

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. С. Харитонов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ
для студентов магистратуры по направлению подготовки 13.04.02
Электроэнергетика и электротехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

И. Е. Кажекин,

кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин и
деталей машин ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический
университет» Н. А. Середа

Харитонов, М. С.

Автоматизированный электропривод: учеб.-метод. пособие по
выполнению лабораторных работ для студентов магистратуры по направлению
подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / М. С. Харитонов. –
Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 53 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ
представлены материалы по устройству и принципу действия универсального
лабораторного стенда по теории электропривода, указания по проведению
экспериментальных исследований. Лабораторные работы предназначены для
практического закрепления теоретического материала по вопросам настройки и
эксплуатации автоматизированного электропривода.

Рис. – 22, табл. – 10, список лит. – 6 наименований

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ
рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического
материала для использования в учебном процессе методической комиссией
Института морских технологий, энергетики и строительства 30 сентября
2022 г., протокол № 1

УДК 621.86 (076)

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Харитонов М.С., 2022 г.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
Общие указания по освоению лабораторного практикума.....	6
Лабораторная работа № 1 «Изучение работы универсального лабораторного стенда по теории электропривода».....	10
Лабораторная работа № 2 «Ознакомление с функциями программного обеспечения преобразователя частоты»	21
Лабораторная работа № 3 «Исследование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором»	27
Лабораторная работа № 4 «Исследование замкнутой системы «преобразователь частоты асинхронный двигатель» с векторным управлением»	38
Рекомендуемая литература.....	47
Приложение А. Режим регулирования скорости в разомкнутой системе (Частотное управление)	48
Приложение Б	51

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Автоматизированный электропривод» формирует у обучающихся способность и готовность осуществлять поиск компромиссных решений в условиях многокритериальности и неопределенности при проектировании систем электропривода, определять оптимальные параметры и режимы при наладке и эксплуатации систем электропривода.

Целью освоения дисциплины является ознакомление обучающихся с особенностями основных технологических процессов, применяемых при потреблении электроэнергии, и основными методами, подходами и техническими средствами, применяемыми при преобразовании электроэнергии в системах автоматизированного электропривода.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение структуры, конструкции и принципа действия различных типов автоматизированных электроприводов;
- изучение взаимосвязанных электрических и механических процессов, происходящих в электрическом приводе, и основных способов их математического описания;
- приобретение навыков определения основных параметров и выходных характеристик электрических приводов;
- формирование умений в области систем управления автоматизированным электроприводом с целью задания требуемых режимов работы.

По завершении изучения дисциплины «Автоматизированный электропривод» у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

знать: принципы построения систем автоматизированного электропривода, функциональное назначение, принципы функционирования и основные тенденции развития элементной базы автоматизированного электропривода;

уметь: определять оптимальные параметры элементов автоматизированного электропривода, производить расчеты электромеханических систем для обеспечения заданных режимов работы;

владеть: методами построения функциональных схем автоматизированного электропривода, навыками управления режимами и задания оптимальных параметров систем частотно-регулируемого электропривода.

Целью лабораторного практикума является развитие знаний, умений и навыков в области структуры, элементной базы, режимов работы, электромеханических и механических характеристик автоматизированного частотно-регулируемого электропривода.

Задачами освоения лабораторного практикума являются:

- изучение структуры, элементной базы и способов построения автоматизированного электропривода;
- исследование основных характеристик и режимов работы автоматизированного электропривода;
- изучения способов управления и контроля режимов работы автоматизированного электропривода;
- исследование эксплуатационных свойств автоматизированного электропривода.

Общие указания по освоению лабораторного практикума

Лабораторные работы проводятся с использованием специализированного учебного оборудования и (или) компьютерных программ. Основная информация по устройству и принципу действия лабораторной установки и (или) работе специализированного программного обеспечения приведена в учебно-методическом пособии. В случае необходимости перед проведением лабораторной работой непосредственно на месте проведения преподаватель или инженер проводит инструктаж по основным особенностям выполнения лабораторной работы.

Для контроля готовности студентов к выполнению лабораторной работы непосредственно на месте проведения работы преподавателем проводится опрос в устной форме по ключевым особенностям работы с лабораторной установкой (программой): техника безопасности, цель и задачи исследования, принцип взаимодействия с установкой (программой), порядок проведения исследования, ожидаемые результаты. Студенты, прошедшие контроль, допускаются к выполнению лабораторной работы. Студенты, не справившиеся с контролем, допускаются к работе после устранения замечаний.

После выполнения лабораторной работы студенты на основе материалов учебно-методического пособия и указаний преподавателя самостоятельно (в часы самостоятельной работы) выполняют обработку и интерпретацию полученных данных и готовят отчеты по лабораторной работе. Отчет должен не только содержать результаты проведенного исследования, но и отражать осмысление сущности изучаемых явлений, взаимосвязи экспериментальных данных и теоретических положений. Наличие отчета по лабораторной работе является условием для допуска к защите работы.

Защита лабораторной работы проводится в форме ответа на контрольные вопросы, а также ответа на вопросы по существу изучаемого явления, примененной методологии экспериментального и аналитического исследования, взаимосвязи экспериментальных данных и теоретических положений.

При освоении лабораторного практикума по заочной форме обучения лабораторная работа № 1 изучается самостоятельно на основе материалов пособия. Лабораторные работы № 2, 3 и 4 выполняются в лаборатории под руководством преподавателя, на выполнение одной работы отводится одно лабораторное занятие (2 академических часа).

Защита лабораторных работ проводится на базе электронной информационной образовательной среды университета. На защиту одной лабораторной работы отводится 0,5 академических часа. Защита также может проводиться на занятиях, предусмотренных для выполнения лабораторных

работ, в оставшееся после выполнения работ время при условии, что это не снижает качество освоения лабораторного практикума.

Правила техники безопасности

1. Общие требования охраны труда

Безопасность жизнедеятельности при проведении лабораторных работ в лабораториях кафедры энергетике обязательна для профессорско-преподавательского состава, учебно-вспомогательного персонала и студентов.

К проведению лабораторных работ допускаются лица, прошедшие инструктаж с росписью в журнале. Инженер, обслуживающий лабораторию, должен иметь группу допуска с ежегодной проверкой. В лаборатории должна быть медицинская аптечка с набором медикаментов первой медицинской помощи, а также лаборатория должна быть укомплектована средствами пожаротушения. На видном месте должна висеть инструкция по противопожарной технике безопасности.

Во время проведения занятий запрещено находиться в лаборатории в верхней одежде, либо размещать верхнюю одежду в помещении лаборатории. Перед проведением лабораторных занятий студенты обязаны изучить лабораторную работу. Перед началом работы инженер или преподаватель проверяет исправность стенов. Без разрешения преподавателя проведение лабораторных работ запрещается. Запрещается изменять схему лабораторной работы. При проведении лабораторных работ на столах не должно быть ничего из посторонних предметов. Всякие работы по устранению неисправностей под напряжением категорически запрещаются. При сборке схемы применяют только стандартные провода с наконечниками. При возникновении неисправностей стенд должен быть немедленно отключен от сети.

Категорически запрещается оставлять без присмотра работающие стеноды. При появлении запаха гари немедленно отключить стенд. В случае поражения электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Ответственный за проведение лабораторных работ уходит последним из лаборатории, убедившись, что рабочее место убрано, а стеноды отключены.

При эксплуатации действующих электроустановок запрещается использовать оборудование в условиях, не соответствующих требованиям инструкции организации-изготовителей, или оборудование, имеющее неисправности, которые в соответствии с инструкцией по эксплуатации могут привести к пожару, а также эксплуатировать провода и кабели с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией; пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

2. Требования по охране труда перед началом работы

1. Осмотреть состояние помещения: достаточна ли освещенность, работает ли вентиляция проветривания помещения, позволяет ли температура в помещении комфортно проводить работы без верхней одежды, не загромождено ли место проведения занятий посторонними предметами.

2. Осмотреть состояние электрических соединений, рубильников, автоматов и прочих переключающих средств.

3. Проверить наличие средств защиты.

4. Убрать все посторонние предметы, которые могли бы создавать неудобство в сборке схемы лабораторной работы.

5. Если необходимо, вывесить предупреждающие плакаты.

6. Лабораторная работа проводится только с исправными приборами.

7. Руководитель перед началом работы проводит инструктаж по технике безопасности и контролирует весь процесс работы.

8. К моменту проведения лабораторной работы все стенды должны быть проверены и готовы.

9. Все студенты должны расписаться в контрольном листе.

10. Студенты должны внимательно изучить описание работы, при необходимости выяснить неясные моменты.

3. Требования охраны труда во время работы

1. Лабораторная работа проводится только в присутствии преподавателя.

2. На проведение лабораторной работы разрешение дает лично руководитель занятий после проверки правильно собранной схемы.

3. Руководитель должен следить, чтобы в схеме не было открытых оголенных проводов. При обнаружении недостатков такая работа должна быть немедленно приостановлена.

4. Во время проведения лабораторной работы все проходы должны быть освобождены, доступ к стендам должен быть свободным.

5. Во время проведения лабораторной работы запрещается оставлять включенный стенд без присмотра.

6. При выявлении запаха гари следует немедленно обесточить стенд и доложить руководителю.

4. Требования охраны труда по окончании работы

1. По окончании лабораторной работы стенд обесточивается, все приборы и соединительные провода отсоединяются и убираются.

2. О выявленных неисправностях доложить руководителю занятий.

3. Выключить освещение лаборатории, закрыть помещение на замок

5. Требования охраны труда в аварийных ситуациях

1. При возникновении неисправностей во время проведения лабораторной работы необходимо немедленно обесточить стенд.

