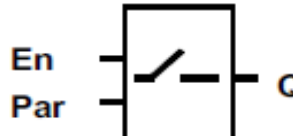
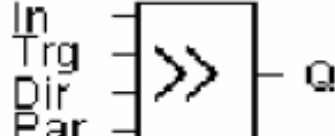
Представление в LOGO!	Название специальной функции	Rem
Счетчики		
	Реверсивный счетчик	REM
	Счетчик рабочего времени	REM
	Пороговый выключатель	
Разное		
	Самоблокирующееся реле	REM
	Импульсное реле	REM
	Тексты сообщений	
	Программный выключатель	REM
	Регистр сдвига	REM

Таблица 3.4 Диапазоны времени задержки

База времени	макс. величина	мин. разрешение	Точность
s (секунды)	99:99	10 мс	± 10 мс
m (минуты)	99:59	1с	± 1 с
h (часы)	99:59	1 мин	± 1 мин

В виду особенностей элементной базы элементов LOGO! нельзя устанавливать время, меньшее 0,02 секунды. Максимальное отклонение для установленного времени составляет 0,02%.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

4.1 Описание лабораторной установки

Стенд предназначен для разработки алгоритмов дискретного управления технологическим оборудованием, исследования их функционирования в программной среде LOGO! SOFT COMFORT.

Функциональная схема лабораторного стенда для LOGO! 24 В представлена на рисунке 4.1.

Входной блок включает в себя трехфазную четырехпроводную систему переменного тока с номинальным напряжением 220 В. Источником питания для логических модулей служит постоянный ток напряжением 24 В, поступающий со стабилизированного блока питания LOGO! Power.

Питание на логические модули поступает от двух однополюсных автоматических выключателей – на каждый блок логических элементов. Для сигнализации подачи питания на стенд и блоки логических модулей использованы сигнальные лампы.

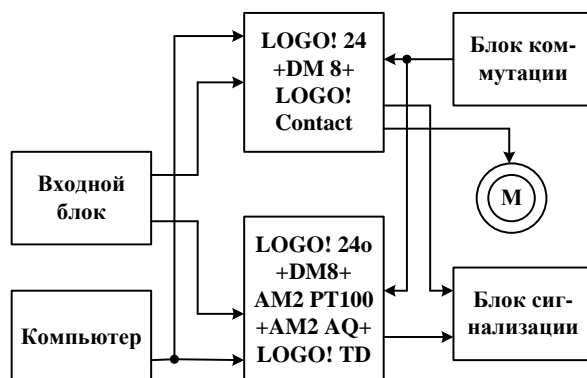


Рисунок 4.1 Функциональная схема лабораторного стенда LOGO! 24 В

Блок LOGO! 24 + DM8 + LOGO! Contact включает в себя универсальный логический модуль LOGO! 24C с встроенной клавиатурой и дисплеем, 8-канальный модуль ввода-вывода дискретных сигналов DM8 и модуль LOGO! Contact 24 для бесшумной коммутации цепей постоянного тока напряжением 24 В.

Блок LOGO! 24 + DM8 + AM2 PT100 + AM2 AQ + LOGO! TD включает в себя универсальный логический модуль LOGO! 24Co без дисплея, 8-канальный модуль ввода-вывода дискретных сигналов DM8, модули AM2 PT100, AM2 AQ для увеличения количества аналоговых входов и выходов, обслуживаемых одним логическим модулем LOGO! (модули LOGO! AM2 и AM2 PT100 оснащены 2 аналоговыми входами, модуль LOGO! AM2 AQ двумя аналоговыми выходами) и текстовым дисплеем LOGO! TD.

Блок коммутации предназначен для подачи на входы логических модулей управляющих сигналов. В качестве таковых в блоке используются тумблеры – для подачи постоянных сигналов и кнопки управления с самовозвратом – для подачи импульсных сигналов.

Блок сигнализации используется для имитации нагрузки. В качестве нагрузки используются сигнальные лампы и асинхронный двигатель.

Компьютер предназначен для разработки, отладки, полного тестирования и ввода коммутационной программы в логический модуль.

Асинхронный двигатель предназначен для демонстрации возможности прямого пуска с использованием логических модулей.

Принципиальная схема стенда представлена на рисунке 4.2. Подключение персонального компьютера (ПК) на схеме не показано.

Назначение элементов электрической схемы лабораторного стенда:

QF1 – подает напряжение питания 220 В на оборудование стенда, осуществляет его защиту от коротких замыканий;

QF2 – подает напряжение питания 24 В на элементы LOGO! 24Co, LOGO! DM8 24, LOGO! AM2 PT100, LOGO! AM2 AQ, LOGO! TD стенда;

QF3 – подает напряжение питания 24 В на элементы LOGO! 24C, LOGO! DM8 24, LOGO! Contact 24 стенда;

HL1 – сигнальная лампа, предупреждающая о подаче питания 220 В на стенд;

HL2 – сигнальная лампа, предупреждающая о подаче питания 24 В на элементы LOGO! 24C, LOGO! DM8 24, LOGO! Contact 24 стенда;

HL3 – сигнальная лампа, предупреждающая о подаче питания 24 В на элементы LOGO! 24Co, LOGO! DM8 24, LOGO! AM2 PT100, LOGO! AM2 AQ, LOGO! TD стенда;

SA1...SA16 – тумблеры для имитации входных сигналов;

HL4...HL18 – сигнальные лампы, имитирующие нагрузку;

SB1...SB8 – кнопки управления с самовозвратом для имитации входных сигналов;

D1 - модуль LOGO! Contact 24;

D2 - стабилизированный блок питания LOGO! Power;

D3 - логический модуль LOGO! 24C с дисплеем и клавиатурой, предназначенный для реализации основных логических функций и специальных функций;

D4 – модуль расширения LOGO! DM 8 24, предназначенный для увеличения количества входных и выходных сигналов логического модуля LOGO! 24C;

D5 – текстовый дисплей LOGO! TD;

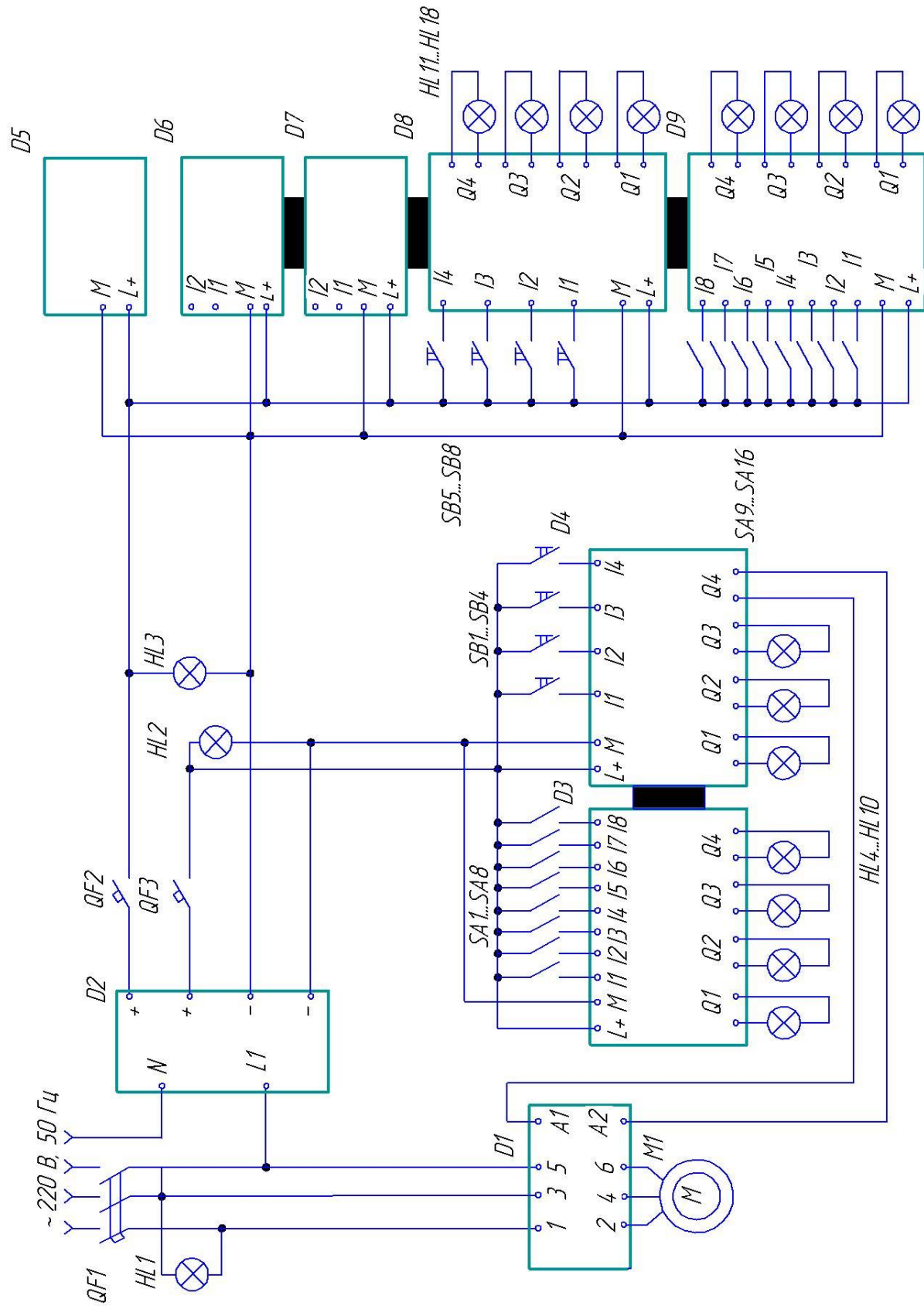
D6 – модуль расширения LOGO! AM2 AQ, предназначенный для увеличения количества аналоговых входов и выходов, обслуживаемых логическим модулем LOGO! 24Co (в стенде не используется);

D7 – модуль расширения LOGO! AM2 PT100, предназначенный для увеличения количества аналоговых входов (измерения температуры с помощью датчиков PT100 с диапазоном измерения от -50°C до $+200^{\circ}\text{C}$) и выходов, обслуживаемых логическим модулем LOGO! 24Co (в стенде не используется);

D8 – модуль расширения LOGO! DM 8 24, предназначенный для увеличения количества входных и выходных сигналов логического модуля LOGO! 24Co;

D9 – логический модуль LOGO! 24C без дисплея и клавиатуры, предназначенный для реализации основных логических функций и специальных функций.

M1 – трехфазный асинхронный двигатель АИР63А4.



■ - соединение элементов LOGO!

Рисунок 4.2 Схема лабораторного стенда LOGO! 24 В

Расположение элементов стенда показано на рисунке 4.3, оно полностью соответствует схеме, приведенной на рисунке 4.2.

Для исключения ошибочных действий при выполнении лабораторной работы и выхода из строя элементов установки все оборудование стенда смонтировано согласно приведенной схеме и не требует вмешательства студентов при выполнении программы исследований.

Лабораторная работа предусматривает изучение только элементов LOGO! 24C, LOGO! DM8, LOGO! 24Co, LOGO! Contact 24 стенда. Основные положения, связанные с методикой выполнения лабораторной работы:

шаг 1 - изучить схему лабораторного стенда, подключение и назначение всех приборов и аппаратов;

шаг 2 - изучить функциональные возможности LOGO! 24C, LOGO! DM8, LOGO! 24Co, LOGO! Contact 24, научиться включать/отключать логические модули;

шаг 3 - при отключенном электропитании стенда определить последовательности начала, выполнения и окончания исследований; записать паспортные данные используемого оборудования; ответить на контрольные вопросы преподавателя для допуска к выполнению лабораторной работы;

шаг 4 - согласно программе по пунктам выполнить исследования режимов работы дискретных систем управления электроприводом;

шаг 5 - выполнить графические построения для оформления работы, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

После допуска преподавателем студентов к выполнению экспериментальной части лабораторной работы, следует начать ее с создания и эмуляции на ПК принципиальной схемы управления. После проверки правильности принципиальной схемы, необходимо загрузить ее в логический модуль.

После загрузки схемы управления разрешается в присутствии преподавателя исследовать нормальные режимы работы электропривода. Согласно требованиям методических рекомендаций выполнить необходимые графические построения и сделать выводы по результатам экспериментальных исследований. Подготовиться к ответам на контрольные вопросы для защиты лабораторной работы.

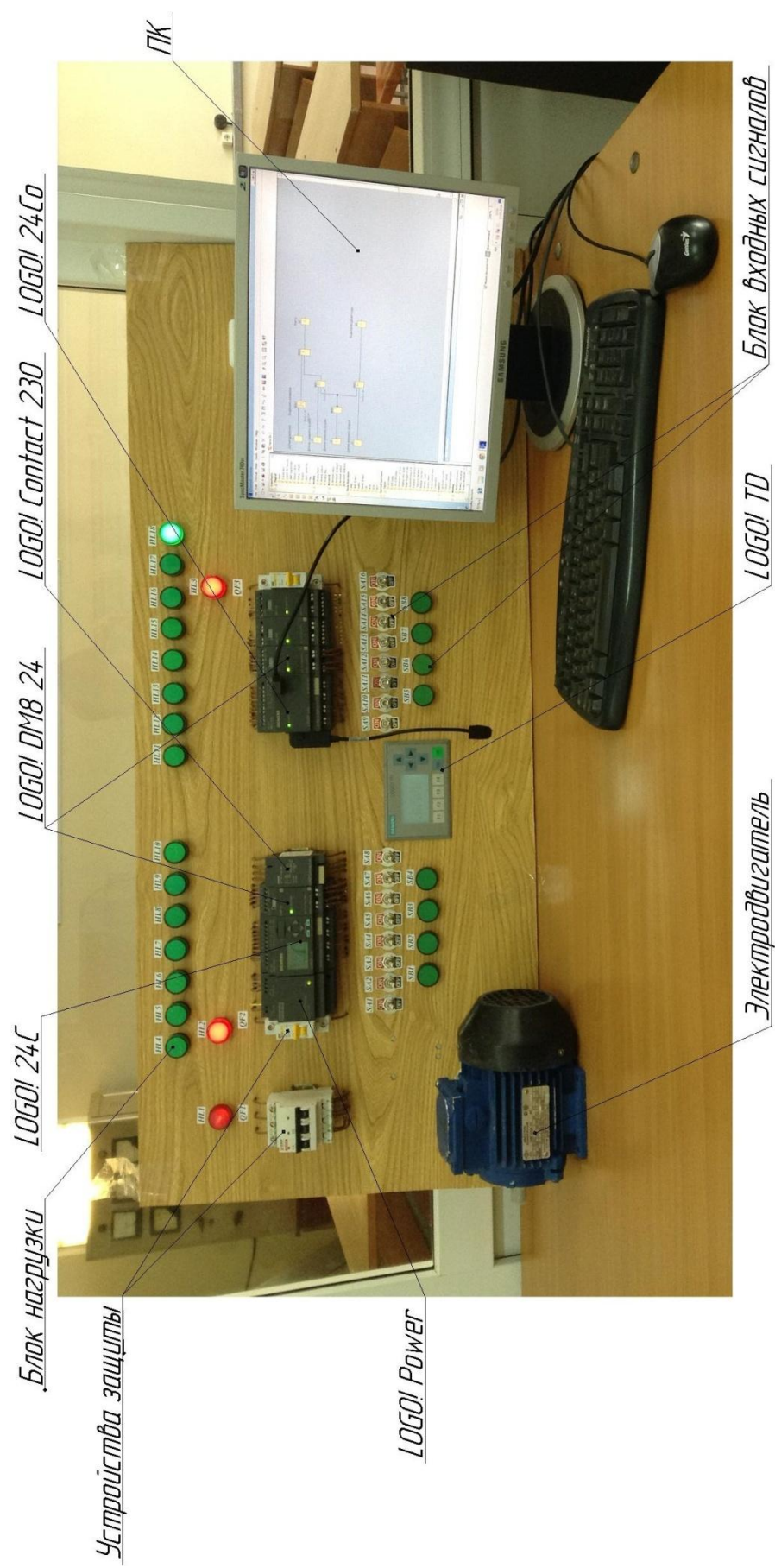


Рисунок 4.3 Расположение оборудования стенда LOGO! 24 В

4.2 Содержание работы

4.2.1 Ознакомиться с элементами LOGO! и программой LOGO! SOFT COMFORT.

4.2.2 Составить программу для определения соответствия тумблеров *SA1...SA16*, кнопок *SB1...SB8* и сигнальных ламп *HL4...HL18* входным и выходным клеммам элементов LOGO! на стенде.

4.2.3 Составить примеры программ в LOGO! SOFT COMFORT для выполнения исследований на лабораторном стенде:

- логических функций **И**, **ИЛИ**, **«запрет»** (например, по X1 или по X2), **импликация** (например, от X1 к X2 или от X2 к X1) – используются тумблеры *SA1...SA16*, кнопки *SB1...SB8* и сигнальные лампы *HL4...HL18*;

- временных функций **«задержка при включении»**, **«задержка при отключении»**, **«задержка при включении и отключении»**, интервал времени задержки выбрать самостоятельно из диапазона 2...8 с – используются тумблеры *SA1...SA16*, кнопки *SB1...SB8* и сигнальные лампы *HL4...HL11*;

- нереверсивного управления электродвигателем – используются тумблеры *SA1...SA8*, кнопки *SB1...SB4*, LOGO! Contact 24 и электродвигатель *M1*;

4.2.4 Получить у преподавателя задание на самостоятельную разработку программ в LOGO! SOFT COMFORT.

4.2.5 Подготовить отчет о работе.

4.3 Порядок выполнения работы

4.3.1 Включить питание лабораторного стенда - *QF1*.

4.3.2 Включить персональный компьютер.

4.3.3 Загрузить в компьютер программу LOGO! SOFT COMFORT, используя клавиатуру и манипулятор «мышь».

4.3.4 Ввести в компьютер исследуемую программу (либо с клавиатуры, либо с накопителя типа «флэш-память»).

4.3.5 Проверить соединение компьютера с элементом LOGO! 24C или LOGO! 24Co, при отсутствии соединения обратиться за помощью к преподавателю, включить питание элементов – либо *QF2*, либо *QF3*.

4.3.6 Загрузить исследуемую программу из компьютера в LOGO! 24C или LOGO! 24Co.

4.3.7 Выполнить проверку работы исследуемой программы на лабораторном стенде.

4.3.8 Ввести новую программу управления в компьютер и повторить действия по пунктам 4.3.5 - 4.3.7.

4.3.9 Показать все результаты исследований преподавателю.

4.3.10 Закрывать программу LOGO! SOFT COMFORT, выключить персональный компьютер, отключить электропитание стенда, оформить отчет о проведенных исследованиях.

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- алгоритмы выполнения программ;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

6.1 Назначение логических модулей LOGO!.

6.2 Библиотека LOGO! SOFT COMFORT.

6.3 Программирование логических модулей LOGO!.

6.4 Логические функции элементов LOGO!.

6.5 Временные и специальные функции элементов LOGO!.

6.6 Отладка алгоритмов управления в LOGO! SOFT COMFORT.

9 ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ LOGO! НА 230 В ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Лабораторная работа № 9

1 Цель работы

Исследование микропроцессорных устройств LOGO! на 230 В для построения дискретных систем автоматизированного управления

электроприводами сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.

2 Программа работы

2.1 Изучить функциональные возможности логических модулей дискретного управления LOGO! на 230 В.

2.2 Исследовать элементарные логические функции, применяемые для реализации алгоритмов дискретного управления электроприводами сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.