2. При обнаружении пожара необходимо:

- прекратить работу, оповестить окружающих о пожаре;
- сообщить о пожаре на вахту, сообщить о возгорании в пожарную охрану по тел. **01** или по тел. **101 (112)** мобильной связи, сообщить при этом точное место пожара, что горит, свою фамилию;
- принять меры по эвакуации людей и спасению оборудования.
- отключить от сети электрооборудование;
- приступить к тушению пожара своими силами с помощью имеющихся подручных средств пожаротушения;
- если погасить очаг горения не представляется возможным, необходимо плотно закрыть окно, дверь не запирая замок и покинуть опасную зону;

3. При поражении электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему. При необходимости вызвать скорую помощь по тел. **03**. или по тел. **103 (112)** мобильной связи.

Лабораторная работа № 1

«Изучение работы универсального лабораторного стенда по теории электропривода»

Цель работы: Формирование знаний в области структуры, принципа действия и функциональных взаимосвязей системы электропривода, развитие умений и навыков использования компонентов лабораторного стенда с учетом требований техники безопасности.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ:

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием лабораторной работы;
3. Изучение структуры лабораторного стенда и основных компонентов;
4. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

Лабораторный стенд «Частотно-регулируемый электропривод» включает в себя ряд функциональных блоков (рисунок 1.1):

- электромашинный агрегат;
- модуль питания стенда (МПС);
- модуль питания (МП);
- модуль измерителя мощности (МИМ);
- модуль силовой;
- модуль преобразователя частоты (ПЧ);
- модуль тиристорного преобразователя (ТП);
- ноутбук;
- комплект силовых кабелей и соединительный проводов.

Модуль питания стенда (рисунок 1.2) предназначен для подачи трехфазного напряжения 380 (400) В на модули при наборе схемы с помощью соединительных проводов с лицевой стороны модуля.

На лицевой панели модуля располагаются:

- Автоматический выключатель QF1, предназначенный для коммутации трехфазного электропитания и защиты стенда от короткого замыкания.

- Светодиодная индикация (А, В, С) наличие трехфазного напряжения 380 В на выходе автоматического выключателя.

- Контрольные клеммы +5 В, -15 В, +15 В, в которых подключены выходные каналы источника вторичного электропитания

- Светодиодная индикация наличия напряжения +5 В, -15 В, +15 В на выходах источника вторичного электропитания.

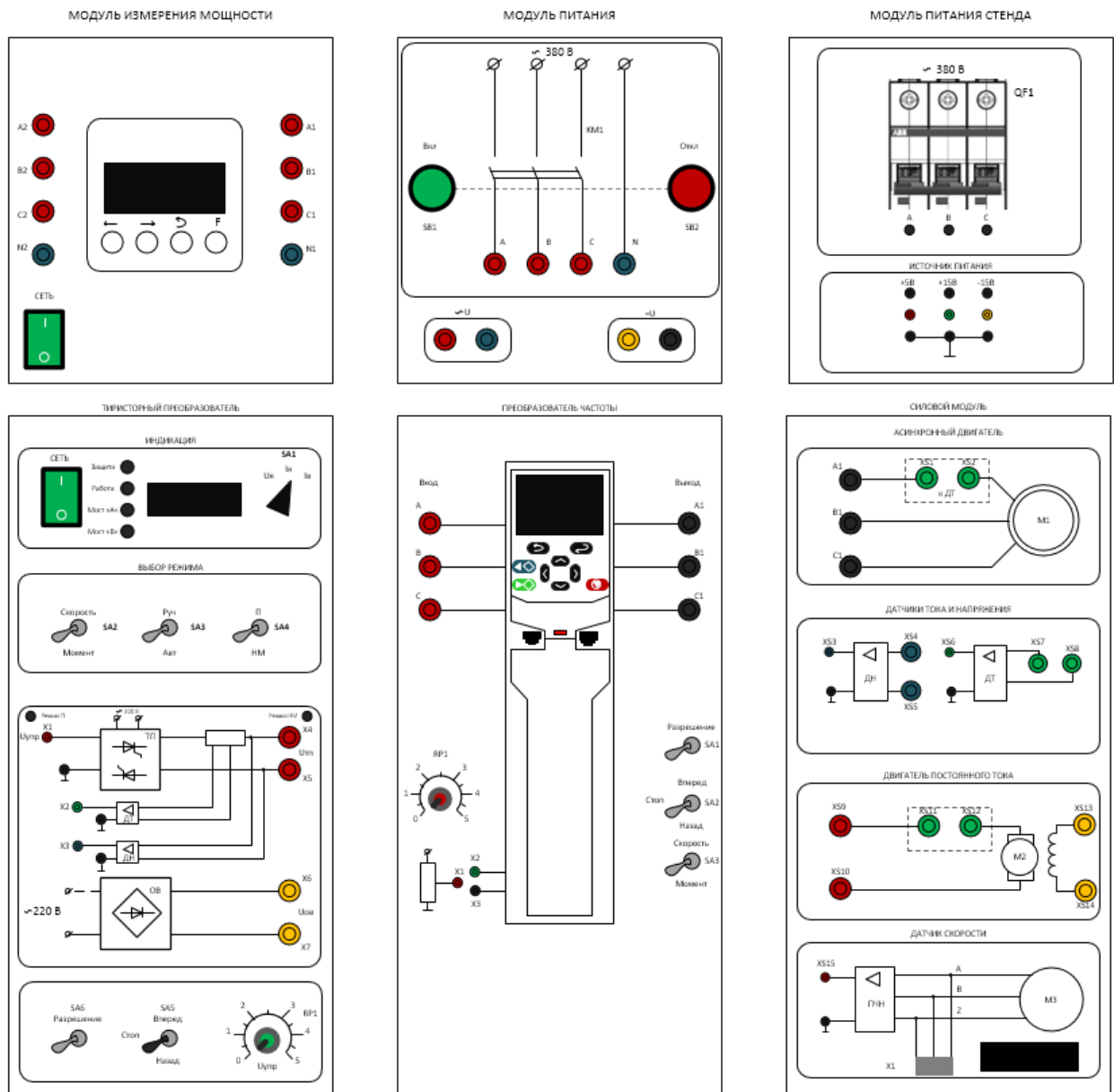


Рисунок 1.1 – Общий вид лабораторного стенда

Модуль питания (рисунок 1.3) предназначен для передачи трехфазного напряжения 380 (400) В из сети в лабораторный комплекс, защиты комплекса от токов короткого замыкания, подачи силовых и низковольтных напряжений питания на модули стенда.

Модуль включает в себя:

- Клеммы фазного напряжения « $\sim U$ » и выпрямленного « $=U$ »;
- Мнемосхема контактора KM1 с клеммами трехфазного напряжения «A», «B», «C» и нейтраль «N»;
- Кнопка «Вкл» и «Откл», предназначенные для управления контактором;
- Светодиодная индикация наличия фазных напряжений на выходе контактора.

МОДУЛЬ ПИТАНИЯ СТЕНДА

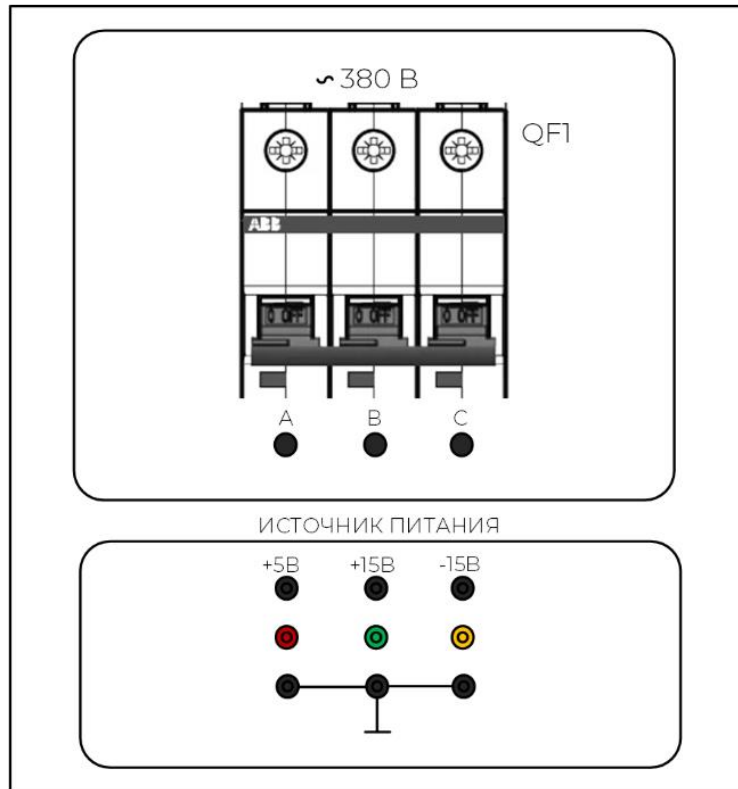


Рисунок 1.2 – Модуль питания стенда

МОДУЛЬ ПИТАНИЯ

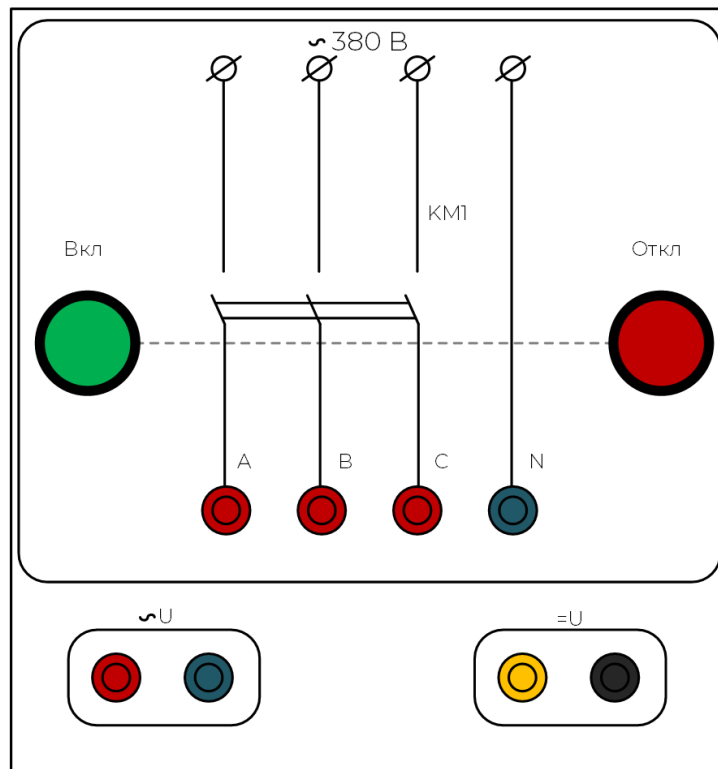


Рисунок 1.3 – Модуль питания

Модуль измерения мощности (рисунок 1.4) предназначен для измерения электрических параметров трехфазной сети переменного тока.