2.3 Исследовать вопросы программирования и моделирования дискретных алгоритмов управления в программной среде LOGO! SOFT COMFORT, позволяющей быстро и легко создавать, тестировать, изменять, сохранять и распечатывать коммутационные программы, а так же выполнять программирование модулей с их клавиатуры без использования дополнительного программного обеспечения.

3 Краткие теоретические сведения

Краткие теоретические сведения об элементах LOGO! [7, 8, 9] изучаются на основании информации, изложенной в соответствующем разделе предыдущей лабораторной работы.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

4.1 Описание лабораторной установки

Функциональная схема лабораторного стенда для изучения LOGO! 230 В представлена на рисунке 4.1.

Входной блок включает в себя источник питания, в качестве которого выступает трехфазная четырехпроводная система переменного тока с номинальным напряжением 220 В. Питание на логические модули поступает от трехполюсного автоматического выключателя и двух однополюсных автоматических выключателей – на каждый блок логических элементов. Для сигнализации подачи питания на стенд и блоки логических модулей использованы сигнальные лампы.

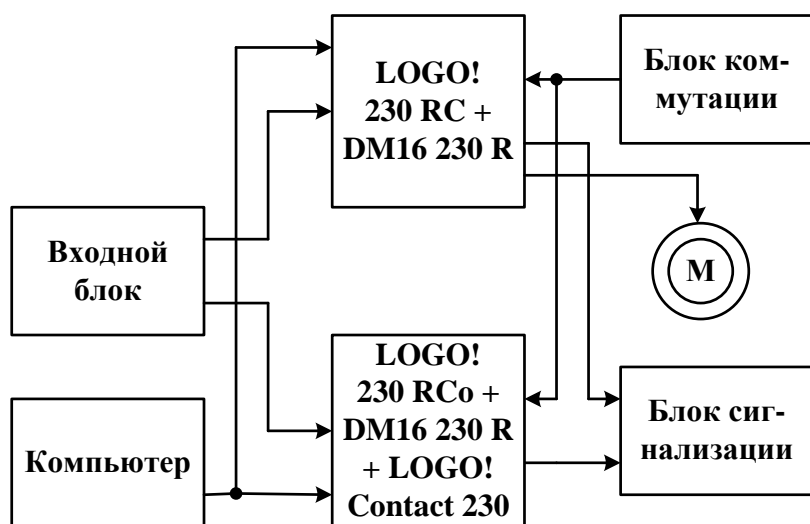


Рисунок 4.1 Функциональная схема лабораторного стенда LOGO! на 230 В

Блок *LOGO! 230RC + DM16 230R* включает в себя универсальный логический модуль LOGO! 230RC с встроенной клавиатурой и дисплеем и 16-канальный модуль ввода-вывода дискретных сигналов DM16 230R.

Блок *LOGO! 230RCo + DM16 230R + LOGO! Contact 230* включает в себя универсальный логический модуль LOGO! 230RC без дисплея, 16-канальный модуль ввода-вывода дискретных сигналов DM16 230R и модуль LOGO! Contact для бесшумной коммутации цепей трехфазного переменного тока.

Блок коммутации предназначен для подачи для подачи на входы логических модулей управляющих сигналов. В качестве таковых в блоке используются тумблеры – для подачи постоянных сигналов и кнопки управления с самовозвратом – для подачи импульсных сигналов.

Блок сигнализации используется для имитации нагрузки. В качестве нагрузки используются сигнальные лампы и асинхронный двигатель.

Компьютер предназначен для разработки, отладки, полного тестирования и ввода коммутационной программы в логический модуль.

Асинхронный двигатель предназначен для демонстрации возможности прямого пуска с использованием логических модулей.

Принципиальная схема стенда представлена на рисунке 4.2. Подключение персонального компьютера (ПК) на схеме не показано.

Назначение элементов схемы:

QF1 – подает напряжение питания 220 В на оборудование стенда, осуществляет его защиту от коротких замыканий;

QF2 – подает напряжение питания 220 В на элементы LOGO! 230 RCo, LOGO! DM16 230 R, LOGO! Contact 230 стенда;

QF3 – подает напряжение питания 220 В на элементы LOGO! 230 RC, LOGO! DM16 230 R стенда.

HL1 – сигнальная лампа подачи питания 220 В на стенд;

HL2 – сигнальная лампа подачи питания 220 В на элементы LOGO! 230 RCo, LOGO! DM16 230 R, LOGO! Contact 230 стенда;

HL3 –питания 220 В на элементы LOGO! 230 RC, LOGO! DM16 230 R стенда;

SA1...SA24 – тумблеры для имитации входных сигналов;

HL4...HL18 – сигнальные лампы для имитации выходных сигналов;

SB1...SB8 – кнопки для имитации входных сигналов;

D1 - модуль LOGO! Contact 230;

D2 - логический модуль LOGO! 230RC с дисплеем и клавиатурой, предназначенный для реализации основных логических функций и специальных функций;

D3 - модуль расширения LOGO! DM16 230R, предназначенный для увеличения количества входных и выходных сигналов логического модуля LOGO! 230RC;

D4 – - модуль расширения LOGO! DM16 230R, предназначенный для увеличения количества входных и выходных сигналов логического модуля LOGO! 230 RCo;

D5 – - логический модуль LOGO! 230RCo без дисплея и клавиатуры, предназначенный для реализации основных логических функций и специальных функций;

M1 – трехфазный асинхронный двигатель АИР63А4.

Расположение элементов стенда показано на рисунке 4.3, оно полностью соответствует схеме, приведенной на рисунке 4.2.

Для исключения ошибочных действий при выполнении лабораторной работы и выхода из строя элементов все оборудование смонтировано согласно приведенной схеме стенда и не требует вмешательства студентов при выполнении программы исследований.

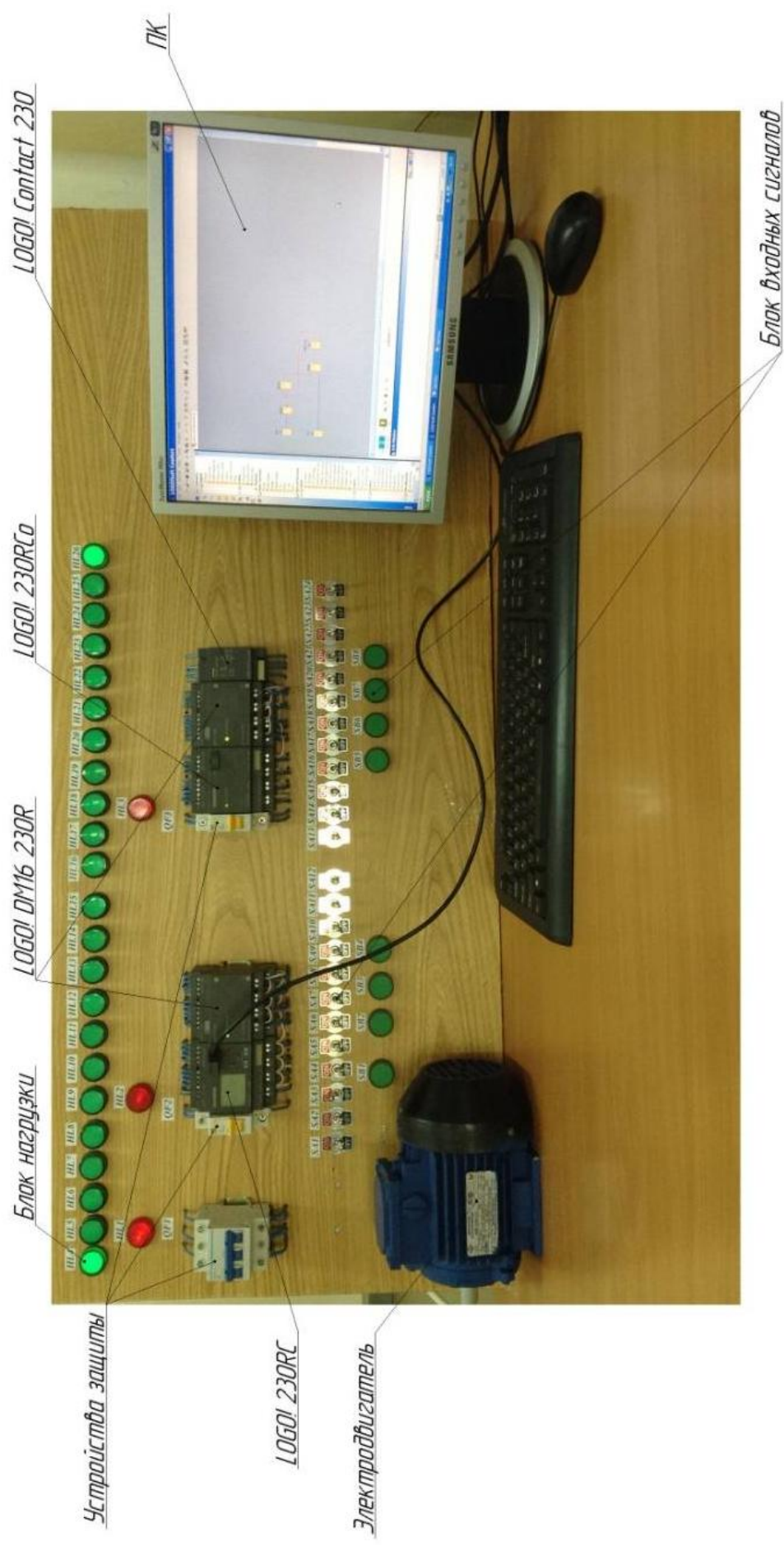


Рисунок 4.3 Расположение оборудования стенда LOGO! 230 В

Лабораторная работа предусматривает изучение элементов LOGO! 230 RC, LOGO! DM16 230 R, LOGO! 230 RCo, LOGO! Contact 230 стенда. Основные положения, связанные с методикой выполнения лабораторной работы:

шаг 1 - изучить схему лабораторного стенда, подключения и назначение приборов и аппаратов;

шаг 2 - изучить функциональные возможности LOGO! 230 RC, LOGO! DM16 230 R, LOGO! Contact 230, LOGO! 230 RCo, научиться включать/отключать логические модули;

шаг 3 - при отключенном электропитании стенда определить последовательности начала, выполнения и окончания исследований; записать паспортные данные используемого оборудования; ответить на контрольные вопросы преподавателя для допуска к выполнению лабораторной работы;

шаг 4 - согласно программе по пунктам выполнить исследования режимов работы дискретных систем управления электроприводом;

шаг 5 - выполнить графические построения для оформления работы, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

После допуска преподавателем студентов к выполнению экспериментальной части лабораторной работы следует начать ее с создания и эмуляции на ПК принципиальной схемы управления. После проверки правильности принципиальной схемы, необходимо загрузить ее в логический модуль. После загрузки схемы управления разрешается в присутствии преподавателя исследовать режимы работы электропривода.

Согласно требованиям методических рекомендаций выполнить необходимые графические построения и сделать выводы по результатам экспериментальных исследований. Подготовиться к ответам на контрольные вопросы для защиты лабораторной работы.

При выполнении лабораторной работы последовательность действий по изучению элементов LOGO! должно быть от простого к сложному. Поэтому студенты после ознакомления со стендом должны выполнить:

- включение/отключение элементов LOGO!;
- на листе бумаги смоделировать расположение основных элементов, задание входных и направление выходных сигналов;
- смоделировать работу временных функций: задержка включения, задержка отключения, генератор импульсов;

- ввод программы с ПК в LOGO! и ее пошаговую проверку и отладку;
- моделирование работы по реализации дискретных алгоритмов управления технологическими процессами на элементах LOGO!.

4.2 Содержание работы

4.2.1 Ознакомиться с элементами LOGO! и программой LOGO! SOFT COMFORT.

4.2.2 Составить программу для определения соответствия тумблеров *SA1...SA24*, кнопок *SB1...SB8* и сигнальных ламп *HL4...HL18* входным и выходным клеммам элементов LOGO! на стенде.

4.2.3 Составить примеры программ в LOGO! SOFT COMFORT для выполнения исследований на лабораторном стенде:

- логических функций **И**, **ИЛИ**, «**запрет**» (например, по *X1* или по *X2*), **импликация** (например, от *X1* к *X2* или от *X2* к *X1*) – используются тумблеры *SA1...SA24*, кнопки *SB1...SB8* и сигнальные лампы *HL4...HL18*;

- временных функций «задержка при включении», «задержка при отключении», «задержка при включении и отключении», интервал времени задержки выбрать самостоятельно из диапазона 2...8 с – используются тумблеры *SA1...SA24*, кнопки *SB1...SB8* и сигнальные лампы *HL4...HL18*;

- нереверсивного управления электродвигателем – используются тумблеры *SA13...SA24*, кнопки *SB5...SB8*, LOGO! Contact 230 и электродвигатель *M1*;

4.2.4 Получить у преподавателя задание на самостоятельную разработку программ в LOGO! SOFT COMFORT.

4.2.5 Подготовить отчет о работе.

4.3 Порядок выполнения лабораторной работы

4.3.1 Включить питание лабораторного стенда - *QF1*.

4.3.2 Включить персональный компьютер.

4.3.3 Загрузить в компьютер программу LOGO! SOFT COMFORT, используя клавиатуру и манипулятор «мышь».

4.3.4 Ввести в компьютер исследуемую программу (либо с клавиатуры, либо с накопителя типа «флэш-память»).

4.3.5 Проверить соединение компьютера с элементом LOGO! 230 RC или LOGO! 230 RCo, при отсутствии соединения обратиться за помощью к преподавателю, включить питание элементов – либо *QF2*, либо *QF3*.

4.3.6 Загрузить исследуемую программу из компьютера в LOGO! 230 RC или LOGO! 230 RCo.

4.3.7 Выполнить проверку работы исследуемой программы на лабораторном стенде.

4.3.8 Ввести новую программу управления в компьютер и повторить действия по пунктам 4.3.5 – 4.3.7.

4.3.9 Показать все результаты исследований преподавателю.

4.3.10 Закрывать программу LOGO! SOFT COMFORT и выключить персональный компьютер; отключить электропитание стенда; оформить отчет о проведенных исследованиях.

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- алгоритмы выполнения программ;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

1. Назначение логических модулей LOGO!.
2. Библиотека LOGO! SOFT COMFORT.
3. Программирование логических модулей LOGO!.
4. Логические функции элементов LOGO!.
5. Временные и специальные функции элементов LOGO!.
6. Отладка алгоритмов управления в LOGO! SOFT COMFORT.
7. Отличия элементов LOGO! 24C, LOGO! 230 RC, LOGO! 24Co и LOGO! 230 RCo.

10 ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ SIMOCODE PRO С ДЛЯ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Лабораторная работа № 10

1 Цель работы

Исследование микропроцессорных устройств Simocode pro C для защиты асинхронных электродвигателей сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.

2 Программа работы

2.1 Изучить функциональные возможности Simocode pro C при построении устройств защиты асинхронных электродвигателей.

2.2 Исследовать схемы включения Simocode pro C, применяемых для построения устройств защиты асинхронных электродвигателей.

2.3 Изучить вопросы программирования Simocode pro C, позволяющей быстро создавать, тестировать, изменять и сохранять программы защиты асинхронных электродвигателей в среде Simocode ES.

3 Основные теоретические положения

Аппараты **Simocode pro** представляют собой устройства для контроля и управления двигателями с интерфейсом **PROFIBUS DP**. Это гибкая, модульная система, которая объединяет в себе все функции, которые необходимы для защиты и управления асинхронными электродвигателями. Дополнительно требуются только устройства коммутации и защиты от коротких замыканий в главной цепи (контакты, автоматические выключатели, предохранители).

Основным преимуществом устройств Simocode pro по сравнению с другими устройствами для защиты асинхронных двигателей является наличие унифицированной электронной схемы (базовый аппарат GG1), которая применяется для любых электродвигателей. В зависимости от номинального тока двигателя только меняется типоразмер модуля регистрации тока (IM).

В устройствах Simocode pro предусмотрены возможности реализации не только функций защиты электродвигателей, но и управления их режимами работы от команд внешних датчиков. Команды управления могут поступать от: кнопочных станций «Пуск - Стоп»; блока управления (BB), размещаемого на лицевой панели силового шкафа; от систем автоматизации более высокого уровня по шине PROFIBUS DP (рисунок 3.1) [10].

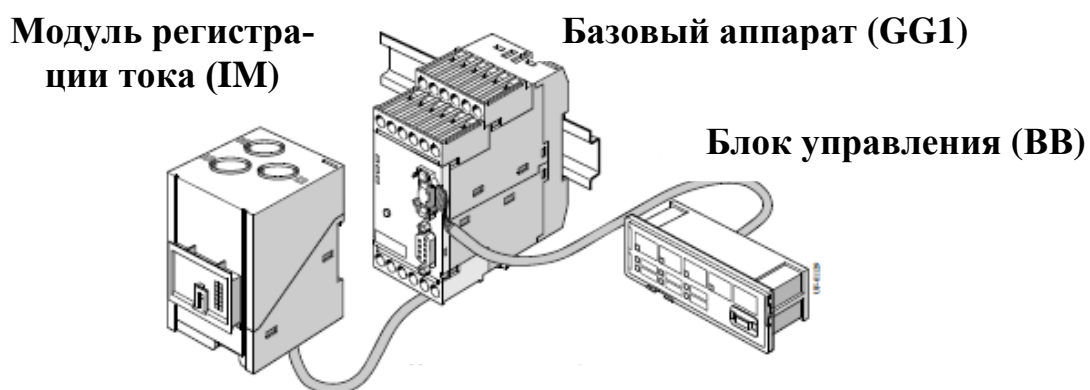


Рисунок 3.1 Типовая комбинация включения Simocode pro C

Simocode pro широко используется в автоматизированных процессах, где простои оборудования связаны с очень большими потерями (например, в системах управления микроклиматом, линиях доения и обработки молока) и где большое значение имеет предотвращение или быстрая локализация аварии на основе подробных эксплуатационных, сервисных и диагностических данных.

Области применения Simocode pro: защита и управление двигателями; при тяжелых условиях пуска (сельское хозяйство, металлургическая промышленность, водное хозяйство); на установках с высоким коэффициентом готовности (химия, нефтепереработка, электростанции). Simocode pro C – это компактная система для: пуска и реверсивного пуска электродвигателя.

В целом устройства Simocode pro относятся к низшему уровню автоматизации и предназначены для установки рядом с электродвигателями. За счет наличия встроенного микропроцессора они способны реализовывать все необходимые функции защиты электродвигателя и при необходимости выполнять простейшие алгоритмы управления (таблица 3.1).

Таблица 3.1 Функции устройств Simocode pro

Требования	Simocode		
	pro C	pro V	Примечания
1	2	3	4
Стандартные двигательные фидеры с функциями управления: прямым пуском, реверсивным пуском, электронным реле перегрузки	+	+	1

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
Контроль блокировки, перекося фаз, выпадение фазы	+	+	1
Измерение тока, контроль предельных значений тока, защита от перегрузки	+	+	1
Контроль замыкания на землю	+	+	1
Термисторная защита двигателя	+	+	
Двигательный фидер с функцией управления: пускатель звезда-треугольник, схема Даландера, переключатель числа полюсов, устройство плавного пуска (все схемы с возможностью реверсирования), клапан, задвижка	–	+	1
Сбор, обработка и вывод аналоговых данных, иногда через аналоговый модуль	–	+	2
Измерение тока и напряжения	–	+	3
Контроль минимального напряжения	–	+	3
Управление потреблением энергии, проведения анализа потребления (мощность, $\cos \varphi$), контроль нагрузки	–	+	3
Контроль замыкания на землю с помощью внешнего суммирующего трансформатора тока	–	+	2
Двоичные входы на 110...240 В AC/DC (до 8)	–	+	2
Бистабильные релейные выходы (до 4)	–	+	2
Аналоговый контроль температуры	–	+	2

Примечание: 1) через модуль измерения тока; 2) с помощью модулей расширения; 3) через модули измерения тока/напряжения.

Simocode pro защищает трехфазные и однофазные двигатели в соответствии с требованиями МЭК 60947-4-1. Класс расцепления имеет 8 ступеней – с 5-го до 40-го (рисунок 3.2). Дополнительно производится расчет параметра «Тепловая модель двигателя» и времени до расцепления вследствие перегрузки. Эти данные передаются в систему управления процессом. После расцепления вследствие перегрузки выводится остающееся время охлаждения. Значение тока двигателя, при котором произошло расцепление, запоминается.

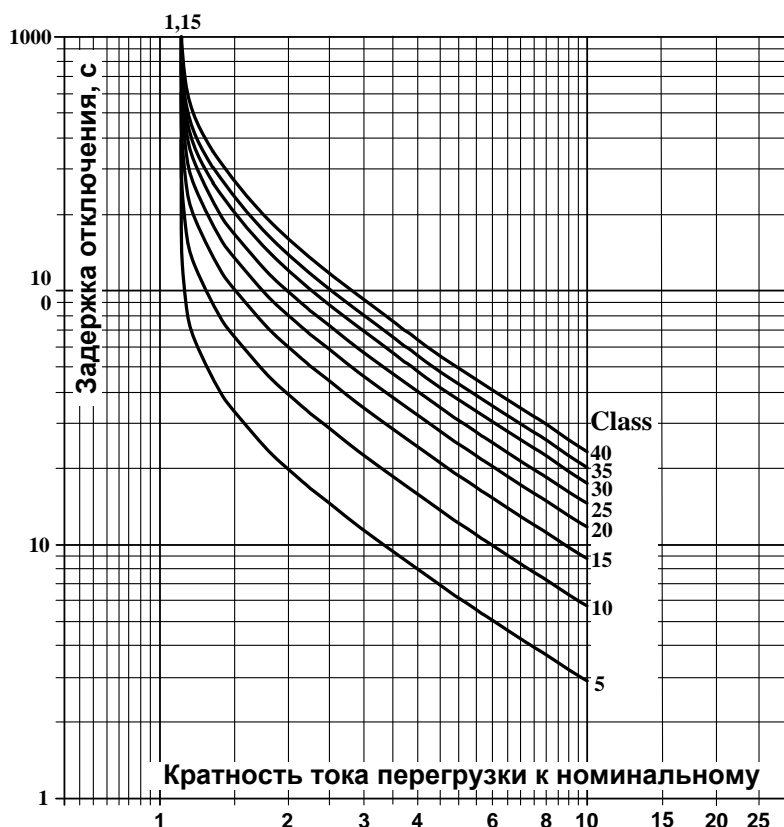


Рисунок 3.2 Время-токовые характеристики расцепления Simocode pro для 3-х фазной симметричной нагрузки

Базовый модуль GG1 содержит:

- интерфейс **PROFIBUS DP**, 12 Мбит/с, RS 485;
- 4 входные и 3 выходные свободно параметризуемые контакты, вход для подключения термистора, моностабильные релейные выходы;
- номинальное напряжение питания управления U_s – DC 24 ВА, AC/DC 110 ... 240 В.

Модули измерения тока - проходные трансформаторы с диапазоном измерения: 0,3 ... 3 А; 2,4 ... 25 А; 10 ... 100 А; 20 ... 200 А; 63 ... 630 А.

Панель оператора – для установки в двери шкафа или на лицевой панели с подключением к базовому аппарату, с LED для индикации состояния и параметризуемые кнопки для ручного управления.

Соединительные кабели – длиной до 2 м, для подключения модуля измерения тока и панели оператора к базовому модулю.

Технические данные базовых модулей **Simocode pro** приведены в таблице 3.2, модулей измерения тока – в таблице 3.3, панели оператора – в таблице 3.4.

Таблица 3.2 Технические данные базового модуля Simocode pro

Наименование	Пояснения
Индикация: - красные / зеленые LED «DEVICE» - зеленые LED «BUS» - красные LED «GEN. FAULT»	-зеленый, готов к работе; -красный, отрицательный результат теста, аппарат заблокирован; - ОТКЛ., нет управляющего напряжения. -постоянное свечение, коммуникация с ПЛК; -мигание, скорость передачи устан. новл./коммуникация с ПК; -постоянное свечение/мигание, сбой фидера, например из-за перегрузки
Кнопка «TEST/RESET»	сброс аппарата после расцепления; проверка функций (самотестирование); обслуживание от ЗУ, втычного адресатора
Системные интерфейсы: - фронтальные - нижние	-подключение панели оператора, модулей расширения или кабеля ПК для параметрирования; -подключение модулей регистрации тока или тока / напряжения
Потребляемая мощность базового аппарата	7 ВА 5 Вт
Релейные выходы: - количество - блок-контакты 3 релейных выходов - номинальный длительный ток	-3 моностабильных релейных выходы; -НО, из них 2 групповых и 1 отдельный со свободным присвоением функций -5 А, 6 А при максимальной температуре +50° С
Термисторная защита: - суммарное сопротивление - значение срабатывания - значение возврата	$\leq 1,5 \text{ кОм}$ 3,4-3,8 кОм 1,-1,65 кОм

**Таблица 3.3 Технические данные модулей регистрации тока
Simocode pro**

Наименование	Пояснения
Главная цепь: - уставка тока - ном. напряжение изоляции - ном. импульсная прочность - точность регистрации тока	0,3-3 А 0,25-25 А 10-100 А 690 В 6 кВ 1000 В 8 кВ +/- 3%

Таблица 3.4 Технические данные панели оператора Simocode pro

Наименование	Пояснения
1	2
Крепление	На двери электрошкафа или лицевой панели
Индикация: - красные / зеленые LED «DEVICE» - зеленые LED «BUS» - красные LED «GEN. FAULT» - 3 желтых LED/ 4 зеленых LED	-зеленый, пост. свет «готов к работе»; -зеленый, мигают «нет связи с базовым аппаратом»; -красный, отрицательный результат теста, аппарат заблокирован; - ОТКЛ., нет управляющего напряжения. -постоянное свет, коммуникация с ПЛК; -мигание, скорость передачи устан. новл./коммуникация с ПК; -постоянное свечение/мигание, сбой фидера, например из-за перегрузки; - для свободного присвоения статуса любым сигналам

Продолжение таблицы 3.4

1	2
<p>Кнопки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - тестирования/сброса - управления 	<ul style="list-style-type: none"> - сброс аппарата после расцепления; - проверка функций (самотестирование); - управление от ЗУ, втычного адресатора; - управления двигателем фидером, свободное присвоение
<p>Системные интерфейсы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - на лицевой стороне - сзади 	<ul style="list-style-type: none"> - подключение модулей расширения или кабеля ПК для параметрирования; - подключение кабеля к базовому аппарату или к модулю расширения

При условии подключения внешних соединений (кнопки, катушки пускателей, датчики и др.), но до параметрирования Simocode pro, если нажать любую кнопку управления, то контакторы не изменят своего состояния. Если через программу **SIMOCODE ES** выбран и загружен в коммутационный аппарат алгоритм управления, то тем самым в базовом аппарате устанавливаются все необходимые связи и блокировки для входных и выходных контактов, т.е. он готов к работе.

Simocode pro параметрируется следующим образом:

- с помощью модуля памяти (ЗУ), в котором уже записаны параметры базового аппарата: модуль памяти вставляется в системный интерфейс; если ЗУ находится в системном интерфейсе и в это время на базовый аппарат подать питание, то произойдет автоматическое параметрирование базового аппарата; параметры можно также загрузить из ЗУ в базовый аппарат коротким нажатием на кнопку Test/Reset;

- с помощью программы **SIMOCODE ES** через последовательный интерфейс ПК/ПГ через ПК-кабель соединяется с системным интерфейсом;

- с помощью системы автоматизации и/или программы **SIMOCODE ES** через PROFIBUS DP; для этого кабель PROFIBUS DP необходимо подключить к интерфейсу PROFIBUS DP на базовом аппарате.

В таблице 3.5 показано распределение контактов съемных клемм базового аппарата GG1.

Таблица 3.5 Распределение контактов съемных клемм в базовом аппарате

Контакт	Назначение	
Верхние клеммы		
1	Общий зажим для выходов реле 1 и 2	1 OUT1 2 2 3 4 IN3 IN4 5 T2
2	Выход реле OUT1	
3	Выход реле OUT2	6 OUT3 7 =24V 8 9 IN1 IN2 10 T1
4	Цифровой вход IN3	
5	Цифровой вход IN4	
T2	Подключ. термистора (двоичный PTC)	SIEMENS SIMOCODE PRO
6	Выход реле OUT3	■ DEVICE
7	Выход реле OUT3	■ BUS
8	24 В DC только для IN1 - IN4	■ GEN. FAULT
9	Цифровой вход IN 1	
10	Цифровой вход IN2	● TEST/RESET
T1	Подключ. термистора (двоичный PTC)	PROFIBUS DP
Нижние клеммы		
A1	Питание, зажим 1	
A2	Питание, зажим 2	
A	PROFIBUS DP, зажим A	
B	PROFIBUS DP, зажим B	
SPE/PE	Экран/PE	A1 A2 A B SPE/PE

Для ввода Simocode pro в эксплуатацию выполняются шаги, приведенные в таблице 3.6.

Таблица 3.6 Ввод в эксплуатацию базового аппарата

Шаг	Описание
1	Включить питание, если все исправно, то должны гореть или мигать следующие зеленые светодиоды: - «Device» (зеленый) гореть; - «Bus» при подключении к PROFIBUS DP гореть или мигать. В противном случае – устранить неисправность.
2	Если нужно, чтобы Simocode pro работал с PROFIBUS DP, то надо задать адрес PROFIBUS DP.
3	Выполнить параметрирование Simocode pro или проверить имеющиеся его параметры на ПК.
4	Провести пуск SIMOCODE ES.

Таблица 3.7 Диагностика с помощью светодиодов

LED	Статус	Сигнал	Описание	Устранение сбоев
Device	Device	зеленый	к работе готов	—
		зеленый мерцает	внутренний сбой	базовый аппарат в ремонт
		желтый	ЗУ или адресатор обнаружены, кнопки T/R управляют ЗУ или адресатором	—
		желтый мерцает	ЗУ / адресатор считаны; восстановлена заводская настройка (длит. 3 с)	—
		желтый мерцает	ЗУ запрограммировано	—
		красный	ошибка в параметрах или сигнал общего сбоя	запараметризовать вновь и откл/вкл управляющее напряжение
			дефект базового аппарата	заменить базовый аппарат
		красный мигает	дефект ЗУ, адресатора, модулей расширения или общий сбой	перепрограммировать или заменить ЗУ, заменить модули расширения
		не горит	упало напряжение питания	проверить наличие или включить питание
Шина	Статус шины	не горит	шина не подключена или сбой в шине	проверить шину или ее параметры
		зеленый мигает	определена скорость передачи данных/связь с ПК/ПГ	—
		зеленый	связь с ПЛК/PLS	—

Продолжение таблицы 3.7

Об- щий сбой	Ста- тус сбоя	крас- ный	имеется сбой; сброс в памяти	устранить сбой, на- пример, перегрузку
		крас- ный мигает	имеется сбой; сброс не записан	устранить сбой, на- пример, перегрузку
		не горит	сбоя нет	—

Диагностика Simocode pro осуществляется с помощью светодиодов. Базовый аппарат и панель оператора оснащены 3 светодиодами (LED), сигнализирующими определенные состояния аппарата (таблица 3.7).

При восстановлении заводских исходных настроек всем параметрам снова возвращаются их исходные значения. Оно выполняется кнопкой Test/Reset на базовом аппарате – таблица 3.8. При неверном выполнении одного из шагов базовый аппарат переходит в обычный режим. Эта функция активна всегда, независимо от параметра «Блокировка кнопок Test/Reset».

Таблица 3.8 Восстановление заводских исходных настроек через кнопку Test/Reset

Шаг	Описание
1	Отключить питание базового аппарата.
2	Нажать и удерживать кнопку Test/Reset на базовом аппарате.
3	Подать питание на базовый аппарат, светодиод «Device» загорится желтым светом.
4	Примерно через 2 с отпустить кнопку Test/Reset.
5	Примерно через 2 с вновь нажать кнопку Test/Reset.
6	Примерно через 2 с отпустить кнопку Test/Reset.
7	Примерно через 2 с вновь нажать кнопку Test/Reset.
8	Примерно через 2 с отпустить кнопку Test/Reset.
9	Заводская базовая настройка восстановлена.

Программа Simocode ES. Параметрирование и ввод в эксплуатацию Simocode pro осуществляется с помощью пакетов программ Simocode ES. Они позволяют реализовать функции управления и защиты электродвигателей программным путем. Программа создает для проектирования Simocode pro удобную и наглядную среду для

прямого параметрирования и ввода в эксплуатацию, встроенная функция прямой печати дает возможность получения полной документации или частичной документации на все выбранные или измененные параметры системы.

Параметрирование - настройка величин и сопряжений функциональных блоков в устройстве Simocode pro C.

При запуске программы Simocode ES создается новая программа – рисунок 3.3.

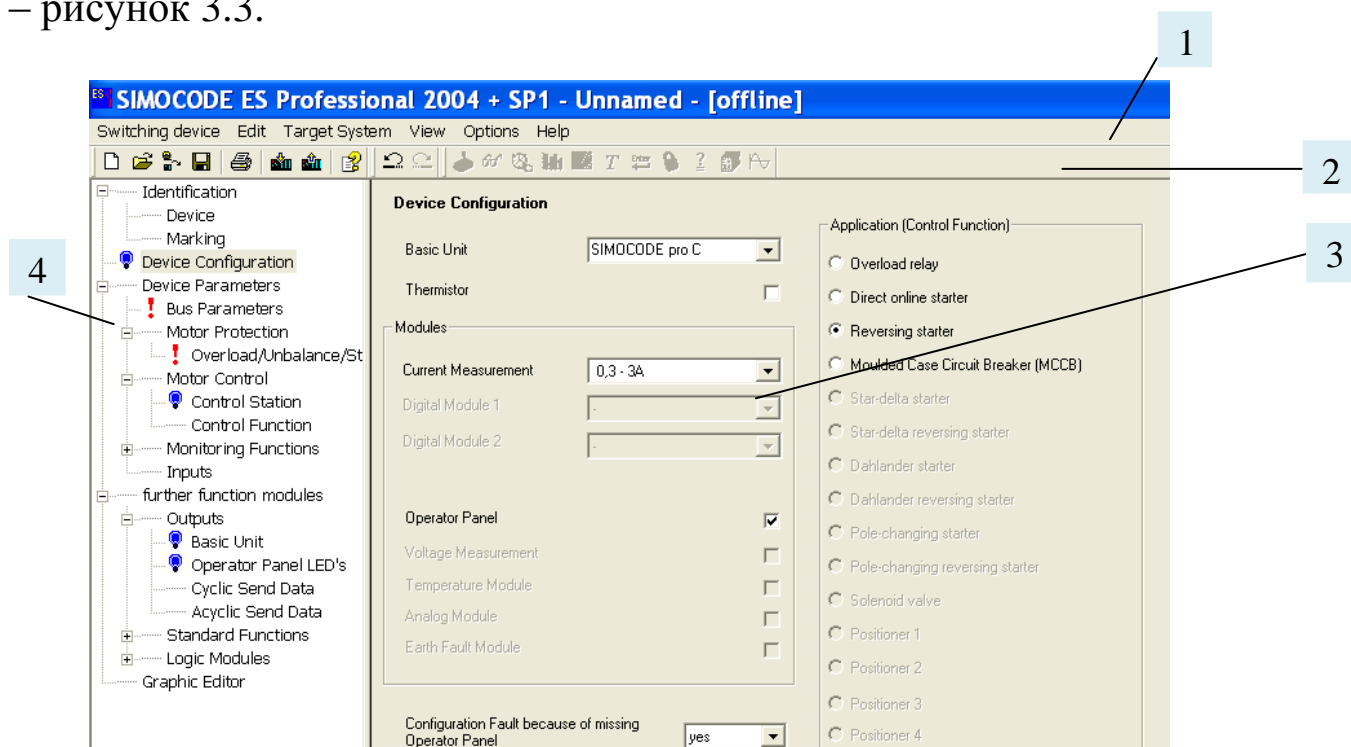


Рисунок 3.3 Окно программы Simocode ES: 1 – панель меню;
2 – стандартная панель инструментов; 3 – поле ввода параметров;
4 – панель инструментов программирования

Панель меню расположена в верхней части программы Simocode ES. На ней располагаются различные команды для редактирования и управления, а также функции для задания параметров по умолчанию и для передачи коммутационной программы в устройство Simocode pro! и из него. Она содержит следующие команды: **Switching device** – включение устройства; **Edit** – редактор; **Target System** – целевая система; **View** – просмотр; **Options** – опции; **Help** – помощь. Программа **Simocode ES** содержит следующие панели инструментов, которые обеспечивают (перечисление слева направо):

New switching device – подключение нового устройства;

Open – открыть;

Open online – открыть в режиме онлайн;
Save – сохранение;
Print – печать;
Load to switching device – загрузка в подключенное устройство;
Load to PC – загрузка в персональный компьютер;
Helptopics – темы помощи;
Control/Status Information – контроль/статус информации;
Faults/Warnings/Status Information – неисправности / предупреждения / статус информации;
Measured Values – измеряемые значения;
Service Data/Statistical Data – сервисные данные/статистические данные;
Error Buffer/Error Protocol – ошибка буфера/ошибка протокола;
Test – тестирование;
Enter Command – ввод команды;
Password – пароль;
Parameter Comparison – параметр сравнения;
Actual Configuration – актуальная конфигурация;
Analog Value Recording – запись аналогового сигнала.

Поле ввода параметров предназначено для ввода (в основном виде цифровых значений) параметров электродвигателя, настроек защиты, управляющих и информационных сигналов. Они вводятся в диалоговом режиме, активными являются строки, выделенные темным шрифтом и характерные для выбранной конфигурации устройства Simocode pro. Остальные сообщения, имеющие не выделенный шрифт, являются не активными и эти строки не заполняются.

Панель инструментов представляет собой раскрывающееся дерево, структура которого зависит от выбранной конфигурации устройства Simocode pro. Его рассмотрение целесообразно провести на примере составления программы в Simocode ES.

При работе с программой Simocode ES используются сообщения:

- дезактивация (disabled) – отключение соответствующей функции с подавлением всех сигналов;
- сигнализация (signaling) – генерируется только один внутренний сигнал, который может обрабатываться как угодно;

- предупреждение (warning) – формируется внутренний сигнал и сигнал предупреждения для передачи по шине Profibus DP, может использоваться для диагностики;

- отключение (tripping) – основные контакты контакторов замыкаются, формируется сигнал о сбое для шины Profibus DP и внутренний сигнал. Сигнал сбоя и внутренний сигнал сохраняются до тех пор, пока не истечет определенное время или не будет устранена и сброшена причина неисправности.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

4.1 Описание лабораторной установки

Функциональная схема лабораторного стенда Simocode pro C представлена на рисунке 4.1.