Под параметрами трехфазной сети переменного тока понимают:

– Напряжения (U, V), где U_1, U_2, U_3 – напряжение фаз; $U_{1-2}, U_{2-3}, U_{3-1}$ – между фазами.

– Мощности (P, Q, S), где P_1, P_2, P_3 – активные мощности каналов; P – суммарная активная мощность (W). Q_1, Q_2, Q_3 – реактивные мощности каналов; Q – суммарная реактивная мощность (Var). S_1, S_2, S_3 – полные мощности каналов; S – суммарная полная мощность (VA). W – энергия ($Wh, Varh, VAh$).

– Токи (I, A), где I_1, I_2, I_3 – ток каналов.

– Коэффициент мощности, где FF_1, FF_2, FF_3 – коэффициенты каналов; FF – суммарный коэффициент мощности

– Частоту ($F, Гц$).

На лицевой панели модуля измерителя мощности размещаются:

– Входные $A1, B1, C1$ и $N1$ (генератор) и входные $A2, B2, C2$ и $N2$ (нагрузка) клеммы подключения модуля;

– Кнопка «Сеть» для подачи питания на измеритель мощности;

– Дисплей.

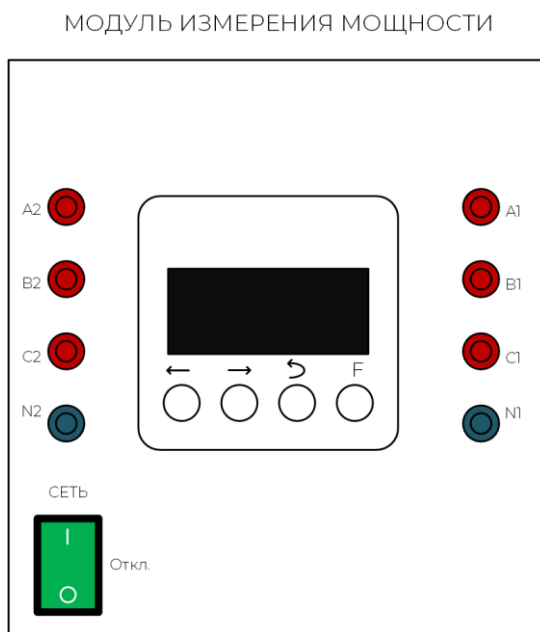


Рисунок 1.4 – Модуль измерения мощности

Дисплей МИМ содержит кнопки следующего назначения:

→ выбор значений модуля по направлению вправо;

← выбор значений модуля по направлению влево;

↪ выход в основное меню для выбора измерения других параметров;

F фиксация выбранных строки и параметров для измерения.

Тиристорный преобразователь (рисунок 1.5) обеспечивает преобразование переменного тока ~ 220 В в регулируемое постоянное напряжение в диапазоне $-220 \dots 0 \dots +220$ В. Тиристорный преобразователь представляет собой однофазный двухкомплексный преобразователь с отдельным управлением комплектами.

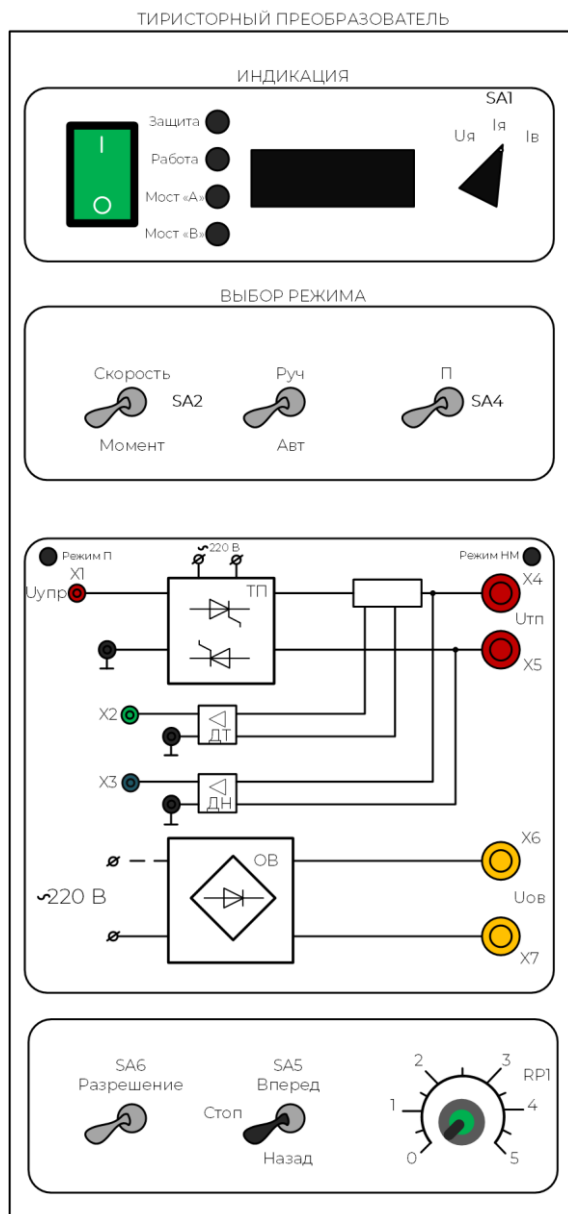


Рисунок 1.5 – Модуль тиристорного преобразователя

На лицевой панели модуля вынесены:

- Клавишный переключатель с подсветкой «Сеть» подачи питания на ТП;
- Цифровой индикатор, на котором отображаются напряжение якоря, ток якоря, ток возбуждения ДПТ;
- Светодиодная индикация режима работы преобразователя («Разрешение» на работу ТП, светодиод «Защита»);

- Тумблер SA2 выбора режима регулирования «Скорость/Момент». В режиме «Скорость» преобразователь регулирует выходное напряжение, а в режиме «Момент» - выходной ток;

- Тумблер SA3 выбора режима «Руч/Авт». В положение «Авт» управление преобразователем осуществляется с помощью внешнего аналогового сигнала, подаваемого на клемму X1. В положение «Руч» сигнал задания принимается с потенциометра RP1 и переключателя SA5 «Вперед/Назад» модуля;

- Тумблер SA4 выбора режима работы «П/НМ». В режиме «НМ» (нагрузочная машина) обратные связи по скорости или моменту подключаются автоматические. В режиме «П» (Преобразователь) все внутренние обратные связи преобразователя размыкаются, а аналоговый сигнал управления с клеммы X1 поступает непосредственно на вход системы импульсно-фазового управления преобразователя.

- Тумблер SA5, которым осуществляется выбор направления вращения ДПТ;

- Тумблер SA6 «Разрешение», обеспечивающий подачу сигнала разрешения на работу тиристорного преобразователя;

- Потенциометр RP1, с помощью которого обеспечивается плавное регулирование сигнала задания.

Преобразователь частоты (рисунок 1.6) обеспечивает преобразование переменного напряжения 3 х 380 вольт и трехфазный напряжения с регулируемыми значениями напряжения и частот.

Модуль содержит:

- Преобразователь частоты Unidrive M701 с кнопочной панелью управления;

- Силовые клеммы подачу трёхфазного напряжения входного напряжения А, В, С;

- Силовые клеммы подключения электродвигателя А1, В1, С1;

- Потенциометр аналогового сигнала RP1 с клеммой X1 на которую выведен сигнал с этого потенциометра;

- Переключатель SA1 «разрешение», осуществляет подачу сигнала разрешение на работу преобразователя частоты;

- Переключатель SA2 «вперёд/назад» выбора направления вращения;

- Переключатель SA3 «скорость/момент» выбора режима регулирования скорости и крутящего момента;

- Клемма X2 аналогового выхода преобразователя частоты;
- Клеммы X3, в которой подключена общая точка аналоговых входов преобразователя;

Разъём X1, расположены на лицевой панели и предназначенный для подключения импульсного датчика скорости.

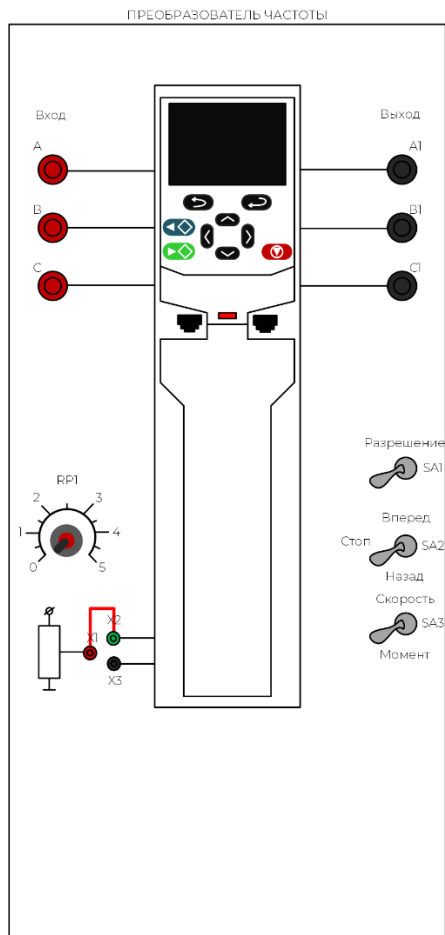


Рисунок 1.6 – Преобразователь частоты

Силовой модуль (рисунок 1.7) содержит мнемосхемы электрических машин, а также датчики тока, скорости, напряжения. Служит как промежуточное звено в подключении электромашинного агрегата к устройствам питания и управления.