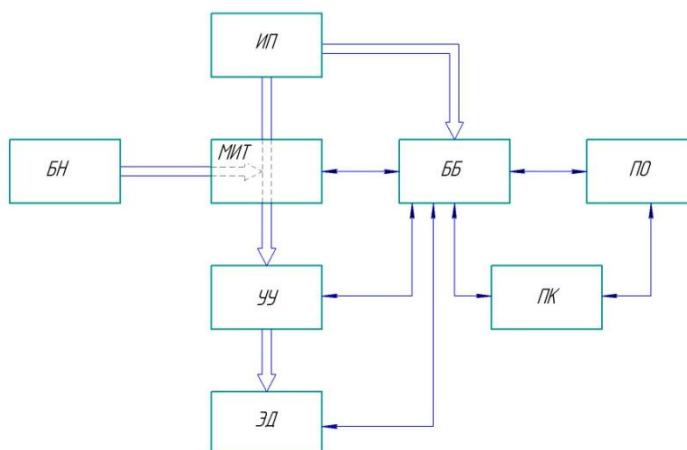


Рисунок 4.1 Функциональная схема лабораторного стенда Simocode pro C

Источником питания **ИП** служит трехфазная система переменного тока. Для обеспечения максимально безопасных условий при выполнении лабораторной работы напряжение питания стенда выбрано трехфазное 220 В.

Модуль измерения тока **МИТ** предназначен для регистрации токов во всех фазах в диапазоне 0,3 А - 3 А с помощью проходного трансформатора.

Базовый аппарат **ББ** – микропроцессорный блок, осуществляющий функции комплексной защиты и управления двигателем.

Панель оператора **ПО**, которая устанавливается в двери электрошкафа, дополнительный пост управления двигателем и индикации.

Персональный компьютер **ПК** с установленным программным обеспечением Simocode ES предназначен для параметрирования базового аппарата **ББ** и является дополнительным каналом для управления двигателем.

Блок нагрузки **БН** содержит реостаты для моделирования режимов нагрузки и перегрузки электродвигателя по току, одинарный резистор для моделирования режима короткого замыкания в статорной цепи электродвигателя, силовой выключатель для подключения параллельно статорным обмоткам электродвигателя реостата нагрузки и перегрузки.

Устройство управления **УУ** включает в себя два контактора, кнопки управления работой базового блока (кнопки «ПУСК», «РЕВЕРС», «СТОП»), тумблеры для создания аварийных ситуаций («ПЕРЕГРУЗКА», «КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ», «ОБРЫВ ФАЗЫ», «НЕСИММЕТРИЯ»), тумблер для отключения кнопки «РЕВЕРС», амперметры для измерения величины тока в одной из фаз электропитания двигателя.

В качестве двигателя на котором будут раскрываться возможности Simocode pro C использован трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором серии АИР63А4 ($P_n = 250$ Вт, $n_n = 1460$ об/мин, $\eta_n = 68\%$, $\cos \varphi_n = 0,67$).

Принципиальная электрическая схема стенда представлена на рисунке 4.2.

Подключение персонального компьютера (ПК) на схеме не показано.

Автоматический выключатель *QF1* предназначен для подачи напряжения электропитания на стенд и для защиты обмоток статора электродвигателя при коротких замыканиях. Автоматический выключатель *QF2* предназначен для включения базового блока устройства Simocode pro C по цепи электропитания. *GG* – базовый блок устройства Simocode pro C. *BI* – модуль измерения тока, подключаемый к базовому блоку *GG* при помощи соединительного кабеля *L1*. *BO* – панель оператора, подключаемая к базовому блоку *GG* при помощи соединительного кабеля *L2*. *PA1* – амперметр для измерения токов в диапазоне до 3 А. *KM1* и *KM2* – контакторы, катушки которых под-

ключены к базовому блоку *GG*, а их контакты коммутируют электропитание обмоток электродвигателя *M*, обеспечивая его прямое и реверсивное вращение. Силовой выключатель *QS1* предназначен для параллельного подключения к обмоткам электродвигателя *M* нагрузочного реостата *R1*. Тумблер *SA4* отключает кнопку управления, подающую команду «РЕВЕРС». Кнопка *SB1* предназначена для моделирования режима короткого замыкания. Тумблер *SA1* предназначен для моделирования режима обрыва фазы. Тумблер *SA2* предназначен для моделирования режима перекоса фаз. Тумблер *SA3* предназначен для включения в работу амперметра *PA2* при измерении токов нагрузки меньших 3 А. Кнопка *SB2* предназначена для подачи команды ПУСК. Кнопка *SB3* предназначена для подачи команды СТОП. Кнопка *SB4* предназначена для подачи команды РЕВЕРС. Резистор *RT* моделирует работу термисторного датчика температуры. Резистор *R2* ограничивает значение тока короткого замыкания.

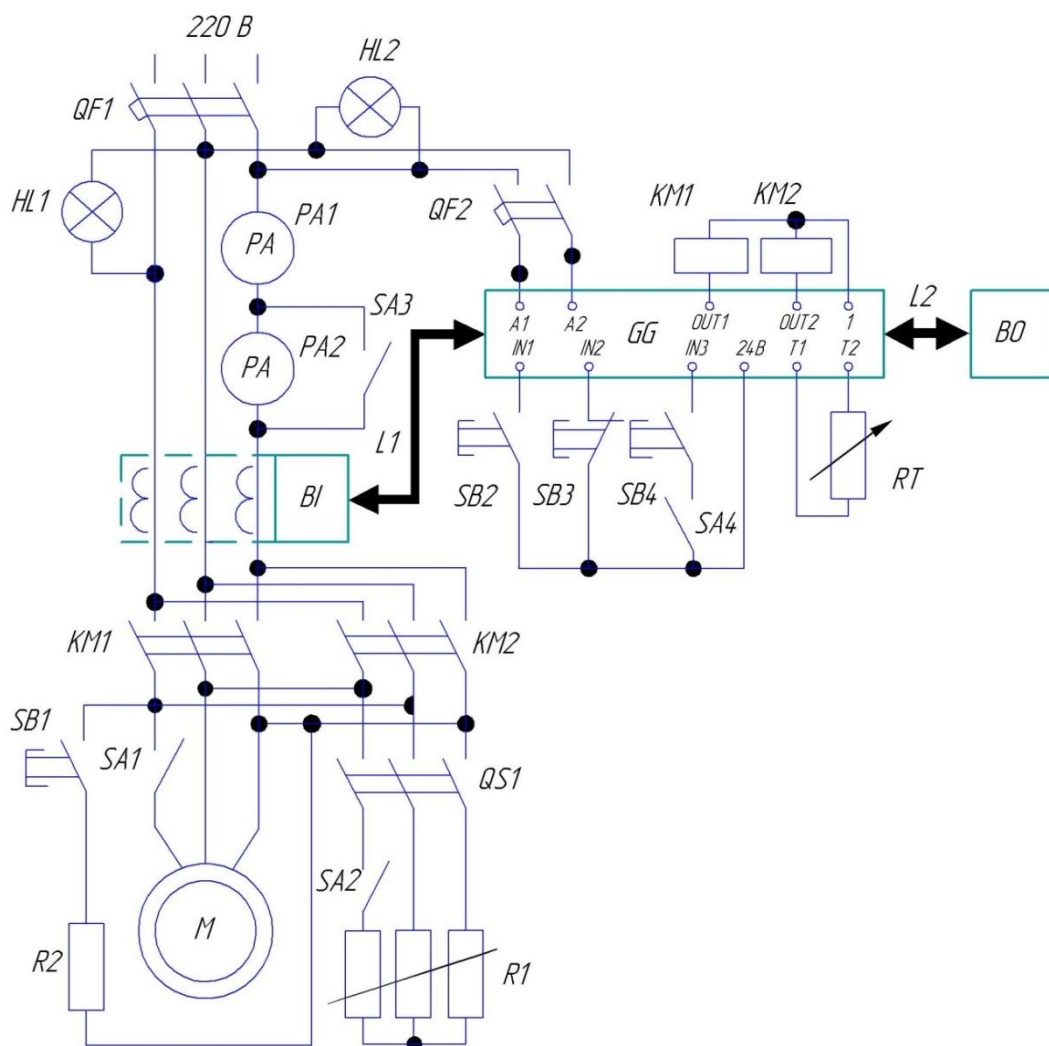


Рисунок 4.2 Принципиальная электрическая схема стенда
с Simocode pro C

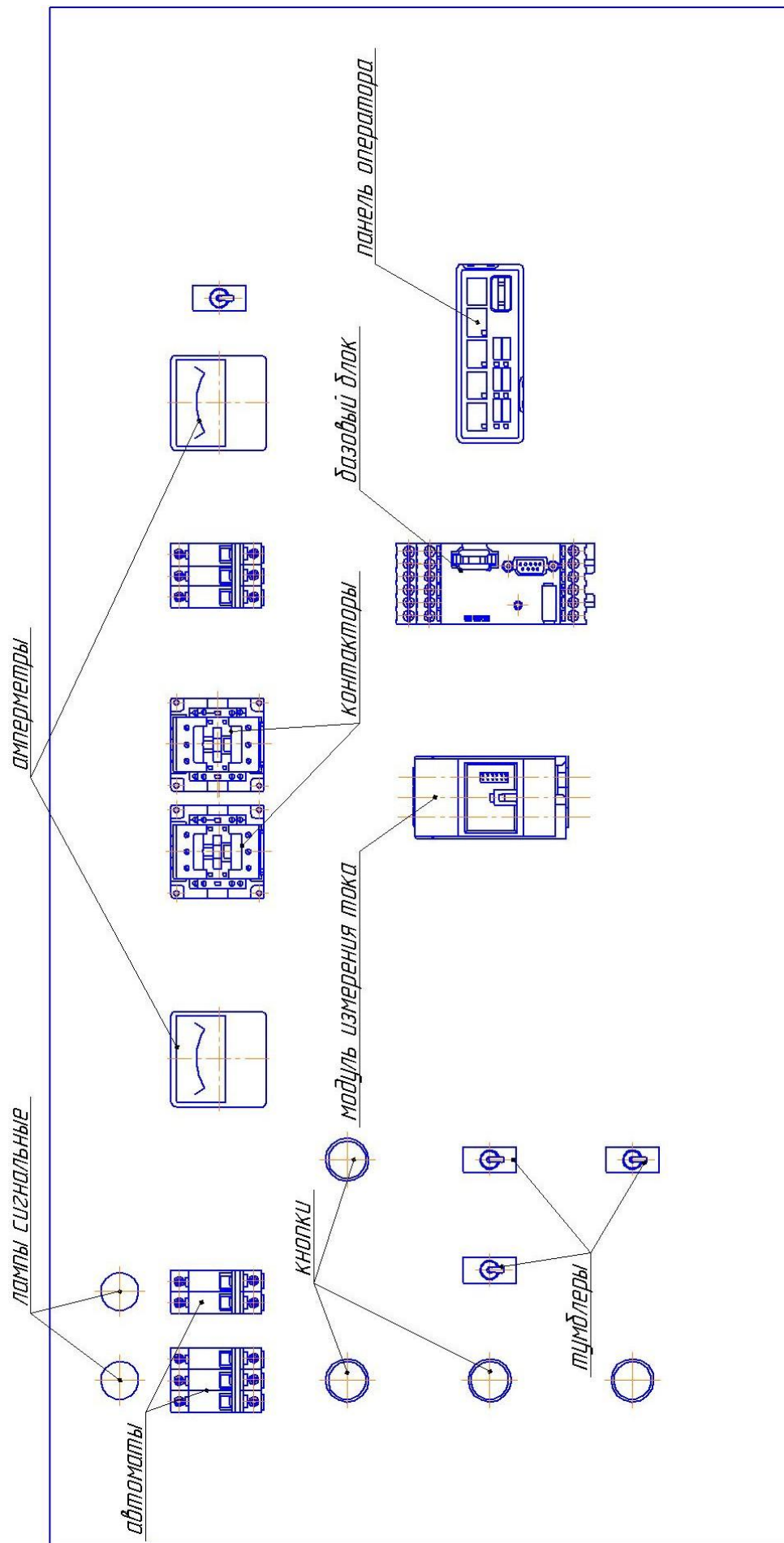


Рисунок 4.3 Лицевая панель лабораторного стенда

Лицевая панель лабораторного стенда приведена на рисунке 4.3.

Для исключения ошибочных действий при выполнении лабораторной работы и выхода из строя дорогостоящего и сложного оборудования все оборудование стенда смонтировано согласно приведенной схеме стенда и не требует никакого вмешательства студентов при выполнении программы исследований.

Основные положения, связанные с методикой выполнения лабораторной работы:

шаг 1 – изучить схему лабораторного стенда, подключения и назначение всех приборов и аппаратов;

шаг 2 – изучить функции защиты, выполняемые устройством Simocode pro C, исследуемые в лабораторной работе аварийные режимы электродвигателя, нумерацию входных и выходных клемм подключения устройства защиты;

шаг 3 – при отключенном электропитании стенда определить последовательности начала, выполнения и окончания исследований; оценить последовательность изменения, регистрации и записи исследуемых величин; записать паспортные данные используемого оборудования; ответить на контрольные вопросы преподавателя для допуска к выполнению лабораторной работы;

шаг 4 – согласно программе по пунктам выполнить исследования режимов работы устройства Simocode pro C по защите электродвигателя от аварийных и нештатных ситуаций;

шаг 5 – выполнить графические построения для оформления работы, подготовиться к ответам на контрольные вопросы.

После допуска преподавателем студентов к выполнению лабораторной работы следует начать ее выполнение, строго руководствуясь последовательностью действий, изложенных в методических указаниях. После загрузки из ПК в устройство Simocode pro C алгоритма защиты и управления разрешается в присутствии преподавателя исследовать режимы работы электропривода. После выполнения работы необходимо показать полученные результаты преподавателю.

Запрещается приступать к выполнению лабораторной работы без предварительного разрешения преподавателя.

4.2 Содержание работы

4.2.1 Ознакомиться с устройством Simocode pro C и программой Simocode ES.

4.2.2 Составить программы для исследования режимов управления асинхронным электродвигателем в нереверсивном и реверсивном режимах работы как при помощи кнопок управления *SB2*, *SB3*, *SB4*, так и с панели оператора *BO*.

4.2.3 В программе Simocode ES установить режимы и параметры защиты для асинхронного электродвигателя, установленного на стенде. Пример параметрирования приведен в **приложении П1**.

4.2.4 Получить у преподавателя разрешение на исследование составленных программ на лабораторном стенде и выполнить все опыты.

4.2.5 Подготовить отчет о работе.

4.3 Порядок выполнения лабораторной работы

4.3.1 Включить питание лабораторного стенда - *QF1*, *QF2*.

4.3.2 Включить персональный компьютер, клавиша питания на ПК.

4.3.3 Загрузить в компьютер программу Simocode ES, используя клавиатуру и манипулятор «мышь».

4.3.4 Ввести в компьютер исследуемую программу (либо с клавиатуры, либо с накопителя типа «флэш-память»).

4.3.5 Проверить соединение компьютера с устройством Simocode pro C, при отсутствии соединения обратиться за помощью к преподавателю.

4.3.6 Загрузить исследуемую программу из компьютера в устройство Simocode pro C.

4.3.7 Выполнить проверку работы алгоритмов управления электродвигателем в исследуемой программе на лабораторном стенде.

4.3.8 Ввести проверку работы устройства Simocode pro C при однофазном коротком замыкании – *SB1*, при обрыве фазы – тумблер *SA1*, при перекосе фаз – тумблер *SA2*.

4.3.9 Снять «время-токовую» защитную характеристику устройства Simocode pro C при заданном преподавателем значении показателя Class. Подключить через *QS1* нагрузочный реостат *R1*. Результаты исследований записать в таблицу, ее форму разработать самостоятельно.

4.3.10 Показать все результаты исследований преподавателю.

4.3.11 Закрывать программу Simocode ES и выключить персональный компьютер; отключить электропитание стенда; оформить отчет о проведенных исследованиях.

5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- алгоритмы выполнения программ.
- результаты проведенных исследований.
- выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

- 6.1 Состав устройства Simocode pro C.
- 6.2 Функции управления устройства Simocode pro C.
- 6.3 Функции защиты устройства Simocode pro C.
- 6.4 Преимущества устройств Simocode pro по сравнению с другими устройствами для защиты асинхронных двигателей.
- 6.5 Ввод в эксплуатацию устройства Simocode pro C.
- 6.6 Назначение программы Simocode ES.
- 6.7 Этапы параметрирования Simocode pro C.
- 6.8 Установка постов управления базового аппарата.
- 6.9 Перенос параметров в базовый аппарат и ввод его в эксплуатацию.

11 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МОЛОЧНОГО СЕПАРАТОРА В ДИНАМИЧЕСКИХ И УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

Лабораторная работа № 11

1 Цель работы

1.1 Исследование потерь энергии в электроприводе молочного сепаратора при пуске с помощью тиристорного регулятора напряжения (ТРН).

1.2 Исследование потерь энергии в электроприводе молочного сепаратора при пуске с использованием преобразователя частоты (ПЧ).

1.3 Определение потребляемой мощности в установившихся режимах при различных частотах вращения молочного сепаратора.

1.4 Освоение современной приводной техники на примере системы «ПЧ – АД»

2 Программа работы

2.1 Изучить материал по динамическим режимам электроприводов [11, 12], потерям энергии в пусковых и тормозных режимах.

2.2 Рассчитать потери энергии в обмотках ротора и статора двигателя по заданным параметрам – R_1 , R_2' , J_{np} , w_0 при пуске с помощью ТРН.

2.3 Рассчитать потери энергии при пуске сепаратора от ПЧ для различных значений темпа увеличения частоты (или пускового тока, или времени пуска).

2.4 Рассчитать мощность, потребляемую двигателем при различных значениях частоты вращения для установившегося режима (значения частот задаются преподавателем).

2.5 Ознакомиться с лабораторной установкой.

2.6 Снять указанные в п.п. 2.2...2.4 показатели экспериментально, заполнить таблицы, построить требуемые зависимости, результаты сравнить с расчетными, сделать выводы.

3 Краткие теоретические сведения и порядок выполнения работы

Асинхронные приводы в динамических режимах имеют ряд особенностей по сравнению с приводами постоянного тока.

В АД с короткозамкнутым ротором электромагнитные переходные процессы оказывают большее влияние на электромеханические процессы, поэтому динамическая характеристика пуска не совпадает со статической (рисунок 3.1, а), рассчитанной по значениям параметров двигателя.

При наличии момента нагрузки или больших инерционных масс (например, центрифуга) двигатель относительно долго работает при низких скоростях, когда электромагнитные процессы затухают медленно (высокие частоты в обмотке ротора) [14].

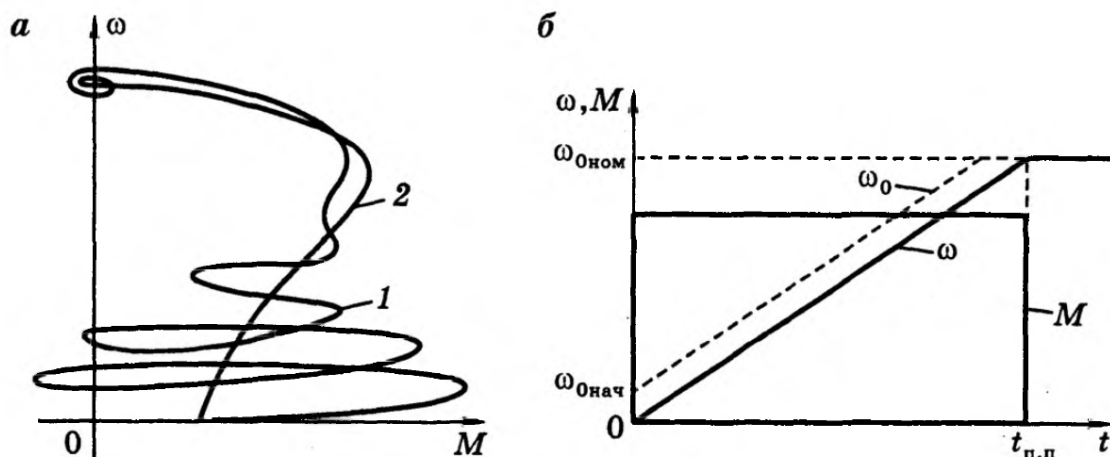


Рисунок 3.1 Характеристики асинхронного двигателя: а – статическая (2) и динамическая (1) механические характеристики; б – переходные характеристики при частотном пуске АД вхолостую

Динамическими режимами АД с фазным ротором можно управлять введением сопротивлений в цепь ротора подобно двигателю постоянного тока с резисторами в якорной цепи.

В нерегулируемых приводах пуск двигателей чаще производят прямым включением в сеть, при этом пусковой момент $M_n = (1 \dots 2)M_n$, пусковой ток $I_n = (4,5 \dots 7)I_n$.

Для снижения пусковых токов в приводах с большим моментом инерции применяют устройства плавного пуска (УПП) на основе ТРН, автотрансформатора или переключением обмоток со звезды на треугольник.

При этом снижается момент двигателя ($M \equiv U^2$), увеличивается время пуска, но улучшаются условия работы изоляции в тепловом отношении ($\Delta P_{эл} \equiv I^2$).

В системах электропривода по схеме ПЧ-АД возможен пуск при $M = const$, в том числе и при $M = M_n$, $I_1 = I_{1n}$ (рисунок 3.1, б). Тогда скорость изменяется линейно во времени, при постоянстве углового ускорения. В такой системе решаются как вопросы пуска, так и регулирования скорости.

Механические переходные процессы в асинхронном электроприводе описываются основным уравнением движения:

$$M(w) - M_c(w) = J \frac{dw}{dt}, \quad (3.1)$$

где $M(w)$, $M_c(w)$ - зависимости момента двигателя и приведенного момента сопротивления от угловой скорости;

$J \frac{dw}{dt}$ - динамический момент;

J - приведенный к валу двигателя момент инерции вращающихся масс.

Потери энергии в обмотках за время переходного процесса t_{nn} могут быть определены как

$$\Delta W_{nn} = 3 \int_0^{t_{nn}} i_1^2(t) R_1 dt + 3 \int_0^{t_{nn}} i_2'^2(t) R_2' dt, \quad (3.2)$$

где $i_1(t)$, $i_2'(t)$, R_1 , R_2' - зависимость токов от времени в обмотках статора и приведенного ротора и их активные сопротивления;

t_{nn} - время переходного процесса.

Очевидно, что при этом необходимо знать законы изменения токов $i_1(t)$, $i_2'(t)$ в переходном процессе.

Через механические величины – момент и скорость (или скольжение) потери энергии в цепи ротора при прямом пуске без нагрузки:

$$\Delta W_{n20} = \frac{J(w_0^2 - w_{нач}^2)}{2} = \frac{Jw_0^2}{2} (s_{нач}^2 - s_{кон}^2), \quad (3.3)$$

где $w_0 = \frac{2\pi f}{p}$;

$w_{кон} \cong w_0$, $w_{нач}$, $s_{кон}$, $s_{нач}$ – конечные и начальные значения скорости и скольжения.

При $w_{нач} = 0$, $s_{нач} = 1$, $s_{кон} \cong 0$ потери в обмотке ротора равны запасу кинетической энергии

$$\Delta W_{n20} = \frac{Jw_0^2}{2}. \quad (3.4)$$

Потери энергии в цепи обмотки статора в общем виде

$$\Delta W_{n10} \approx \frac{\Delta W_{n20} \cdot R_1}{R_2'}. \quad (3.5)$$

Полные потери в обмотках за время пуска

$$\Delta W_{n0} = \Delta W_{n20} + \Delta W_{n10} = \frac{Jw_0^2}{2} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right). \quad (3.6)$$

Важно отметить, что потери в обмотке ротора не зависят от сопротивления R_2' , времени пуска, зависимости $M(w)$ (прямой это пуск, или через автотрансформатор, или УПП), если двигатель включается на напряжение частоты $f_1 = f_{1н}$.

При пуске под нагрузкой потери в обмотке ротора

$$\Delta W_{n2n} = \frac{M_{cp}}{(M_{cp} - M_c)} \cdot \frac{Jw_0^2}{2} (s_{нач}^2 - s_{кон}^2) = \frac{M_{cp}}{(M_{cp} - M_c)} \cdot \Delta W_{n20}, \quad (3.7)$$

где M_{cp} - средний или эффективный за время пуска момент двигателя;

$M_c = const$ – момент сопротивления механизма.

При ступенчатом пуске без нагрузки (двигатели с переключением пар полюсов) динамические потери в обмотке ротора

$$\Delta W_{20} = \frac{Jw_{0n}^2}{2n}. \quad (3.8)$$

где w_{0n} - скорость идеального холостого хода на высшей ступени.

Из (3.8) видно, что при $n \rightarrow \infty$ динамические потери теоретически можно сократить до нуля. Такой пуск можно реализовать в приводах по схеме ПЧ-АД (рисунок 3.2) при плавном и очень медленном изменении частоты.

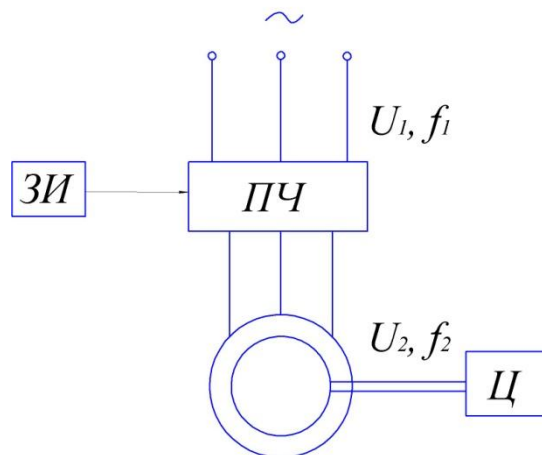


Рисунок 3.2 Структурная схема электропривода ПЧ-АД: ЗИ – задатчик интенсивности; ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель; Ц – центрифуга; U_1, f_1 - параметры сети; U_2, f_2 - регулируемые напряжение и частота

Практически, по условиям функционирования производства время пуска ограничено, однако снижение потерь возможно в 5...10 раз. Пуск, как правило, осуществляется при постоянстве абсолютного скольжения $\beta = f_2/f_n = const$, токах $I_1 = (1 \dots 1,5)I_{1n}$, моментах $M_n = (1 \dots 1,5)M_n$ и регулировании по закону $U/f = const$ с IxR_1 – компенсацией (рисунок 3.3).

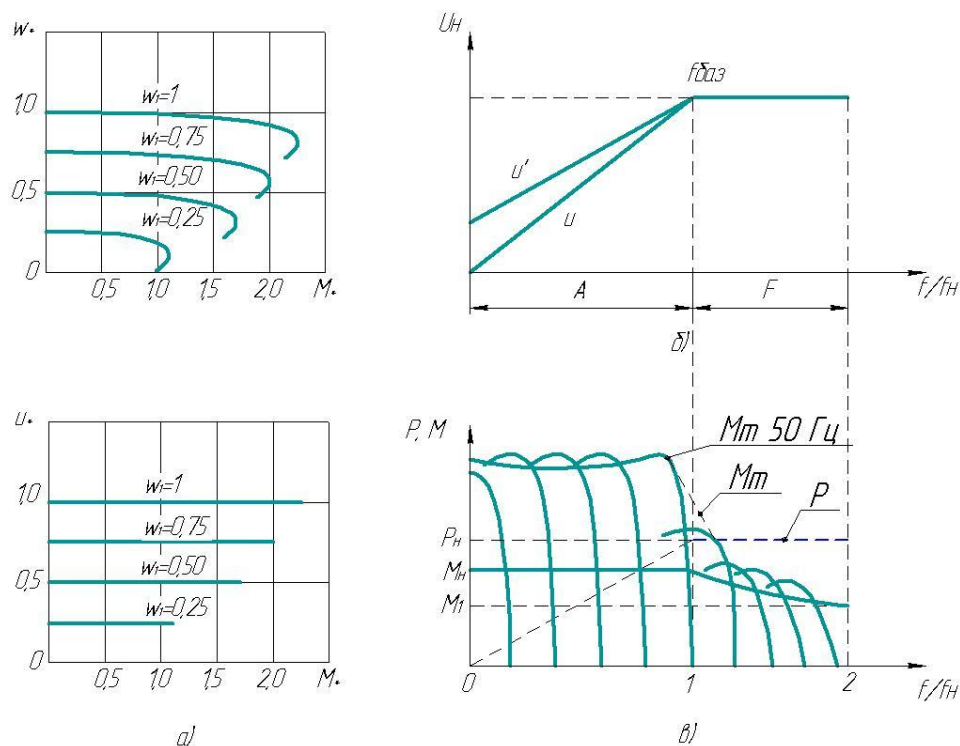


Рисунок 3.3 Механические характеристики АД при частотном регулировании: а - $U/f=const$; б, в – при $U/f=const$ и с IxR_l – компенсацией

Потери в обмотках ротора при этом

$$\Delta W_{n20} = \frac{Jw_{0H}^2}{2} \cdot \frac{2T_M}{t_{no}}, \quad (3.9)$$

где T_M - электрохимическая постоянная времени, $T_M = \frac{Jw_0}{M_{эф}}$;

$M_{эф}$ - эффективный момент (момент короткого замыкания);

t_{no} - время пуска при прямом включении АД на холостом ходу:

$$t_{no} = T_M \left(1,5s_k + \frac{s_k}{4} \right). \quad (3.10)$$

При $\beta=f_2/f_n=const$ и $U/f=const$ заданному току статора соответствует наибольший момент. На практике пусковой ток $I_n=(1...1,5)I_{ln}$. Значение тока определяет момент двигателя и время пуска и зависит от темпа изменения частоты df/dt . Эти параметры задаются с панели управления преобразователя частоты. Потери в обмотке статора определяются по выражению (3.6).

Для установившихся режимов работы молочного сепаратора необходимая мощность двигателя находится по выражению

$$P_{2эд} \geq P_{сн} = \frac{k_3 \cdot M_{сн} \cdot w}{\eta_n}, \quad (3.11)$$

где k_3 - коэффициент запаса, $k_3 = 1,2$;

$M_{сн}$ – приведенный номинальный момент сопротивления, Н·м;
 $w = i \cdot w_{\delta}$ - угловая скорость выходного вала сепаратора с⁻¹;
 w_{δ} - угловая скорость барабана сепаратора, с⁻¹;
 $i = 0,17$ – передаточное отношение сепаратора;
 $\eta_n = 0,9$ - КПД передачи.

$$M_{сн} = \frac{M_{с0} + k_c \cdot w_{\delta}^2}{i}; \quad (3.12)$$

$$k_c = 1 \cdot 10^{-6}; M_{с0} \cong 0,3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где k_c – коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки элементов кинематической схемы привода.

При пуске через ТРН (или автотрансформатор) нагрев обмоток протекает гораздо интенсивнее по сравнению с нормальным режимом работы, поэтому в качестве ограничений без учета теплоотдачи другим частям машины будут условия

$$\begin{aligned} \tau_{don2} &\geq \frac{\Delta W_{n2}}{C_2 m_2}, \\ \tau_{don1} &\geq \frac{\Delta W_{n1}}{C_1 m_1}, \end{aligned} \quad (3.13)$$

где $\Delta W_{n2}, \Delta W_{n1}$ - потери энергии при пуске в обмотках ротора и статора соответственно;

τ_{don2}, τ_{don1} - допустимые значения температур обмоток ротора и статора ($\tau_{don2} = 200^\circ\text{C}$; τ_{don1} определяется классом изоляции);

C_2, C_1 - удельные теплоемкости материала обмоток ротора и статора;

m_2, m_1 - массы обмоток.

Время пуска при питании от ПЧ, когда $M = \text{const}$, скорость нарастает линейно, рассчитывается по выражению

$$t_{no} = T_m = \frac{J w_0}{M}, \quad (3.14)$$

где M – момент двигателя, зависящий от задаваемого с панели управления тока.

4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

4.1 Ознакомление с лабораторной установкой и техническими данными оборудования

Технологический процесс сепарации молока состоит в том, что молоко, поступая в барабан сепаратора, вращающийся с большой скоростью, разделяется на обрат и сливки за счет разности в запасах кинетической энергии этих продуктов.

Для инерционной характеристики сепаратора характерно относительно большое значение момента инерции барабана. Поэтому пуск двигателя сепаратора длительный (2...3 мин). Устанавливать более мощный двигатель для уменьшения времени разбега недопустимо, так как это может привести к поломке червячной пары [14].

По условиям окружающей среды для молочных сепараторов наиболее подходят двигатели в закрытом обдуваемом исполнении.

Частота вращения барабана сепаратора лабораторной установки составляет 7800 об/мин при частоте вращения вала двигателя $n_n=1350$ об/мин. При этом приведенный к валу двигателя момент инерции

$$J_{np} = J_d + J_{nz} + \frac{J_c}{i^2}, \quad (4.1)$$

где J_d – момент инерции ротора приводного двигателя, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

J_{nz} – момент инерции передаточного звена, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

J_c – момент инерции барабана сепаратора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 4.1. Питание электродвигателя сепаратора осуществляется от трехфазной сети 380 В через автоматический выключатель *QF1*.

Асинхронный короткозамкнутый двигатель АОЛ2-12-4У3 характеризуется следующими параметрами:

- номинальная мощность $P_{2n}=0,8$ кВт;
- номинальное напряжение $U_n=220/380$ В при Δ/Y ;
- номинальный ток $I_n=3,6/2,1$ А;
- номинальная частота вращения $n_n=1350$ об/мин;
- скольжение $s_n=0,1$;
- кратность максимального момента $M_{max}/M_n=2,2$;
- кратность пускового тока $I_n/I_n=7$;
- кратность пускового момента $M_n/M_n=1,9$;
- КПД $\eta=0,745$;
- коэффициент мощности $\cos\varphi=0,78$;
- критическое скольжение $s_{kp}=0,41$.

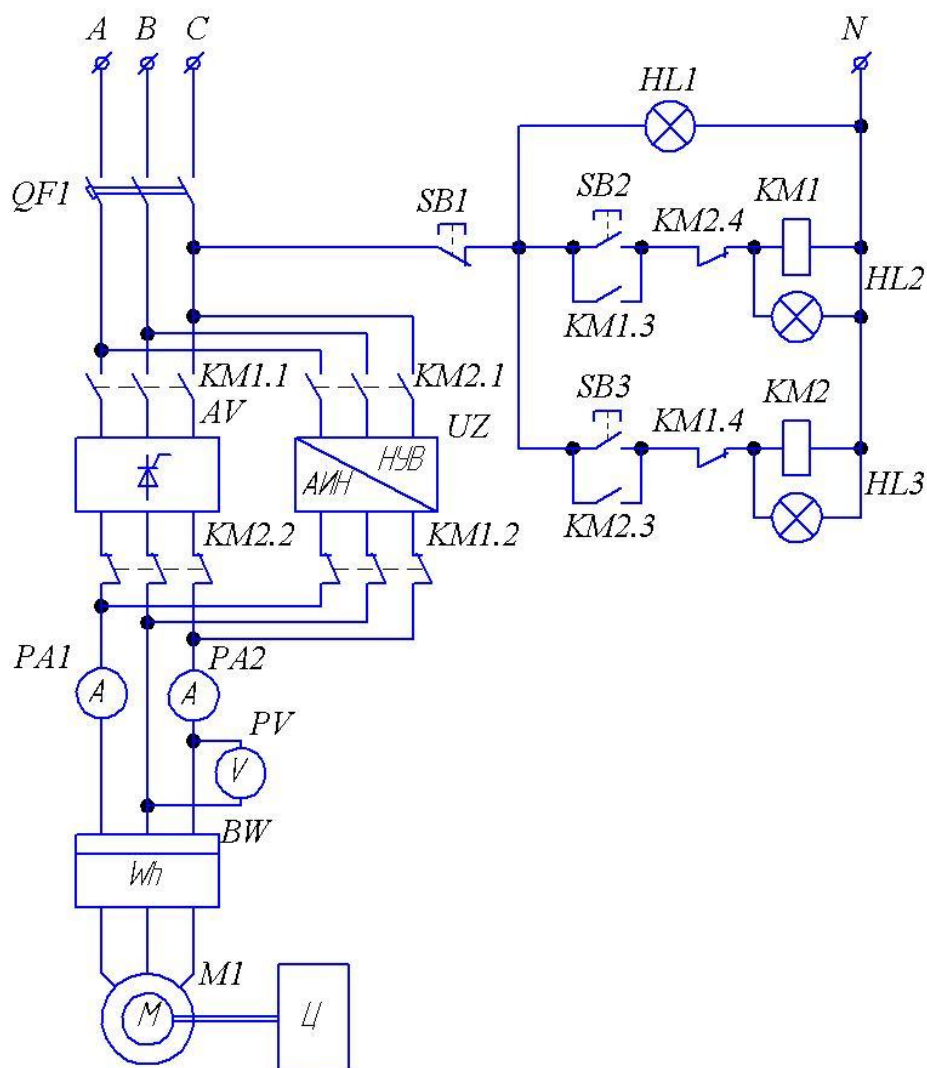


Рисунок 4.1 Схема лабораторной установки

Относительные значения сопротивлений для схем замещения

$$R_1^* = \frac{R_1}{Z} = \frac{R_1 \cdot I_{\phi 1}}{U_{\phi 1}} = 0,12; R_2' = 0,068. \quad (4.2)$$

Приведенный момент инерции вращающихся масс $J=5,9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ (определен опытным путем методом выбега).

Потребляемая двигателем электрическая энергия за некоторый интервал времени $\Delta t=t_2-t_1$ измеряется счетчиком PS в кВтч, как $W = \int_{t_1}^{t_2} P_1 dt$. При постоянстве потребляемой мощности P_1 , например, в установившемся режиме, $W=P_1\Delta t$.

Энергия, потребляемая двигателем за время переходного процесса (пуска) представляет собой сумму

$$W_{nn} = \Delta W_{nn1} + \Delta W_{nn2} + \Delta W_{пол} + \Delta W_{мех} + \Delta W_{Fe}. \quad (4.3)$$

где ΔW_{nn1} , ΔW_{nn2} - потери в обмотках статора и ротора двигателя;

$\Delta W_{пол} = J \frac{w_0^2}{2}$ – кинетическая энергия вращающихся масс при скорости $w \cong w_0$;

$\Delta W_{мех}$ - энергия, обусловленная механическими потерями;

ΔW_{Fe} - потери в стали.

Следовательно, для опытного определения суммы составляющих $\Delta W_{nn1} + \Delta W_{nn2}$ потерь энергии в обмотках необходимо:

- а) записать показания счетчика до пуска W_1 ;
- б) запустить привод, зафиксировать время его работы и показания счетчика W_2 в конце рабочего интервала.

Тогда

$$\Delta W_{nn1} + \Delta W_{nn2} + \Delta W_{мех} + \Delta W_{Fe} = W_2 - W_1 - J \frac{w_0^2}{2}. \quad (4.4)$$

Считая механические потери значительно меньше электрических, левая часть равенства (4.4) будет представлять искомые потери в обмотках. Разделение на ΔW_{nn1} , ΔW_{nn2} производится по соотношениям (3.4)...(3.6).

4.2 Режим пуска сепаратора через ТРН

В лабораторной установке используется тиристорный регулятор напряжения РНТТЕ-100, который предназначен для питания трехфазным током активных и активно-индуктивных нагрузок, допускающих фазовое регулирование напряжения.