Модуль содержит:

- Мнемосхема и клеммы, к которым подключены выводы обмотки статора асинхронного двигателя с возможностью включения датчика тока
- Мнемосхема и клеммы, к которым подключены выводы обмотки якоря и обмотки независимого возбуждения двигателя постоянного тока электромашинного агрегата

- Мнемосхема датчиков тока и напряжения с выделенными на лицевой панели клеммами для подключения датчиков в контролируемую цепь. Датчики работают на основе эффекта Холла, что обеспечивает гальваническое разделение силовых и вторичных цепей, измерения как переменного, так и постоянного тока, и напряжения

- Мнемосхема импульсного датчика скорости, где показан микропроцессор преобразователь, осуществляющий измерения скорости вращения электродвигателя. Вывод измеренного значения скорости осуществляется на цифровой индикатор, а также на клемму xs15 и в виде аналогового сигнала в диапазоне $-10...0...+10$.

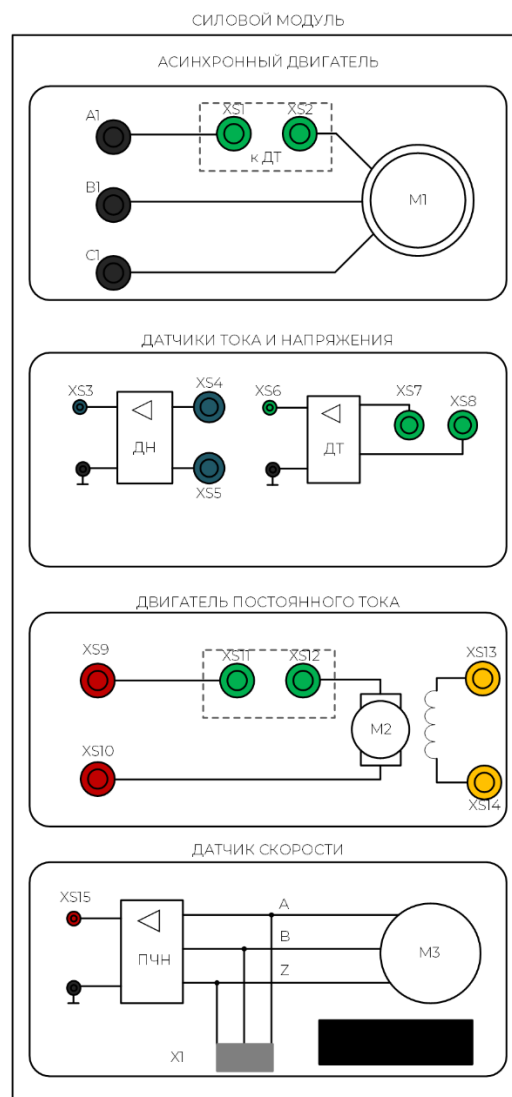


Рисунок 1.7 – Силовой модуль

УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с составом оборудования лабораторного стенда.
2. Ознакомиться с функциональной схемой лабораторного стенда.

Электромашинный агрегат представляет собой соединенные на одном валу три электрических машины (рисунок 1.8):

- асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором;
- машины постоянного тока;
- импульсный датчик скорости (энкодер).

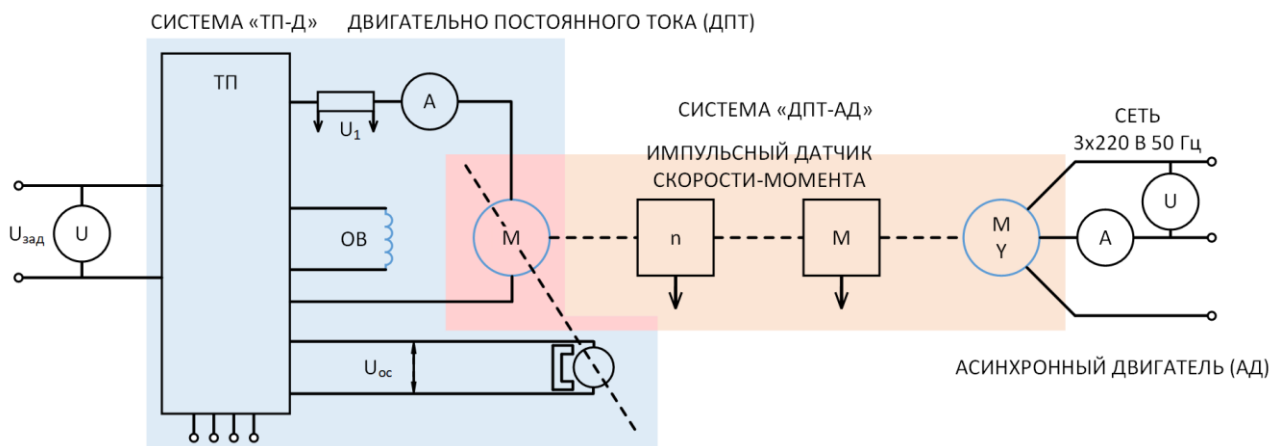


Рисунок 1.8 – Электромашинный агрегат

Электромеханическая система «Электродвигатель постоянного тока – синхронный двигатель (ДПТ – АД) состоит из двух электрических машин, валы которых соединены через торсионную муфту. Питание ДПТ осуществляется через ТП.

Импульсный датчик позволяет наблюдать за текущей скоростью вращения двигателей. Если при выполнении лабораторных работ требуется ввести аналоговый сигнал, пропорциональный скорости вращения двигателей в стенде, его можно получить с помощью преобразователя частота – напряжение, установленном в силовом модуле.

Фронтальная панель стенда, с которой работает оператор, состоит из двух частей: панели коммутации и управления, панели измерительных приборов. Панель содержит три автоматических выключателя (АВ), каждый из которых имеет лампу световой индикации включенного состояния:

- АВ «сеть» в модуле питания стенда (МПС) осуществляет подключение стенда к сети (отключен);
- АВ «сеть» в МИМ осуществляет измерения мощности, напряжения и тока в стенде (отключен);
- АВ «сеть» в модуле ТП для подключения ДПТ (отключен).

Кнопка питания с световой индикацией SB1 нажимается после перевода в состояние «включен» АВ в МПС. По завершению работы стенда перед переводом АВ в МПС в состояние «отключен» следует нажать SB2.

На передней панели установлены элементы управления приводами, которые осуществляют аналоговое (непосредственное) управление в том случае, когда тумблер «Управления приводами» переведен в положение «непосредственное» (включен на непосредственное управление). К ним относятся:

- Тумблер SA1 (ТП) от $U_{Я}$ до R_B (включен на $I_{Я}$);
- Тумблер SA2 (ТП) включен на «Момент»;
- Тумблер SA3 (ТП) включен на «Руч»;
- Тумблер SA4 (ТП) включен на «НМ»;
- Тумблер SA5 (ТП) переведен в нижнее положение;
- Тумблер SA6 (ТП) переведен от «Вперед» до «Назад» переведен в положение «Стоп»;
- Ручка управления RP1 (ТП) перевернуто до упора влево в значение «0»;
- Ручка управления RP1 (ПЧ) перевернуто до упора влево в значение «0»;
- Тумблер SA1 (ПЧ) переведен в нижнее положение;
- Тумблер SA2 (ПЧ) от «Вперед» до «Назад» переведен в положение «Стоп»;
- Тумблер SA3 (ПЧ) переведен в положение «Скорость».

Паспортные данные электрических машин используются для ознакомления со структурой лабораторной установки, а также в качестве исходной информации для построения аналитических электромеханических и механических характеристик.

Таблица 1.1 – Паспортные данные машины постоянного тока П11М

Наименование параметра	Значение
Тип	Двигатель постоянного тока со смешанным возбуждением
Мощность, Вт	290
Номинальное напряжение питания обмотки якоря, В	220
Номинальный ток якоря, А	2,04
Номинальный ток обмотки последовательного возбуждения, А	2,04
Номинальное напряжение параллельной обмотки возбуждения, В	220
Номинальная частота вращения, об./мин	1500
КПД	0,6
Масса, кг	18,5

Таблица 1.2 – Паспортные данные асинхронного двигателя АИР63В4

Наименование параметра	Значение
Тип ротора	Короткозамкнутый
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение питания обмотки статора, Y/Δ, В	380/220
Номинальный ток фазы статора Y/Δ, А	1,18/2,04
Номинальная частота вращения, об./мин	1310
Число пар полюсов	2
$\cos\varphi$	0,70
Номинальный момент, Н·м	1,4
Активное сопротивление статора $r_{1,27^{\circ}\text{C}}$, Ом	19
Механические потери, $P_{\text{мех АД}}$, Вт	11

Таблица 1.3 – Паспортные данные датчика скорости E40S6-500-6-L-5

Наименование параметра	Значение
Тип	Инкрементальный энкодер
Напряжение питания, В	=5
Разрешающая способность, имп./об.	500
Максимальная скорость вращения, об./мин	5000
Тип выходного сигнала	Линейный драйвер

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет должен содержать: титульный лист; содержание отчета; введение; описание лабораторной установки; заключение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните состав оборудования лабораторного стенда.
2. Поясните функцию составляющих функциональной схемы лабораторного стенда.
3. Поясните состав и принцип работы панели коммутации и управления.
4. Какие основные правила техники безопасности должны соблюдаться при проведении работ на данном лабораторном стенде?

Лабораторная работа №2

«Ознакомление с функциями программного обеспечения преобразователя частоты»

Цель работы: Формирование знаний в области принципа действия и функциональных возможностей преобразователей частоты в системах электропривода, развитие умений и навыков конфигурирования преобразователей частоты с использованием специализированного программного обеспечения.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ:

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Изучение технической документацию от производителя по преобразователю Unidrive M701;
4. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

Лабораторный стенд «Частотно-регулируемый электропривод», компьютер с установленным ПО.

УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с составом оборудования лабораторного стенда.
2. Перевести переключатели на лицевой дверце шкафа в следующие состояния:
 - Переключатель «Сеть» модуля ТП перевести в нижнее положение
 - Тумблер SA3 – в положение «Руч»
 - SA4, SA6 – в нижнее положение
 - SA5 – в среднее положение
 - Перевести ТП в режим регулирования момента
 - Переключатель SA1 «Разрешение» модуля ПЧ перевести в нижнее положение
 - Потенциометр RP1 – в крайнее положение против часовой стрелки
 - Установить перемычку между клеммами X1 и X2 модуля
 - Переключатель SA2 установить в среднее положение
 - Переключатель SA3 в положение «Скорость».
3. Запустить на ноутбуке, входящем в состав стенда программное обеспечение Connect, подключить преобразователь частоты к ноутбуку специализированным кабелем.

При запуске программы отображается стартовый экран (рисунок 2.1). В центральной области программы на вкладке «*Recent Projects*» отображается перечень уже существующих проектов, которые можно выбрать двойным кликом мыши и тем самым запустить. Левее, снизу, от данной вкладки отображается вкладка «*Build a project from a Network of Drives*», в которой показаны возможные ссылки для поиска подключенных преобразователей.

Указанные выше способы позволяют настроить связь между ПЧ и ноутбуком гораздо более оперативно, однако для более полного понимания процесса настройки рассмотрим общий случай создания нового проекта и установления связи. Для этого на стартовом экране выбрать программу *New Project*. В появившемся окне выбрать название проекта (на латинице) и место его расположения, затем, нажать клавишу ОК.

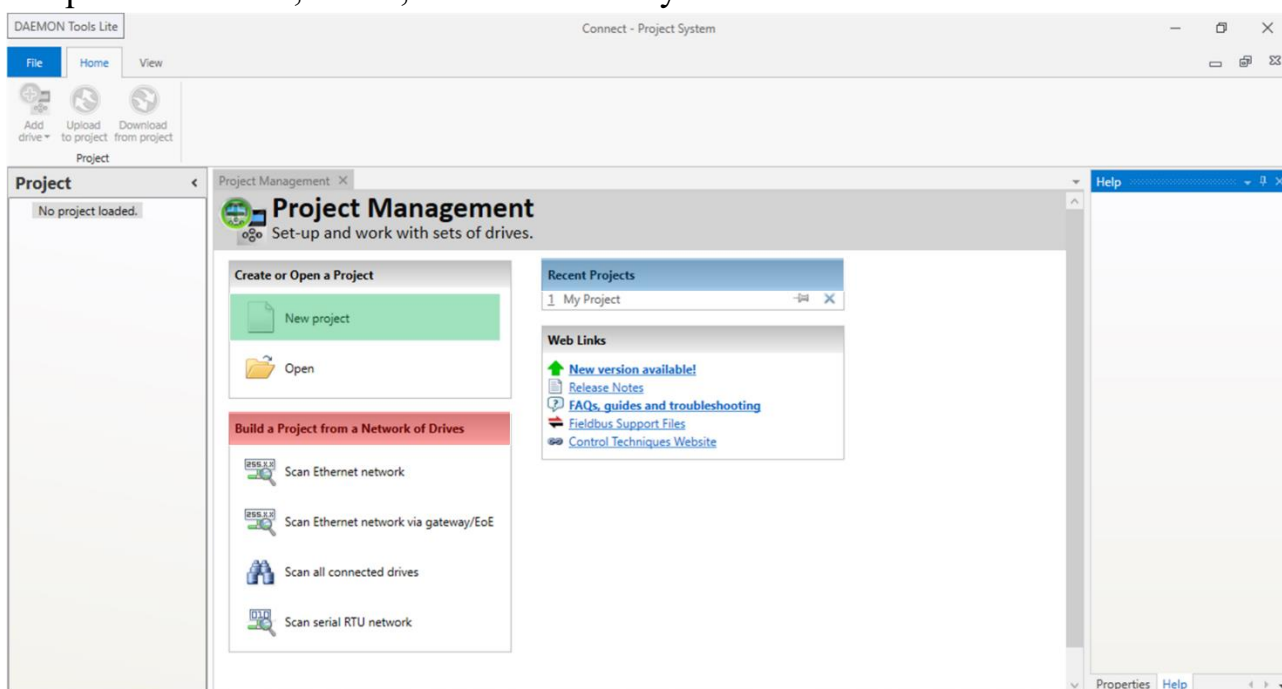


Рисунок 2.1 – Стартовый экран программы

После этого откроется серое окно пустого проекта. Выбрать функцию «*Add drive*» появится окно настроек привода и связи с ним (см. рисунок 2.2). В появившемся окне можно выбрать имя привода (на латинице), тип (*Unidrive M701*), модель (03400025) и структуру работы (*Open loop*).

После следующего нажатия кнопки ОК программа запустит главное рабочее окно, представленное на рисунке 2.3.

Для подтверждения работы с приводом в режиме реального времени верхней строке выбрать команду *Online* – при успешной синхронизации появляется окно выбора: скопировать данные из программы в ПЧ или данные из ПЧ в программу, необходимо выбрать второй случай.

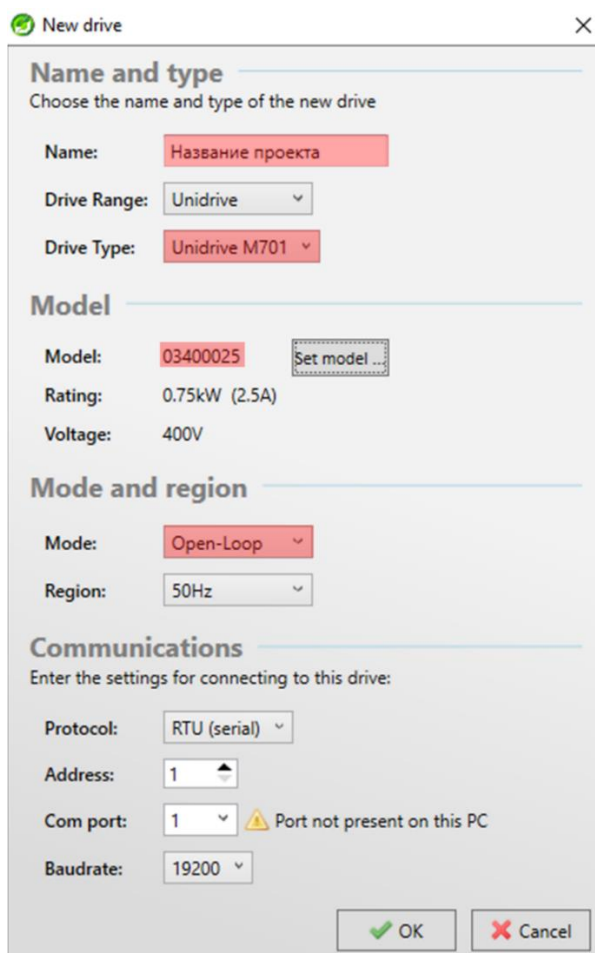


Рисунок 2.2 – Окно выбора ПЧ и коммуникационных настроек

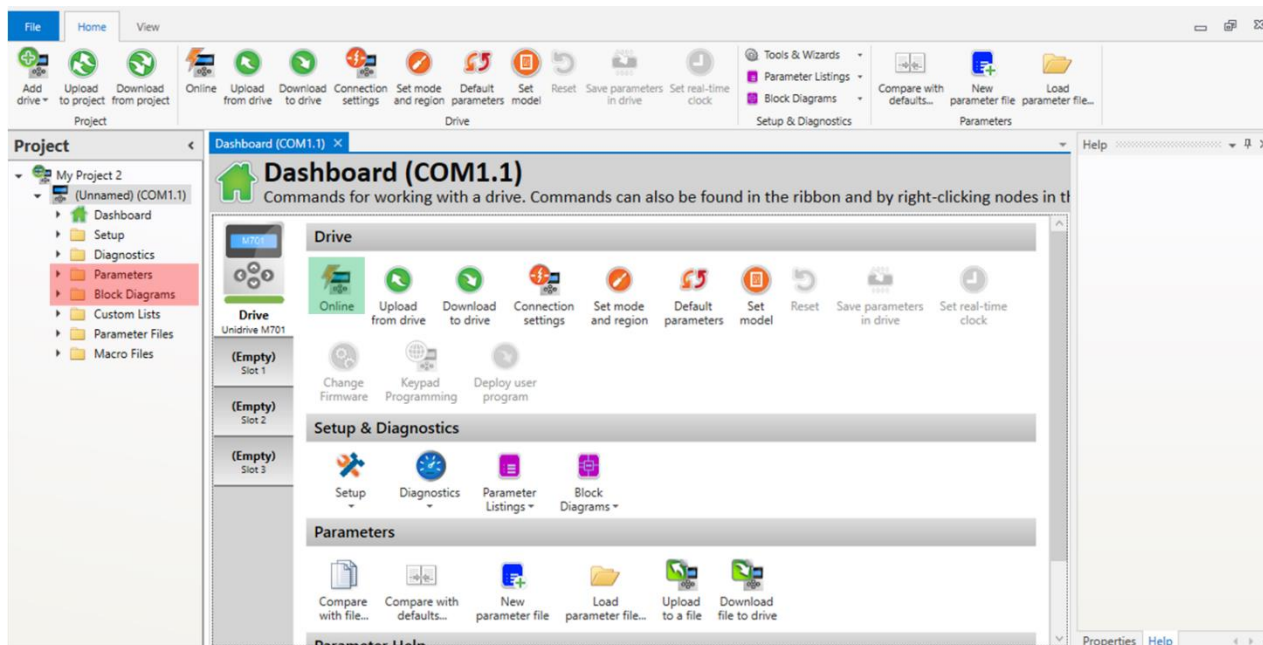


Рисунок 2.3 – Главный рабочий экран программы *Connect*

Настройка параметров двигателя и электропривода в программной среде *Connect* может быть осуществлена двумя способами: через меню «*Parameters*» и через меню «*Block Diagrams*». В данной лабораторной будет рассмотрен второй способ как наиболее наглядный. Для настройки электропривода

необходимо открыть блок-схему меню № 5 (рисунок 2.4). Для этого в левом окне главного экрана «Project» выбрать выпадающий список «Block Diagrams». На открывшейся функциональной схеме перейти во вложенную вкладку «Motor tar» (рисунок 2.5). В открывшейся вкладке выбрать следующие значения параметров:

- в параметре 05.011 установить число полюсов
- в параметре 05.010 установить номинальный коэффициент мощности
- в параметре 05.009 установить номинальное линейное напряжение двигателя
- в параметре 05.008 установить номинальную скорость двигателя
- в параметре 05.007 установить номинальный ток двигателя
- в параметре 05.006 установить номинальную частоту двигателя
- в параметре 10.030 установить номинал мощности тормозного резистора 100 Вт
- в параметре 10.031 установить тепловую постоянную времени тормозного резистора 100 с
- в параметре 10.061 установить сопротивление тормозного резистора 195 Ом
- в параметре 05.014 выбрать режим «Fixed».