ТРН выполнен в виде шкафа управления и может быть использован в качестве исполнительного устройства в системах автоматического регулирования тока, напряжения, температуры, мощности и т.д. Органы управления регулятором установлены на лицевой панели. Для управления моментом включения силовых тиристоров используется контроллер трехфазного регулятора с применением трехканальной системы импульсно-фазового управления (СИФУ). Контроллер осуществляет измерение напряжения задания. В соответствии с напряжением устанавливается фаза отпирания силовых тиристоров и выдается пачка импульсов, отпирающих силовые тиристоры.

Основные технические характеристики регулятора РНТТЕ-100:

- номинальный выходной ток – 100 А;

- номинальное входное напряжение – 380/220 В;
- номинальная входная частота – 50 Гц;
- число фаз питающей сети – 3;
- диапазон регулирования выходного напряжения (в % от входного напряжения) – 3...98;
- диапазон изменения входного сигнала – 0...5 мА;
- входное сопротивление – 2 кОм;
- степень защиты - IP43.

Регулятор РНТТЕ-100 имеет воздушное принудительное охлаждение. Регулятор рассчитан для работы в длительном режиме.

Для пуска сепаратора через ТРН следует:

- включить автоматический выключатель *QF1* (загорается сигнальная лампа *HL1*);
- поставить ручку регулятора напряжения ТРН (*AV*) «Регулировка» против часовой стрелки до упора;
- кнопкой *SB2* включить контактор *KM1*, при этом загорится лампа *HL2* и цепь питания двигателя *M1* собрана;
- плавно увеличивать напряжение на выходе *AV*, вращая ручку «Регулировка». При этом темп увеличения напряжения должен быть таким, чтобы пусковой ток не превышал значений 3 А (по амперметрам *PA1*, *PA2*);
- по достижении максимального напряжения потребляемый ток должен уменьшиться до 1,0...1,2 А, следовательно пуск закончен, и в этот момент времени следует зафиксировать показание счетчика *BW*.

Значение потерь энергии $\Delta W = W_2 - W_1 - \Delta W_{пол}$, соответствует потерям в двигателе при прямом пуске (формула (3.6)). После проведения опыта вернуть схему в исходное положение.

4.3 Режим пуска сепаратора от ПЧ

Для этого следует:

- включить автоматический выключатель *QF1* (загорается сигнальная лампа *HL1*);
- кнопкой *SB3* включить контактор *KM2*, при этом загорится лампа *HL3*;
- на панели ПЧ (*UZ*) выставить заданное время пуска, соответствующее конкретным значениям пускового тока и темпа нарастания частоты при законе регулирования $U/f = const$ с $I \times R_1$ – компенсацией;
- выставить заданное время торможения;

- осуществить пуск, по достижении установившегося режима (частота $f=50$ Гц) потребляемый ток снизится до $1,0 \dots 1,2$ А, что соответствует окончанию переходного процесса.

Потери энергии рассчитываются так же, как и при пуске через ТРН.

Значение потерь энергии $\Delta W = W_2 - W_1 - \Delta W_{пол}$, соответствует потерям в двигателе при прямом пуске [формула (3.6)]. После проведения опыта вернуть схему в исходное положение.

4.4 Преобразователь частоты

ПЧ собран по схеме на рисунке 4.3 с промежуточным звеном постоянного тока. Входное напряжение преобразуется неуправляемым выпрямителем в постоянное и поддерживается с помощью конденсатора (промежуточное звено постоянного тока). Инвертор преобразует постоянное напряжение в переменное, регулируемое по величине и частоте по одному из законов регулирования U/f . Величина напряжения регулируется с помощью широтно-импульсной модуляции по синусоидальному закону (рисунок 4.2) [12].

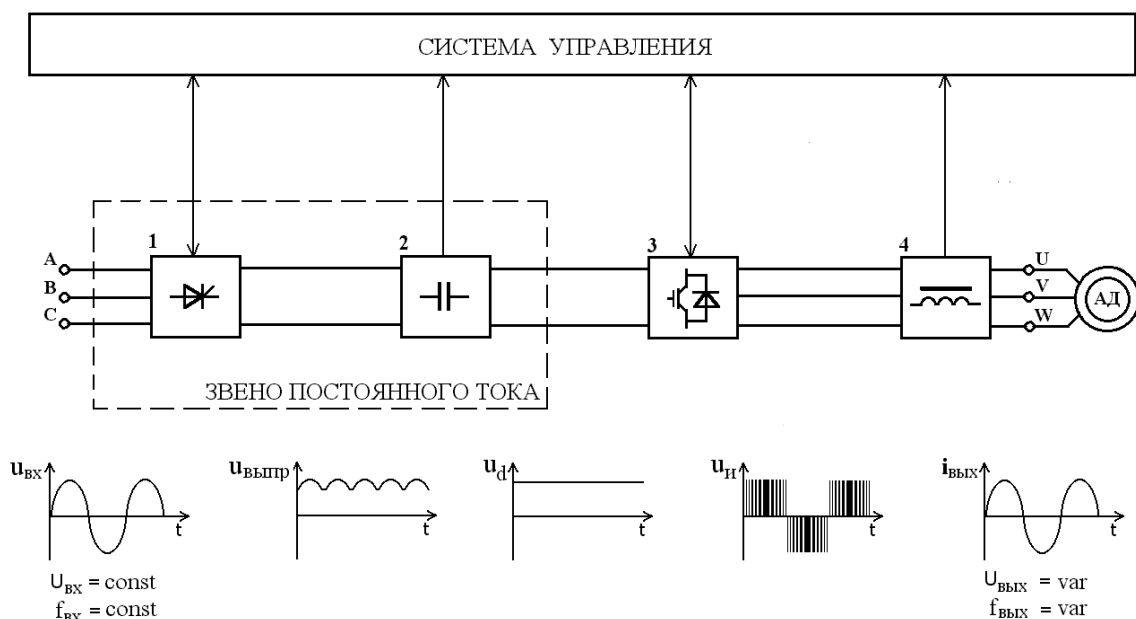


Рисунок 4.2 Принцип действия преобразователя частоты

Основные характеристики преобразователя частоты E2-MINI-003H:

- максимальная мощность электродвигателя $P_{дв} - 2,2$ кВт;
- выходной ток $I_{вых} - 5,2$ А;
- номинальное входное напряжение $U_H - 3 \times 380$ В;

- максимальное выходное напряжение $U_{вых} - 3 \times (0 \dots 380) \text{ В}$;
- выходная частота $f_{вых} - 0 \dots 200 \text{ Гц}$;
- несущая частота – $4 \dots 16 \text{ кГц}$;
- характеристика внешнего тормозного резистора – $250 \text{ Ом}, 200 \text{ Вт}$;
- время пуска/торможения – $0,1 \dots 999 \text{ с}$;
- масса - $1,7 \text{ кг}$;
- перегрузка по току – 150% в течение 1 мин ;
- управление режимами – ручное, с панели управления;
- основные задаваемые параметры: время разгона/торможения, направление вращения, закон регулирования U/f , частота, тепловая защита.

5 Порядок выполнения работы

5.1 Выполненные расчеты (п.п. 2.2...2.4) должны быть проверены преподавателем.

5.2 Ознакомиться с устройством лабораторного стенда, назначением отдельных элементов.

5.3 Провести пробные пуски через ТРН и ПЧ (см. п.п. 4.2, 4.3).

5.4 Выполнить 2 контрольных пуска через ТРН (п. 4.2), при этом значения ΔW должны быть близкими для обоих случаев. Значение ΔW занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 Опытные и расчетные данные при пуске электропривода сепаратора от ТРН

Опыт					Расчет		
№ п/п	$W_{1нач},$ кВт·ч	$W_{2кон},$ кВт·ч	$\Delta W,$ кВт·ч	$t_{пуск},$ с	$\Delta W_{n10},$ кВт·ч	$\Delta W_{n20},$ кВт·ч	$\Delta W_{n0},$ кВт·ч

5.5 Провести пуски электропривода от ПЧ (п. 4.3) при различных значениях времени пуска (значения задаются преподавателем). Значение ΔW занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 Опытные и расчетные данные при пуске электропривода сепаратора от ПЧ

Опыт					Расчет		
№ п/п	$W_{1нач},$ кВт·ч	$W_{2кон},$ кВт·ч	$\Delta W,$ кВт·ч	$t_{пуск},$ с	$\Delta W_{n10},$ кВт·ч	$\Delta W_{n20},$ кВт·ч	$\Delta W_{n0},$ кВт·ч

5.6 Замерить потребляемую приводом мощность в установившемся режиме, как

$$P_{уст} = \frac{\Delta W}{\Delta t}, \quad (5.1)$$

где ΔW - энергия (по счетчику PS) за время Δt .

Сравнить полученное значение с расчетным по (3.11) и занести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 Проверка соответствия мощности электродвигателя производственному механизму в установившемся режиме

Опыт				Расчет	
№ п/п	ΔW , кВт·ч	Δt , с	$P_{уст}$, кВт	$M_{сн}$, Н·м	$P_{сн}$, кВт

6 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- основные теоретические сведения;
- принципиальная электрическая схема установки;
- паспортные данные двигателя, сепаратора, ТРН, ПЧ;
- расчёты и результаты измерений с объяснениями и комментариями;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по работе: о причинах различия пусковых потерь при питании от ТРН и ПЧ; зависимость их от времени пуска (темпа нарастания частоты; соответствии двигателя установившемуся режиму работы).

7 Контрольные вопросы

7.1 В чем заключаются особенности электропривода молочных сепараторов?

7.2 От чего зависят пусковые потери в асинхронном электроприводе при прямом пуске через ТРН?

7.3 По каким критериям выбирают мощность двигателя при больших моментах инерции?

- 7.4 Каковы пути снижения пусковых потерь?
- 7.5 Чем ограничены выделяемые при пуске потери в обмотках?
- 7.6 Почему при расчете потерь при пуске не учитываются механические потери?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильинский, Н.Ф. Электропривод. Энерго- и ресурсосбережение [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. – М.: Академия, 2008. – 208 с.
2. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного управления электропривода [Текст]: учебник / В.В. Москаленко. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 208 с.
3. Москаленко, В.В. Электрический привод [Текст]: учебное пособие для вузов. – М.: Мастерство, 2000. – 368 с.
4. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов [Текст]: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – М.: Академия, 2005. – 304 с.
5. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода [Текст]: учебник для вузов. / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст] / Седьмое издание. Дополненное с исправлениями. – Ч.: ООО «Центр безопасности труда», 2004. – 848 с.
7. Герасенков, А. А. Электропривод: Дискретные схемы управления электроприводами сельскохозяйственных машин. Учебное пособие [Текст] / А. А. Герасенков, Е. В. Гуляев, Н. Е. Кабдин. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2011. – 115 с.
8. Руководство LOGO! [Текст] /Справочник по аппарату, редакция 03/2009 A5E01248543-03. ООО Сименс, 302 с.
9. Герасенков, А. А. Электропривод: устройства защиты и управления [Текст] / А. А. Герасенков, Н. Е. Кабдин, А. В. Сергованцев. М.: МГАУ, 2011, 124 с.
10. Simocode pro. Руководство по проектированию, вводу в эксплуатацию, ремонту и обслуживанию. Заказной №: 3UF7970-0AA01-0. [Текст] / Издание 10/2005. GWA 4NEB 631 6050-21 DS 01. М.: ООО Сименс, 494 с.

11. Елифанов, А.П. Основы электропривода [Текст]: учеб. пособие. – СПб.: Лань. – 2008. – 190 с.
12. Руководство по эксплуатации малогабаритного преобразователя частоты переменного тока на IGBT-транзисторах E2-MINI.
13. Аипов Р.С. Электропривод [Текст]: конспект лекций. Часть 1. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. – 104 с.
14. Аипов Р.С., Ярмухаметов У.Р. Электропривод [Текст]: конспект лекций. Часть 2. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. – 102 с.
15. Стандарт организации. Самостоятельная работа студента. Оформление текста рукописи [Текст] : СТО 0493582-003-2009 : – Взамен СТП 0493582-003-2006; Введ. 01.04.2009. – Уфа.: БГАУ, 2009. – 36 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ П1

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПАРАМЕТРИРОВАНИЯ SIMOCODE PRO C

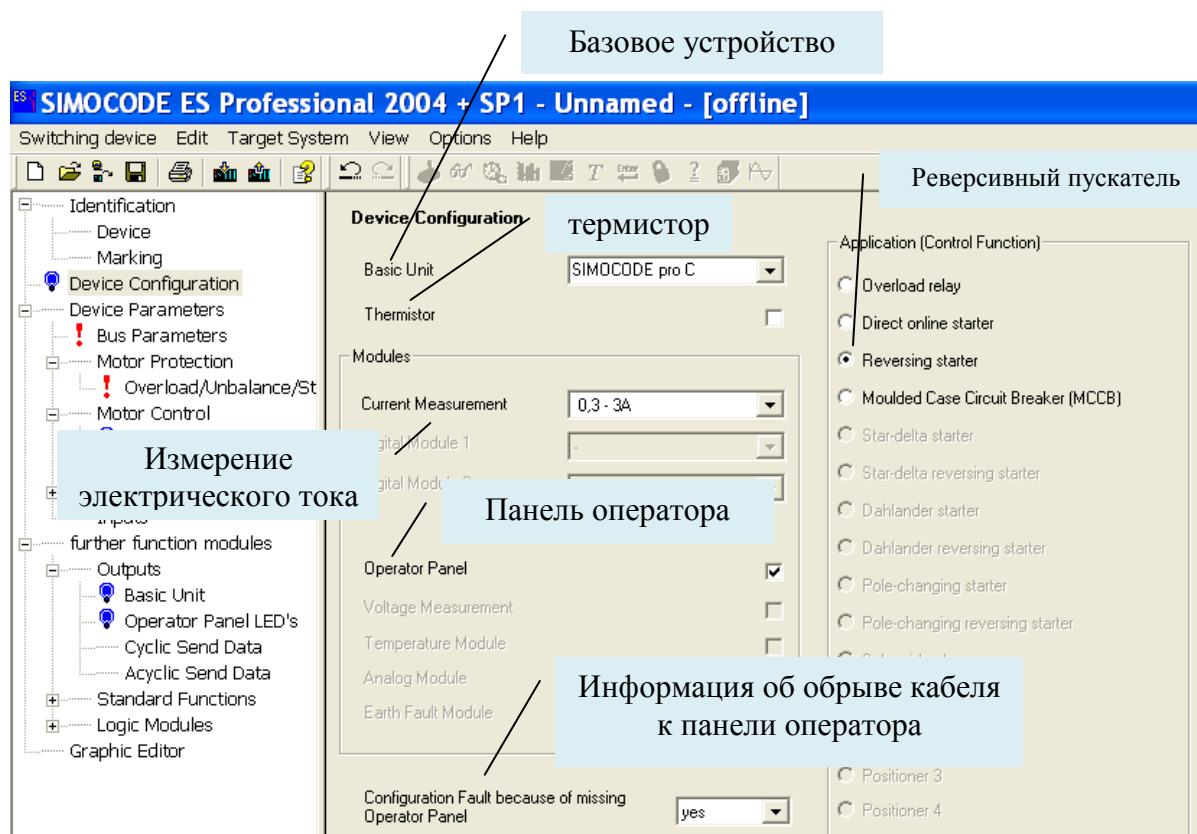


Рисунок П1 Окно программы «Конфигурация устройства»

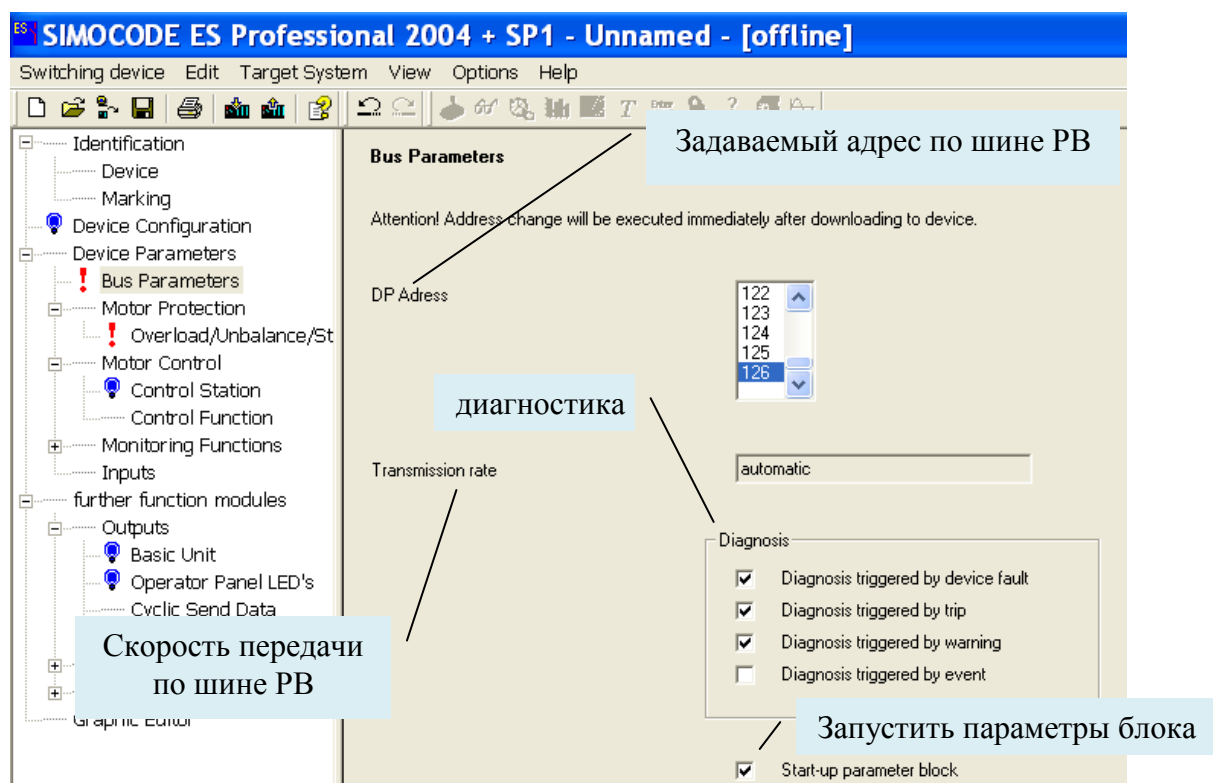


Рисунок П2 Окно программы «Параметры шины»

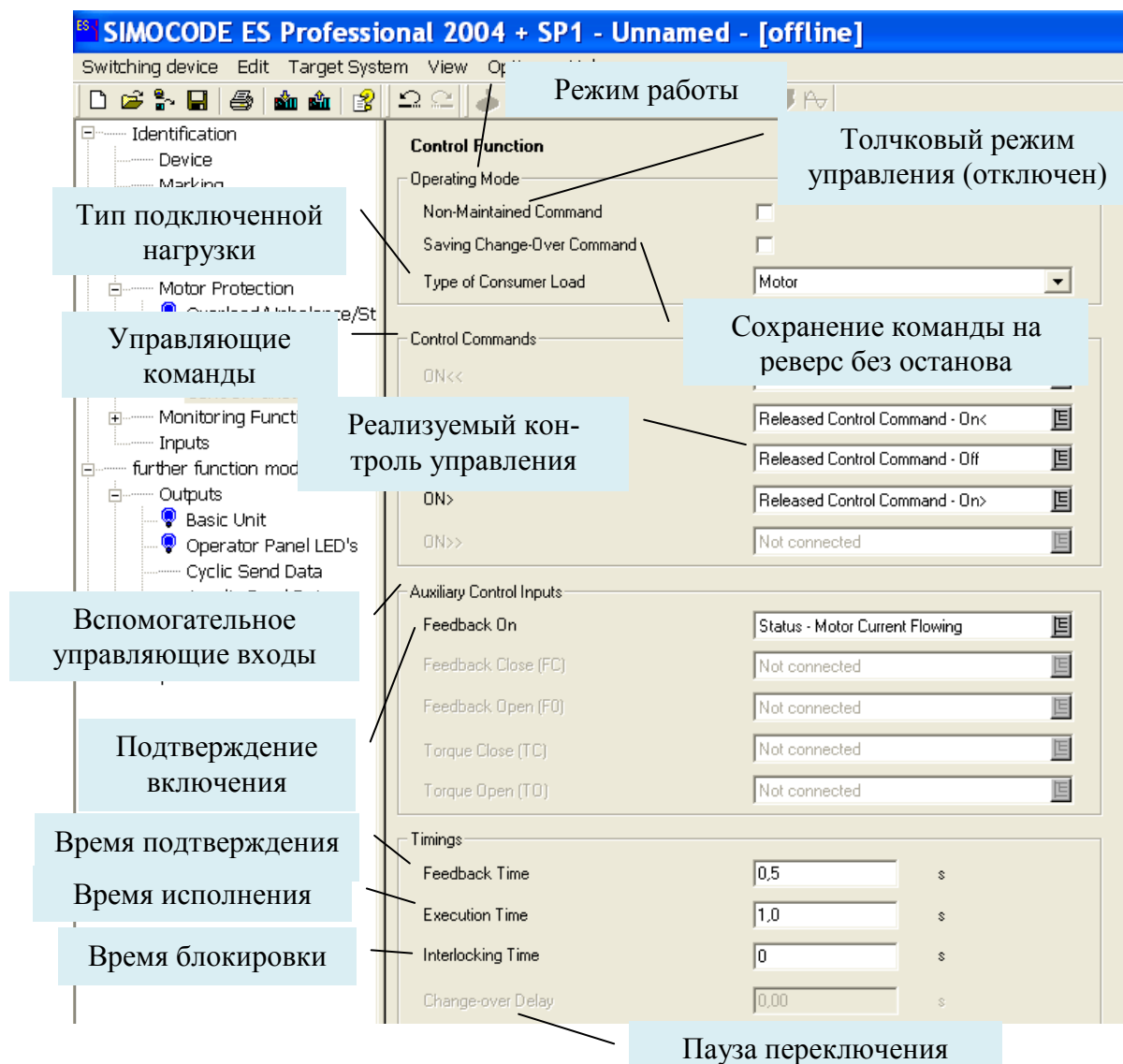


Рисунок П5 Окно программы «Функции управления»

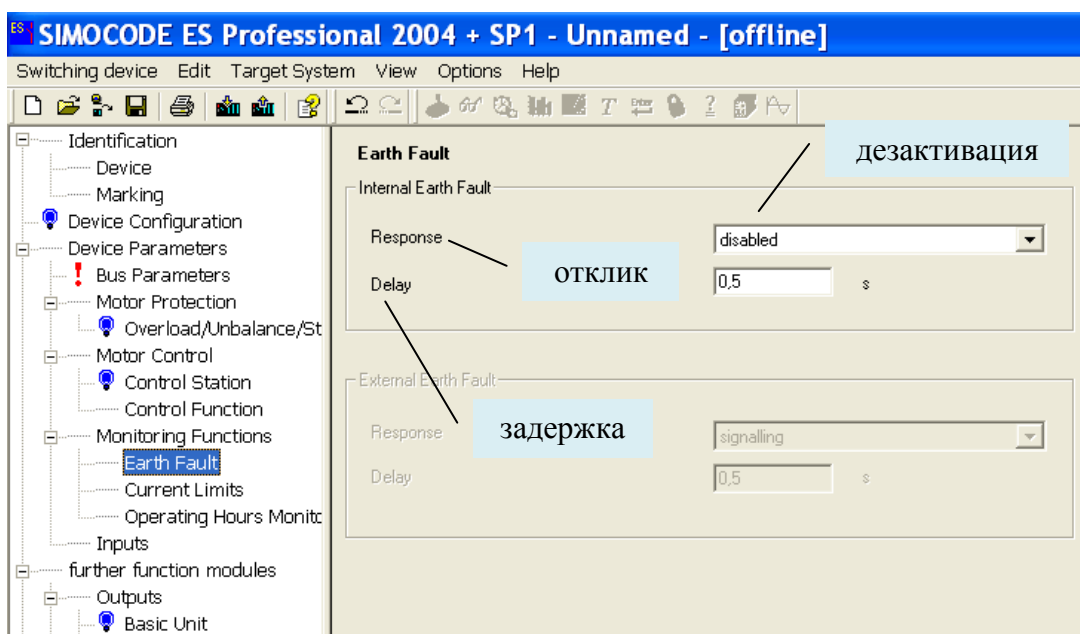


Рисунок П6 Окно программы «Контроль замыкания на землю»

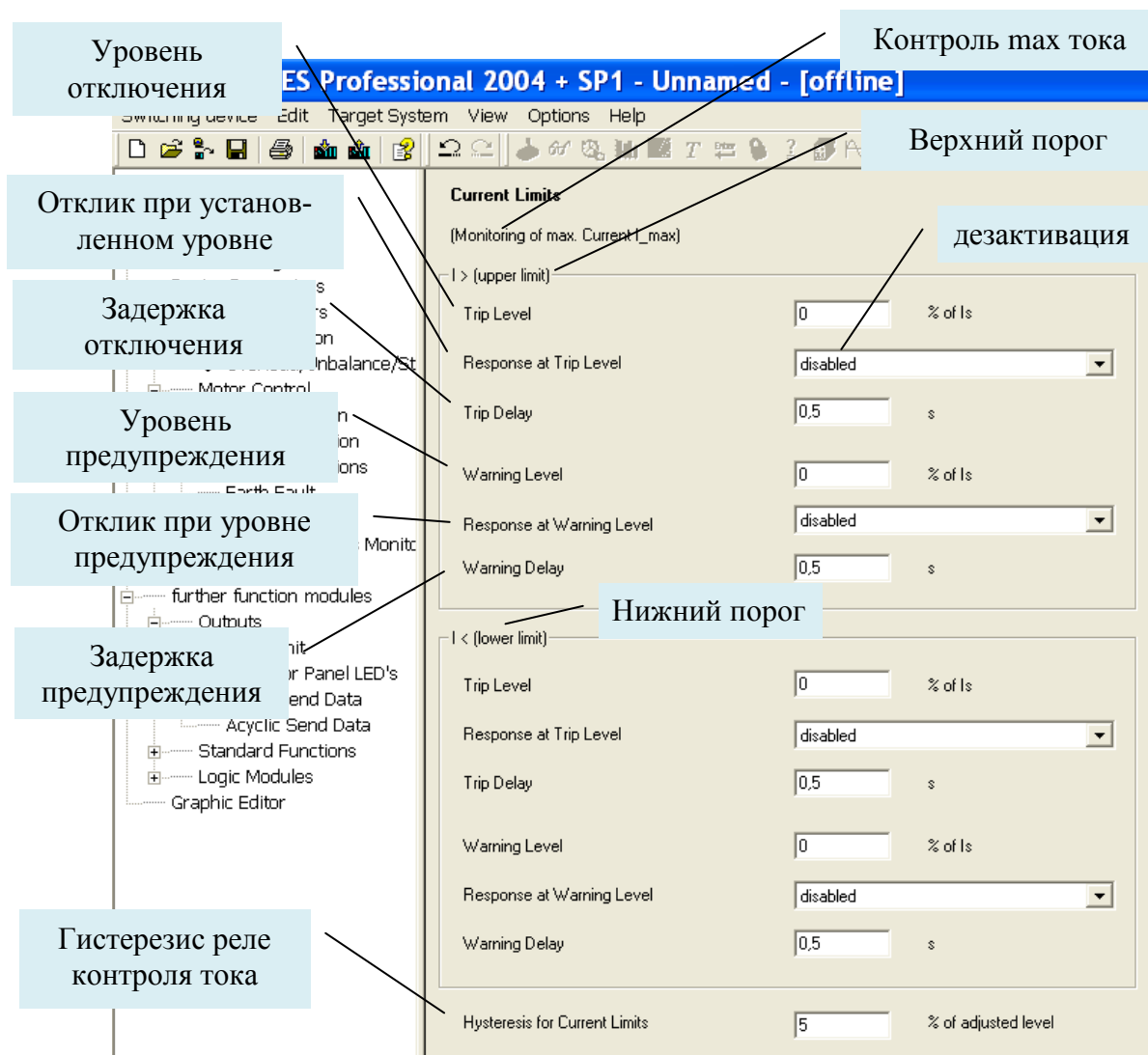


Рисунок П7 Окно программы «Контроль тока»

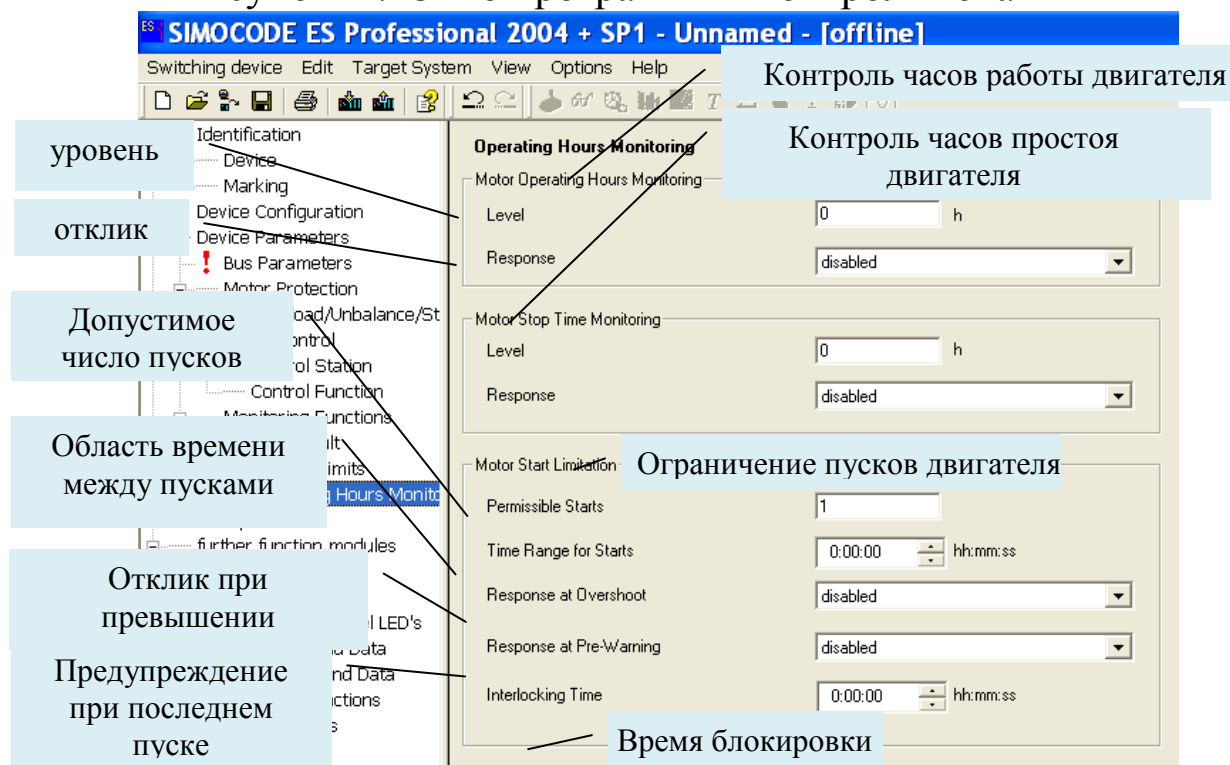


Рисунок П8 Окно программы «Контроль рабочего процесса»

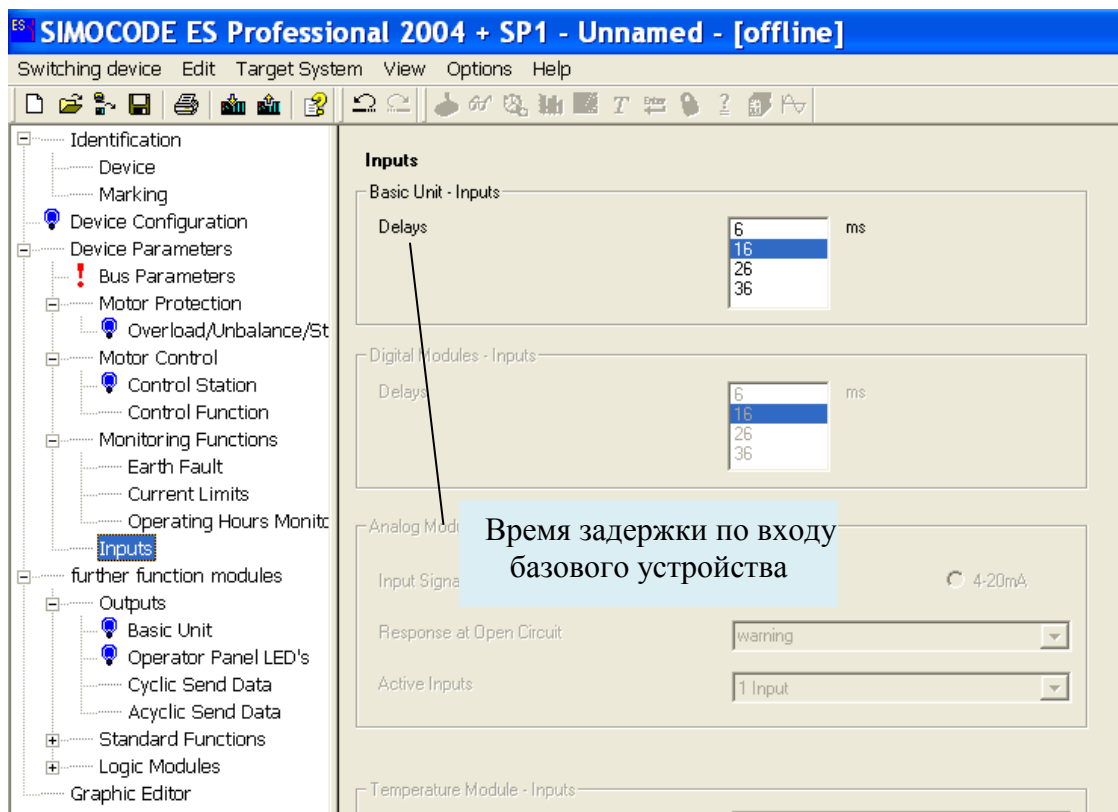


Рисунок П9 Окно программы «Входы»

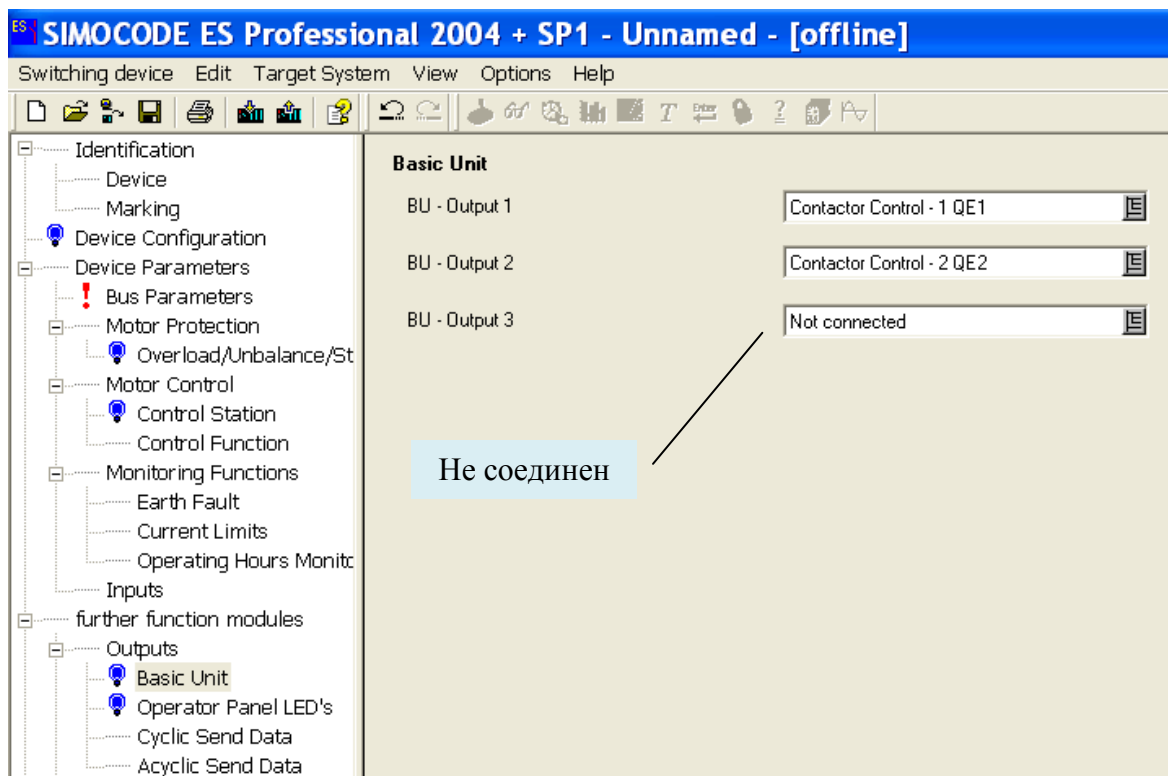


Рисунок П10 Окно программы «Выходы»

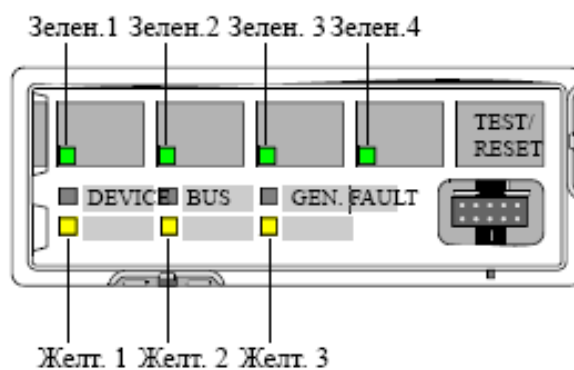
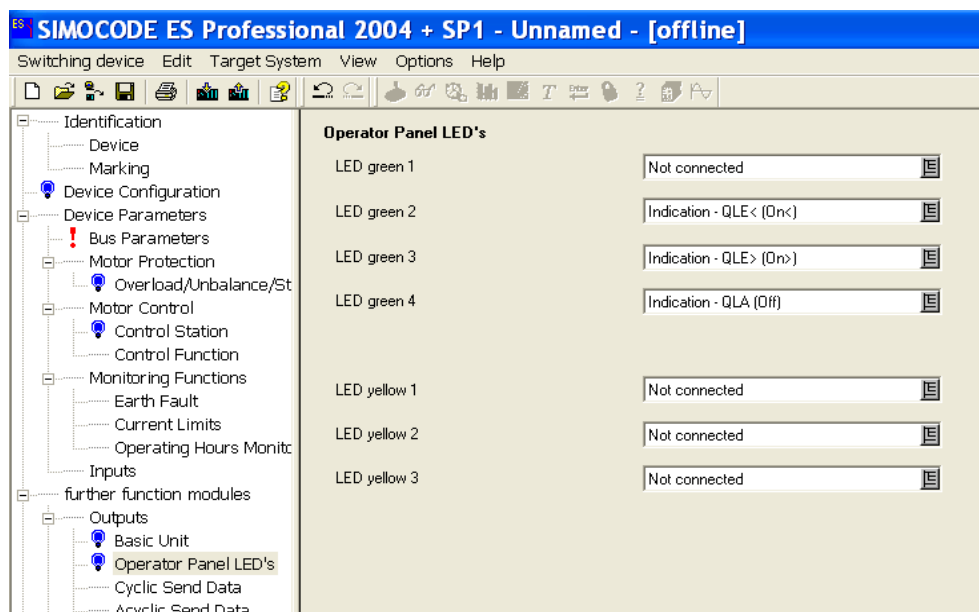