Далее выбором соответствующей вложенной вкладки вернуться в предыдущее меню и в параметре 05.027 установить значение off (отключить компенсацию скольжения).

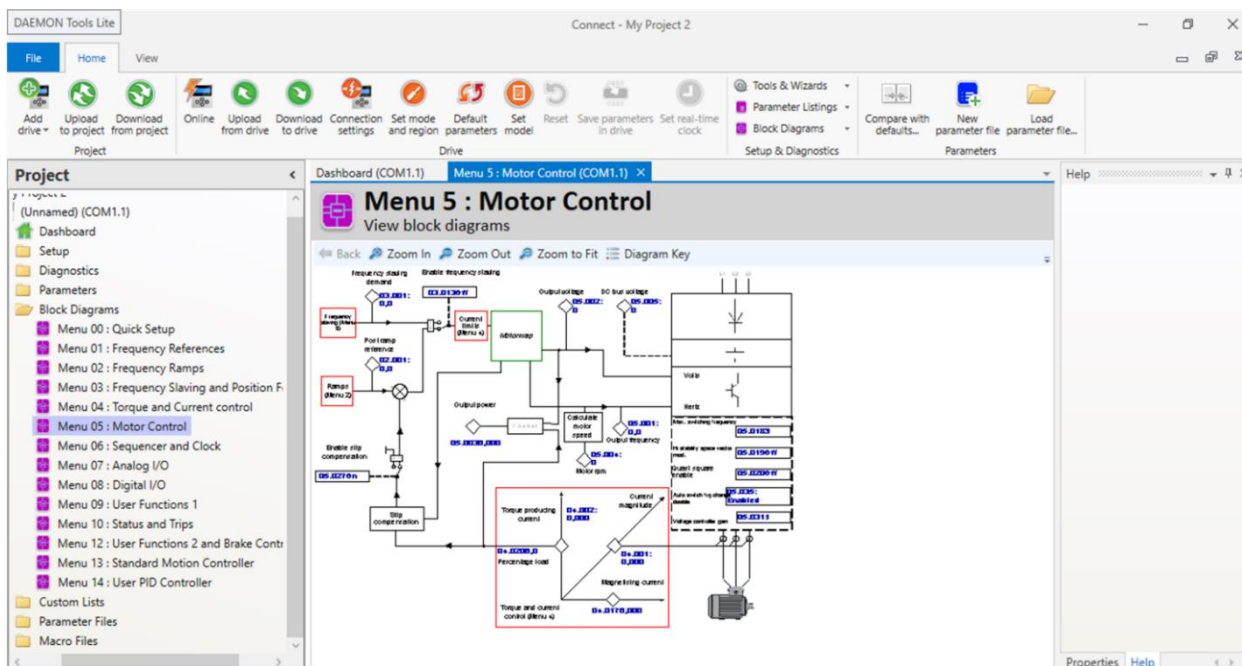


Рисунок 2.4 – Внешний вид блок-схемы меню 5

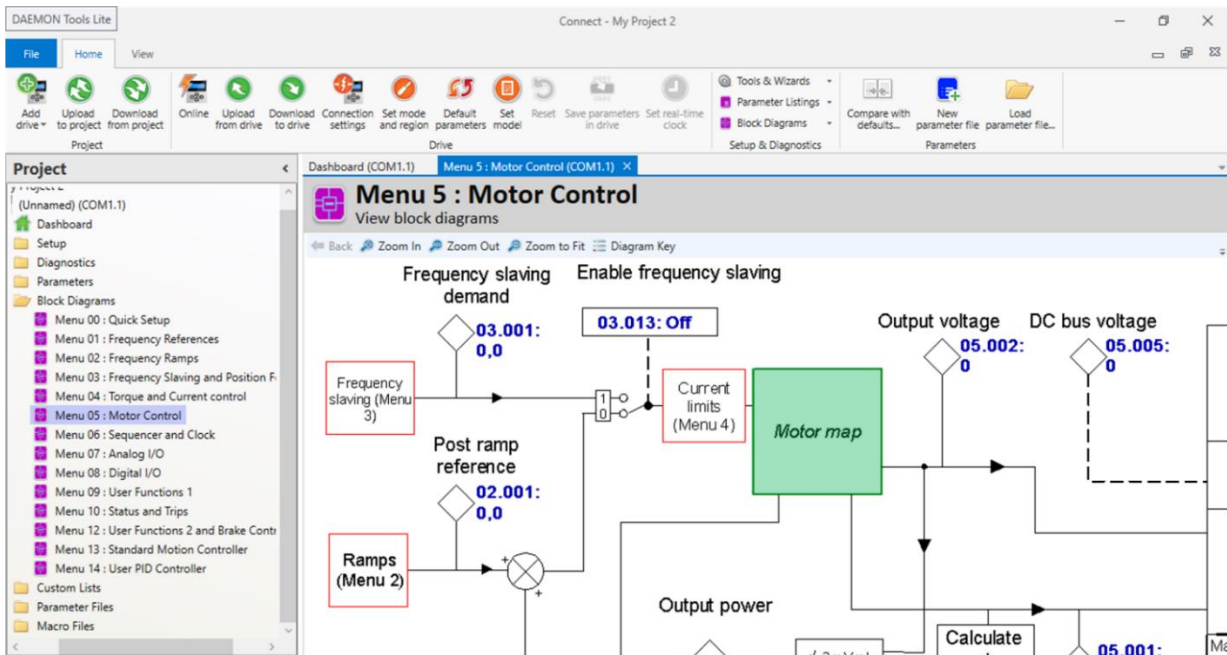


Рисунок 2.5 – Внешний вид блок-схемы подменю «Motor map»

Для настройки времени пуска и торможения электропривода необходимо выбрать блок-схему меню № 2 (рисунок 2.6). В открывшейся вкладке выбрать следующие значения параметров:

- в параметре 02.010 установить 1
- в параметре 02.011 установить время разгона, равное 1 с
- в параметре 02.020 установить 1
- в параметре 02.021 установить время торможения, равное 1 с.

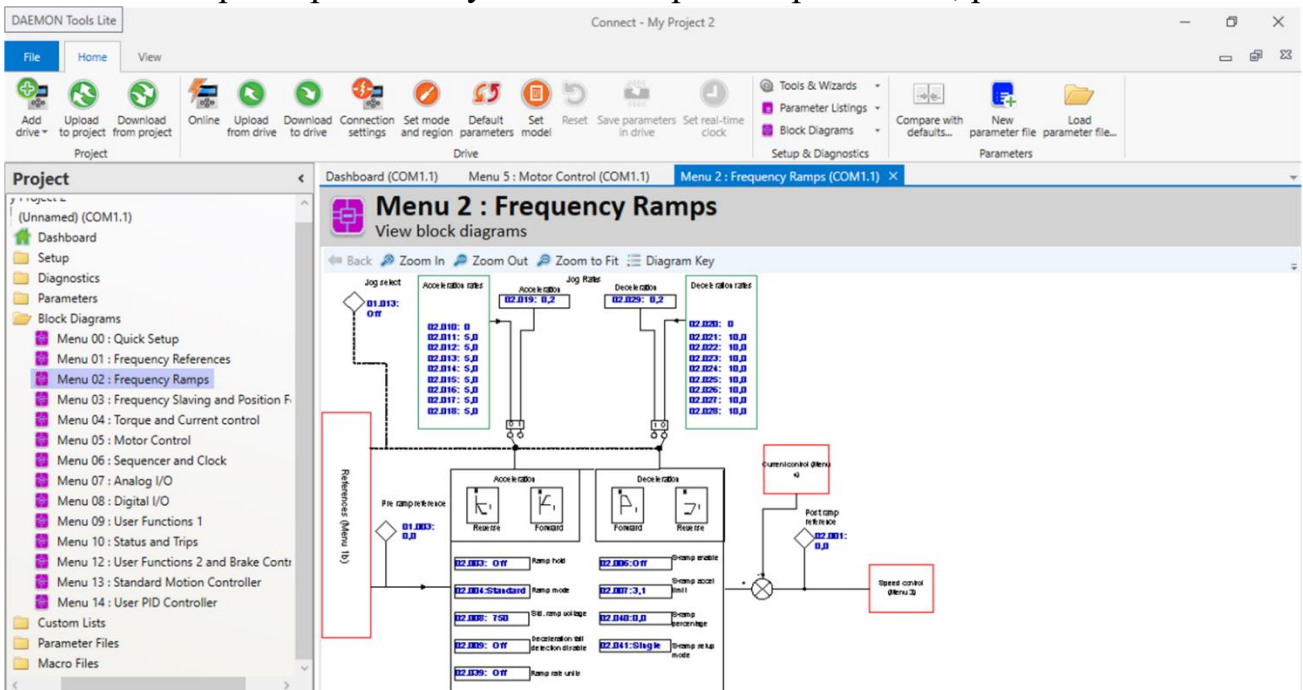


Рисунок 2.6 – Внешний вид блок-схемы меню 2

Для пробного пуска ПЧ осуществить следующие операции:

- переключить тумблер SA1 модуля ПЧ «Разрешение» в положение «1»
- переключателем SA2 выбрать направление вращения «Вперед»
- потенциометром RP1 задать скорость вращения двигателя. Пуск будет выполнен в соответствии с темпом разгона (параметр 02.011), текущая скорость высвечивается на нижней строке дисплея
- изменить направление вращения. Для этого переключателем SA2 выбрать направление вращения «Назад». Величина скорости снизится до нуля и далее произойдет реверс привода. Темп замедления скорости определяется параметром 02.021
- для выхода преобразователя из рабочего режима тумблера SA1 «Разрешение» перевести в положение «0».