Рисунок П11 Окно программы «Светодиоды панели оператора»

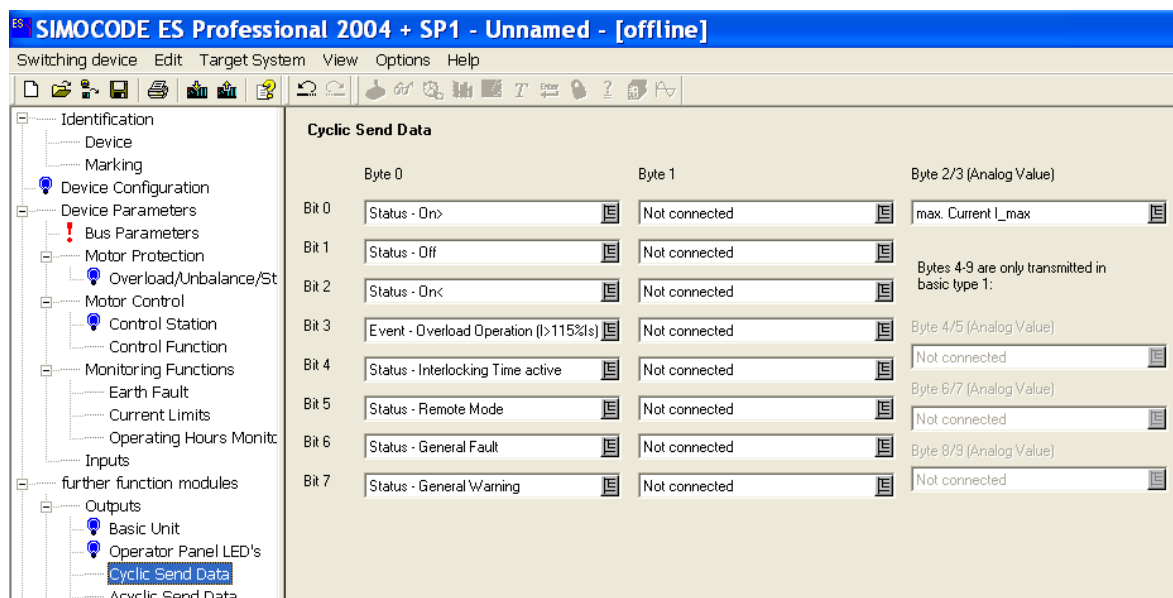


Рисунок П12 Окно программы «Циклические сообщения»

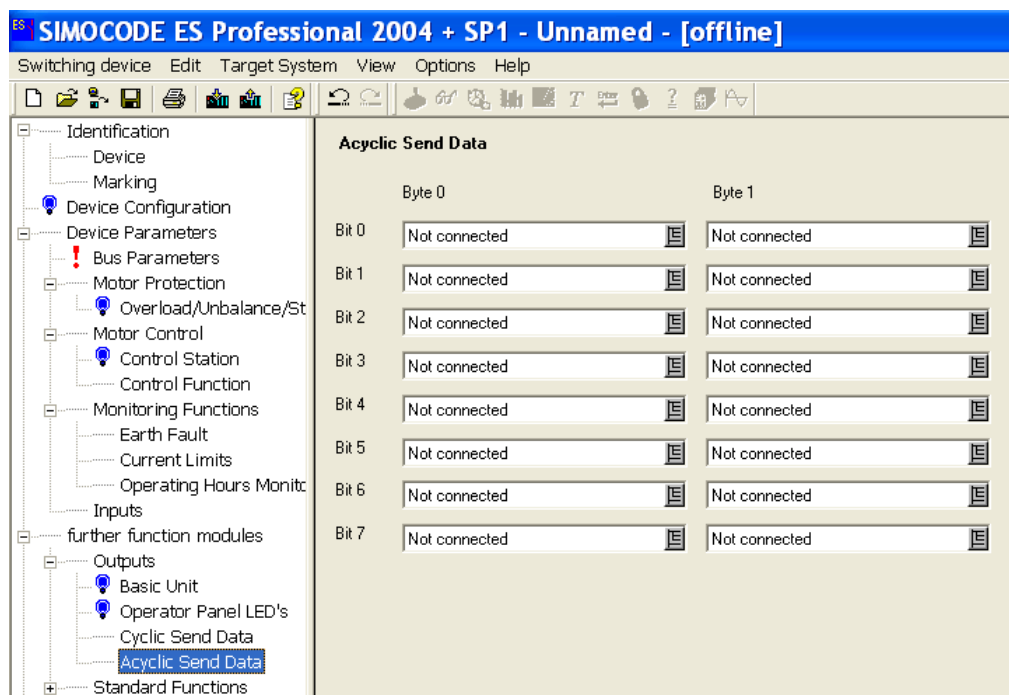


Рисунок П13 Окно программы «Ациклические сообщения»

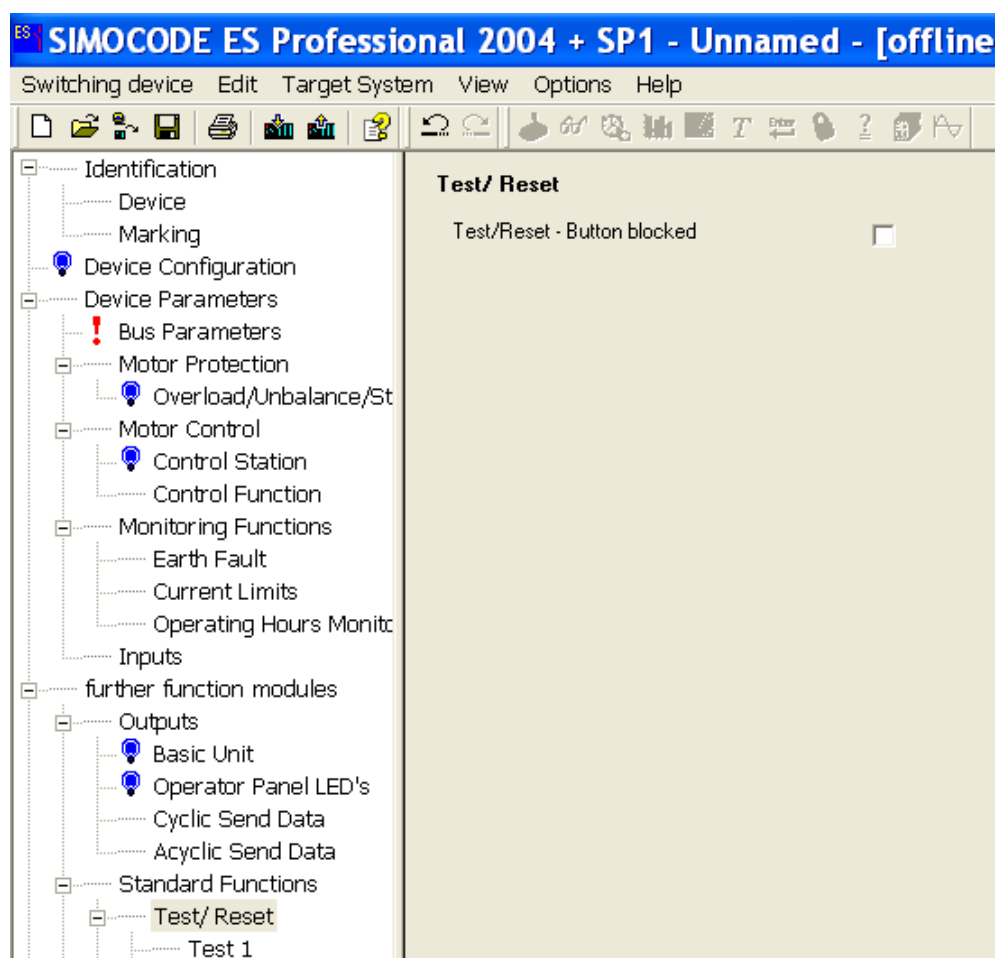


Рисунок П14 Окно программы «Тест/Сброс»

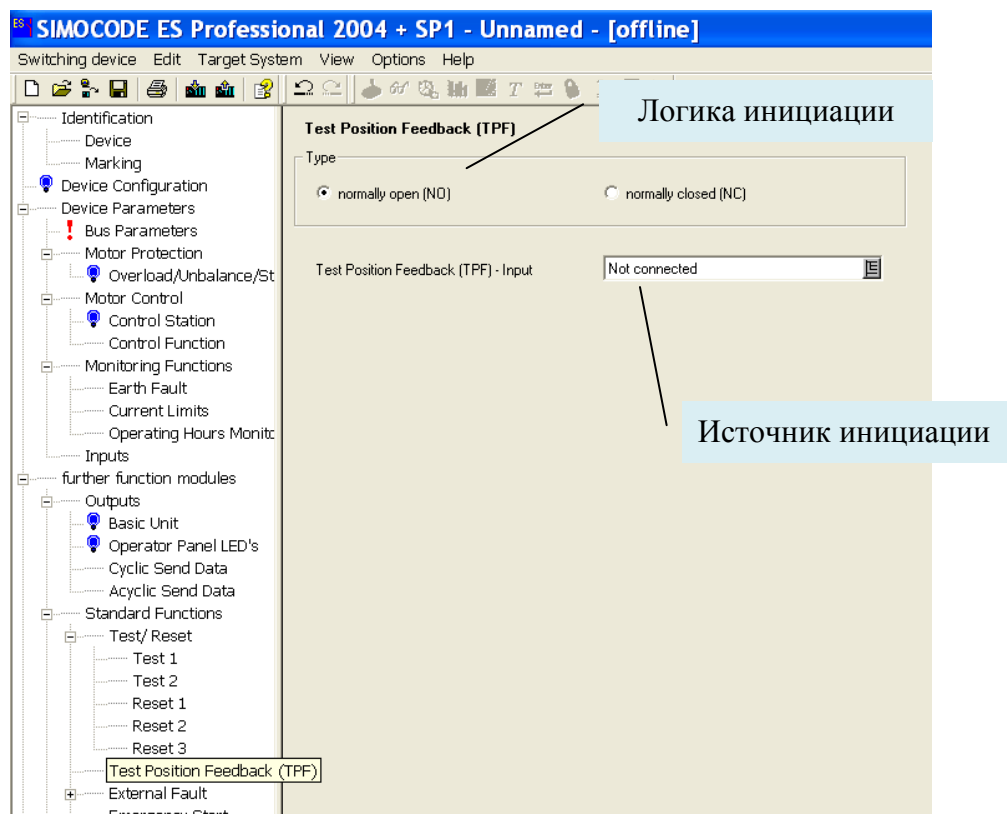


Рисунок П15 Окно программы «Подтверждение контрольного положения»

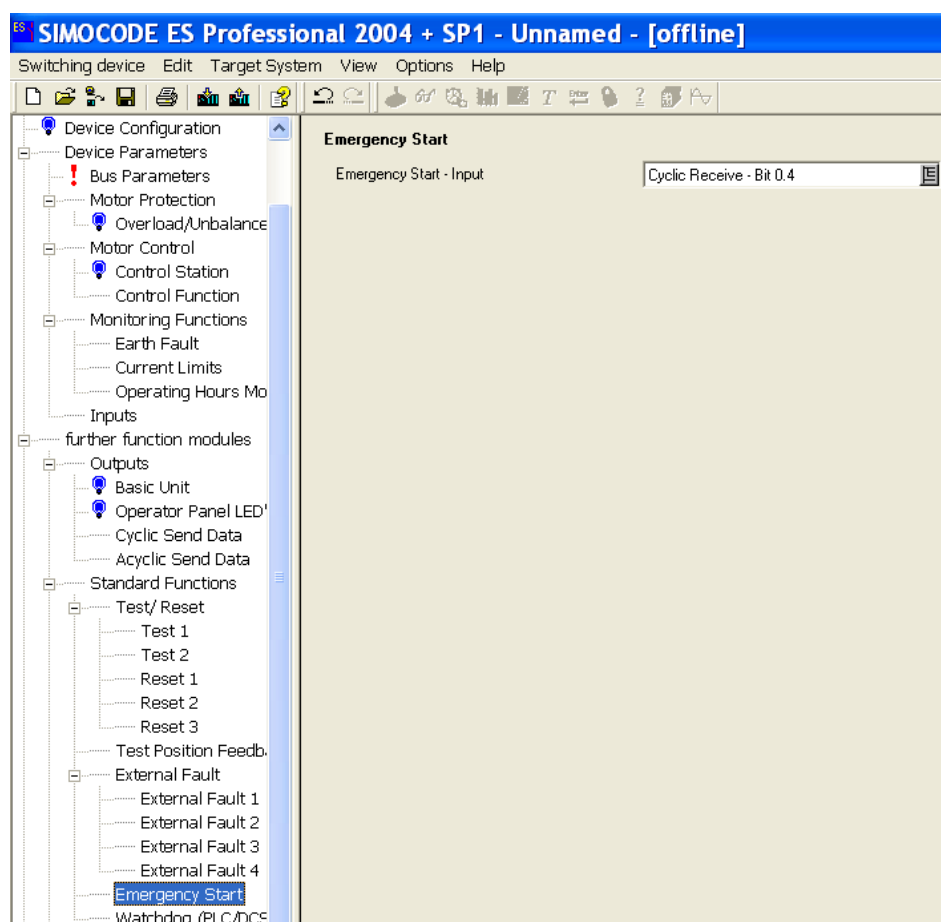


Рисунок П16 Окно программы «Аварийный пуск»

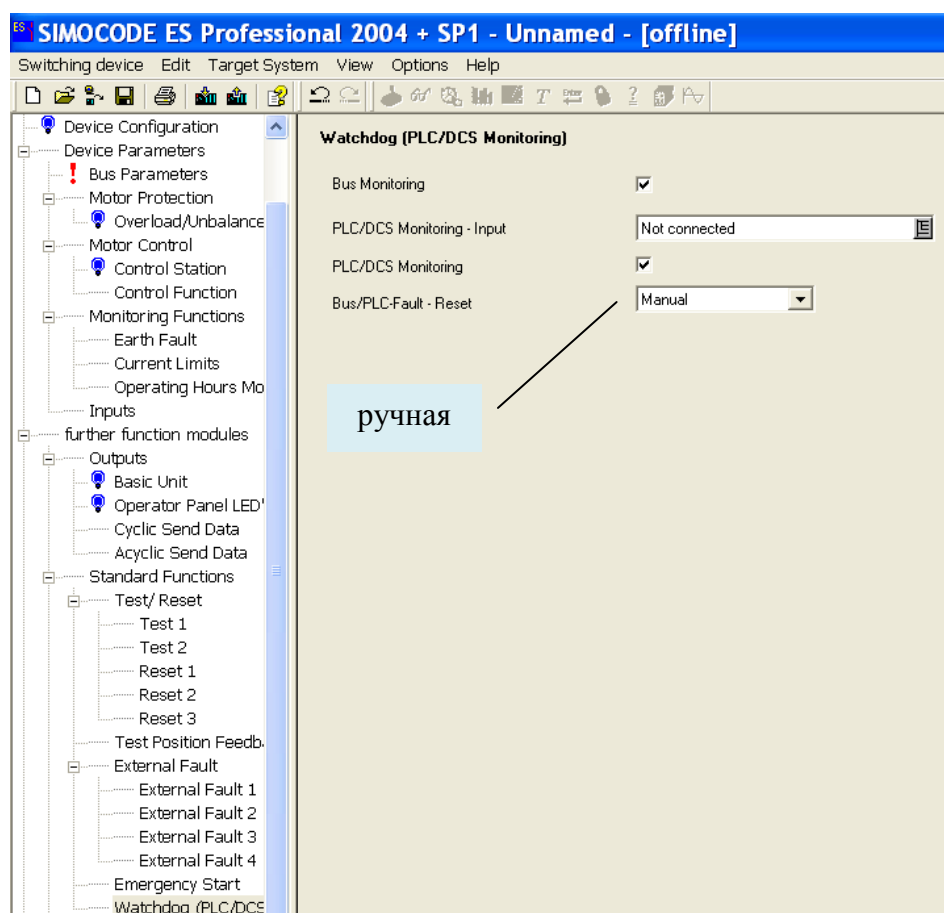


Рисунок П17 Окно программы «Сторожевая схема»

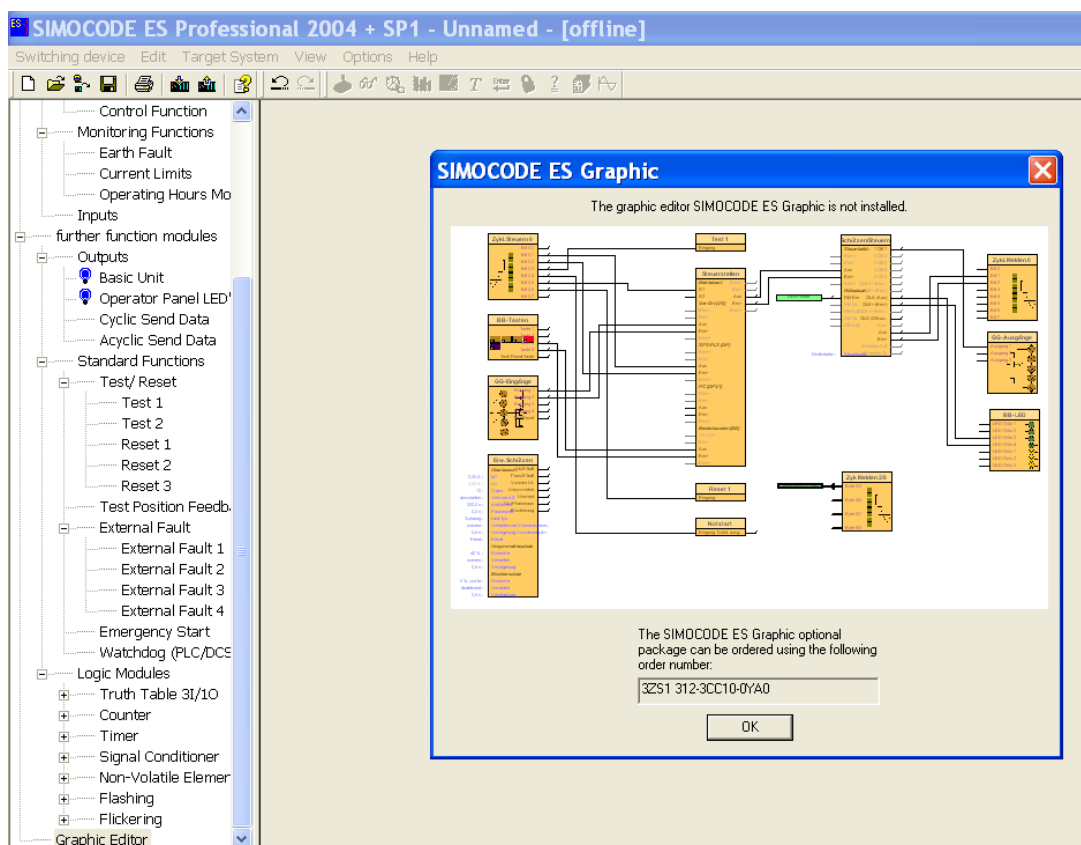


Рисунок П18 Окно программы «Графический редактор»