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет должен содержать: титульный лист; содержание отчета; введение; описание используемого программного обеспечения и его функциональных возможностей; результаты конфигурирования оборудования; заключение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укажите достоинства и недостатки применения частотного регулирования?
2. Объясните работу преобразователя в тормозном режиме. Где рассеивается энергия торможения двигателя?
3. Назовите основные режимы работы преобразователя частоты Unidrive M701.
4. Назовите основные способы управления преобразователем Unidrive M701.

Лабораторная работа № 3

«Исследование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором»

Цель работы: Формирование знаний в области характеристик асинхронных электродвигателей как элементов систем электропривода, развитие умений и навыков снятия и обработки экспериментальных данных при построении энергетических диаграмм асинхронного электродвигателя при питании от нерегулируемой сети переменного тока, а также при питании от сети с регулируемыми параметрами напряжениями и частоты.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ:

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Выполнение лабораторной работы согласно плану проведению лабораторного занятия;
4. Отключение стенда, разбор схемы, освобождение рабочего места;
5. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

Лабораторный стенд «Частотно-регулируемый электропривод», компьютер с установленным ПО, машина переменного тока АИР63В4.

Данная лабораторная работа связана со снятием механической, электромеханических характеристик АД с короткозамкнутым ротором, находящегося в составе частотно регулируемого электропривода (рисунок 3.1).

Для этого производятся измерения основных показателей АД (частота вращения, фазное напряжения, ток статора, мощность, потребляемая одной фазой двигателя из сети): сначала на холостом ходу, затем увеличивает нагрузку до допустимого уровня – ток якоря ДПТ не должен превышать 2 А. ТП должен быть переведен в режим регулирования момента.

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

- переключатель «Сеть» тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение;

- переключатель SA3 модуля ТП – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», SA6 «Разрешение» - в нижнее положение;

- переключатель SA1 «Разрешение модуля ПЧ» перевести в нижнее положение потенциометра RP1 – в крайнее положение против часовой стрелки. Переключатель SA2 установить в среднее положение. Настроить ПЧ в режим

разомкнутого управления скоростью (Приложение А). Переключатель SA3 в ПЧ в положение «Скорость».

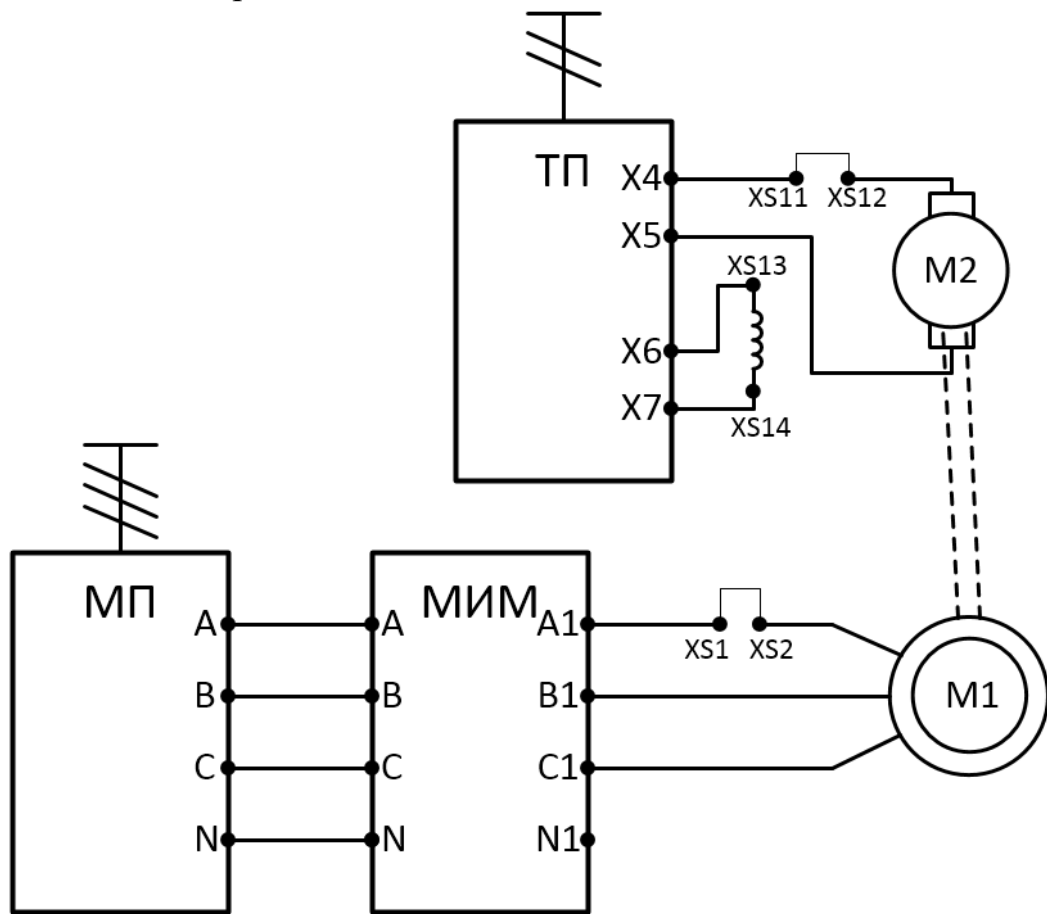


Рисунок 3.1 – Схема для исследования асинхронного электродвигателя

В работе исследуются свойства асинхронного двигателя, каталожные данные приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Паспортные данные машины переменного тока АИР63В4

Наименование параметра	Значение
Тип ротора	Короткозамкнутый
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение обмотки статора, Y/Δ, В	380/220
Номинальный ток фазы статора Y/Δ, А	1,18/2,04
Номинальная частота вращения, об/мин	1310
Число пар полюсов	2
cos φ	0,70
Номинальный момент, Н·м	1,4
Активное сопротивление статора $r_{1,27^{\circ}\text{C}}$, Ом	19
Механические потери, $P_{\text{мех АД}}$, Вт	11

УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа включается в себя подготовительную, экспериментальную и аналитическую стадии. Экспериментальная часть выполняется в лаборатории.

1. Ознакомиться с устройством экспериментальной установки и особенностями проведения лабораторной работы.

2. Ознакомиться с теорией о принципе работы АД.

3. Провести экспериментальное исследование АД с короткозамкнутым ротором путем снятия данных для построения диаграмм мощности, электромеханической и механической характеристик: при питании АД от нерегулируемого источника напряжения, при питании от полупроводникового источника напряжения, при регулировании амплитуды питающего напряжения.

4. Обработка экспериментальных данных. По полученным данным заполнить таблицы 3.2-3.4. Построить диаграмму мощности, графики электромеханической и механической характеристик.

5. По паспортным данным АД рассчитать аналитические электромеханическую и механическую характеристику.

6. Выполнить графическое сопоставление экспериментальных и теоретических механических и электромеханических характеристик.

7. Сделать вывод о влиянии нерегулируемого источника напряжения, полупроводникового источника напряжения, амплитуды питающего напряжения на внешний вид диаграмм мощности, электромеханической и механической характеристик.

Рекомендации по аналитической части

Для построения аналитических характеристик необходимо использовать паспортные данные АД (таблица 3.1) и известные аналитические выражения.

1. Частота вращения двигателя. 1/с

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

где n - скорость вращения электродвигателя, об/мин.

2. Полная мощность, потребляемая из сети, В·А

$$S = 3U_{\phi} \cdot I_C$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение сети, В; I_C - ток статора, А.

3. $\cos(\varphi)$ электродвигателя

$$\cos(\varphi) = \frac{3 \cdot P_C}{S}$$

где P - мощность, потребляемая одной фазой двигателя из сети, Вт

4. Электрические потери в цепи статора, Вт

$$\Delta P_{эл} = 3 \cdot I_C^2 \cdot r_c$$

где r_c - сопротивление фазы обмотки статора.

5. Полезная мощность на валу двигателя, Вт

$$P_B = 3 \cdot P_C - \Delta P_{эл} - \Delta P_{МЕХАД}$$

где $\Delta P_{МЕХАД}$ - механические потери двигателя (таблицы 1.1-1.3), Вт; P_C - активная мощность в фазе статора, Вт.

6. Момент на валу двигателя, Н-м

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

7. Коэффициент полезного действия в двигательном режиме электродвигателя

$$\eta = \frac{P_B}{3 \cdot P_C}$$

8. Коэффициент полезного действия в генераторном режиме

$$\eta = \frac{P_C}{3 \cdot P_B}$$

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

Порядок выполнения экспериментальных исследований

Для проведения исследования на лабораторной установке при себе необходимо иметь (по одному экземпляру на бригаду): бланк переключений в экспериментальной электроустановке и таблицы для регистрации измерений. Также необходимо перед началом работы проверить предпусковое положение органов панели управления (пункт 7)

Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя при питании от нерегулируемого источника напряжения (сети):

Опыт проводится по схеме, представленной на рисунке 3.1. Механическая характеристика предстает собой зависимость частоты вращения двигателя от полезного момента на валу $\omega = f(M_B)$ при постоянном значении частоты и амплитуды питающего напряжения (рисунок 3.2, а).

Электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость частоты вращения от тока статора $\omega = f(I_C)$ (рисунок 3.2, б).

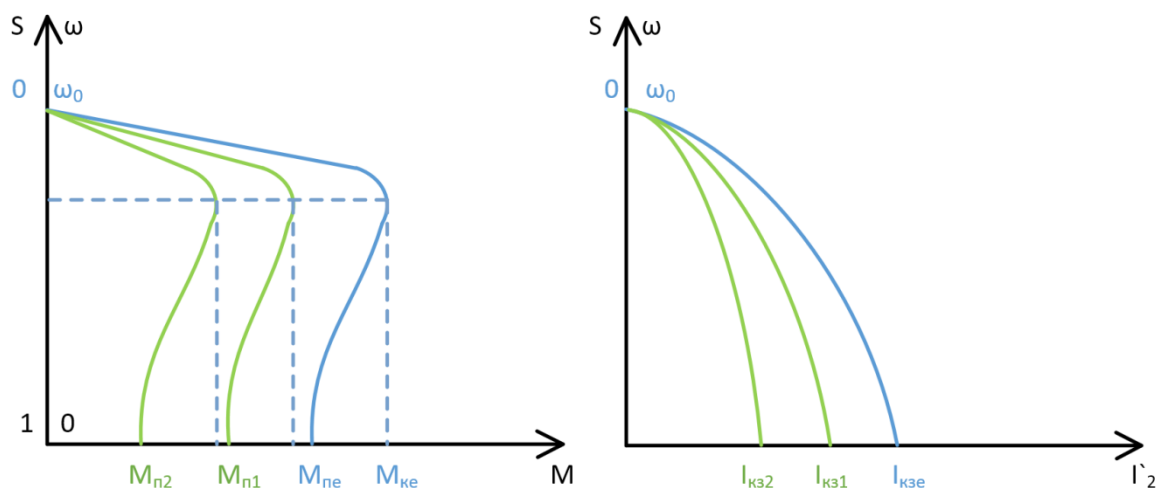


Рисунок 3.2 – Механическая и электромеханическая характеристика АД с КЗ ротором

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить последовательно автоматический выключатель QF1 модуля питания и нажать кнопку «Вкл» управления контактором модуля питания – подается напряжение на асинхронный двигатель, он начинает вращаться;
- подать питание ТП включением кнопки «Сеть»;
- подать разрешение на работу ТП (SA6) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель SA5);
- задавая момент нагрузки, следить за частотой вращения. Если она увеличивается, поменять направление момента нагрузки;
- снять несколько точек двигательного режима, поменять направление момента (переключатель SA5 ТП: вверх – двигательный режим, вниз – генераторный режим), снять несколько точек генераторного режима. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать 2А.
- После проведения опыта необходимо привести модули в исходное состояние.

Данные опыта занести в таблицу 3.2.

Естественные характеристики при питании от регулируемого полупроводникового источника напряжения

Схема для исследования асинхронного электродвигателя от регулируемого источника напряжения представлена на рисунке 3.3.

Механическая характеристика представляет собой зависимость частоты вращения двигателя от полезного момента на валу $\omega = f(M)$. Электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость частоты вращения от тока статора $\omega = f(I_C)$.

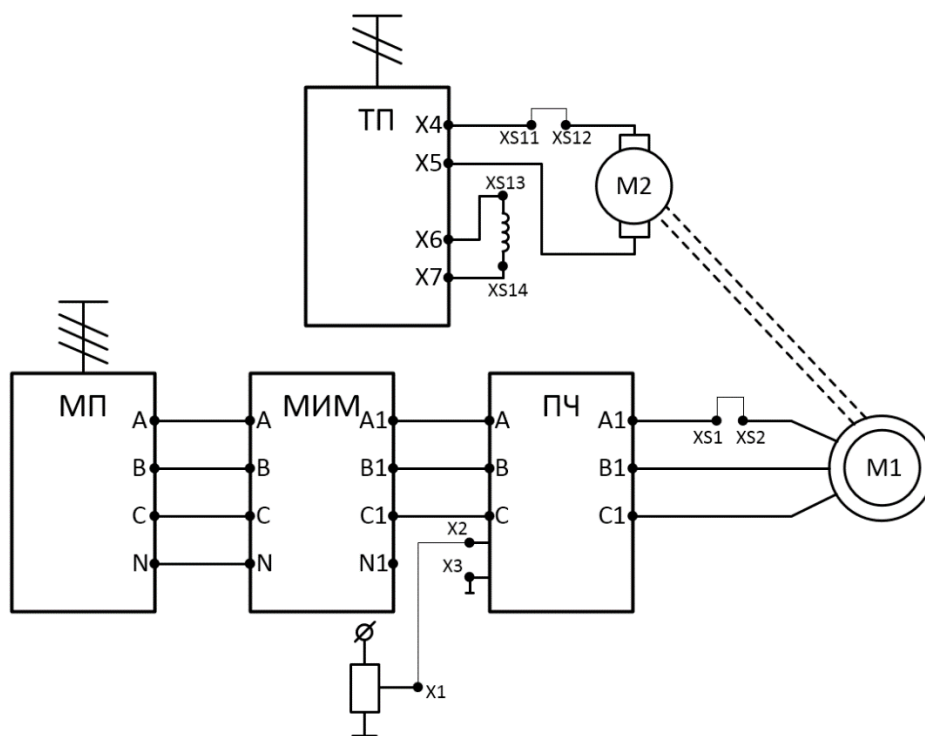


Рисунок 3.3 – схема исследования асинхронного двигателя от регулируемого источника напряжения

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить последовательно автоматический выключатель QP1 модуля питания и нажать кнопку «Вкл» управления контактором модуля питания;
- подать питание на ТП включением кнопки «Сеть»;
- подать разрешение на работу ПЧ переключателем SA1 одноименного модуля и, выбрать направление вращения асинхронного электродвигателя переключателем SA2 модуля ПЧ;
- потенциометром KP1 модуля ПЧ установить номинальные значения частоты и напряжения на статорной обмотке;
- подать разрешение на работу ТП (SA6) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель SA5);
- регулируя нагрузку на валу модулем ТП, снять несколько точек двигательного режима, затем поменять направление момента (переключатель SA5 ТП) и снять несколько точек генераторного режима.

При проведении опыта следить за током якоря ДПТ, он не должен превышать 2 А.

После проведения опыта необходимо привести модули в исходное состояние. Сравнить полученные характеристики, с теми, что получились в предыдущем опыте. Данные опыта занести в таблицу, аналогичную таблице 3.2, расчеты произвести аналогично предыдущему пункту.

Искусственные механические характеристики при регулировании амплитуды питающего напряжения

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить последовательно автоматический выключатель QP1 модуля питания и нажать кнопку «Вкл» управления контактором модуля питания;
- подать питание на ТП включением кнопки «Сеть»;
- выбрать на преобразователе частоты (см. приложение А) параметр 05.009 - номинальное напряжение двигателя;
- перевести указанный параметр в значение по указанию преподавателя (в диапазоне от 370 до 60 В);
- подать разрешение на работу ПЧ переключателем SA1 одноименного модуля, затем перевести переключатель SA2 модуля ПЧ в крайнее положение, тем самым выбрать направление вращения агрегата;
- потенциометром RP1 установить номинальное значение частоты и установленное значение напряжения на статорной обмотке
- подать разрешение на работу ТП (SA6) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель SA5);
- регулируя нагрузку на валу модулем ТП, снять несколько точек двигательного режима, затем поменять направление момента (переключатель SA5 ТП) и снять несколько точек генераторного режима.

При проведении опыта следить за током якоря ДПТ, **он не должен превышать 2 А**, если двигатель будет уходить в режим моментного тормоза, не превышать дальнейший момент.

После проведения опыта необходимо привести модули в исходное состояние. Данные опыта занести в таблицу 3.3, расчеты произвести аналогично предыдущему пункту.

Искусственные механические характеристики при регулировании частоты питающего напряжения

Опыт проводится в следующей последовательности:

- включить последовательно автоматический выключатель QP1 модуля питания и нажать кнопку «Вкл» управления контактором модуля питания;
- подать питание на ТП включением кнопки «Сеть»;
- выбрать на преобразователе частоты (см. приложение Б) параметр 05.009 - номинальное напряжение двигателя;
- перевести указанный параметр в номинальное значение (380 В);
- выбрать на преобразователе частоты (см. приложение Б) параметр 05.006 - номинальная частота двигателя;
- перевести указанный параметр в значение по указанию преподавателя (51 ...60 Гц). **Внимание! Не уменьшать частоту ниже номинального**

значения, в этом случае резко возрастает значение тока статора, что может привести к перегреву асинхронного двигателя;

- перевести переключатель ЗА2 модуля ПЧ в крайнее положение, тем самым выбрать направление вращения электромашинного агрегата;
- потенциометром РР1 установить номинальное значение напряжения на статорной обмотке и заданное значение частоты;
- подать разрешение на работу ТП (8А6) и выбрать направление вращения ДПТ (переключатель 8А5);
- регулируя нагрузку на валу модулем ТП, снять несколько точек двигательного режима, затем поменять направление момента (переключатель ЗА5 ТП) и снять несколько точек генераторного режима.

При проведении опыта следить за током якоря ДПТ, не должен превышать 2 А.

После проведения опыта произвести отключение стенда в порядке обратном включению. Данные опыта занести в таблицу 3.4, расчеты произвести аналогично предыдущему пункту.

Энергетические диаграммы

В лабораторной работе необходимо построить диаграммы для двигательного, генераторного режимов, а также для режима холостого и идеального холостого хода.

Примерный вид диаграммы для двигательного режима представлен на рисунке 3.4. Результаты расчета для конкретной точки привести в таблице.

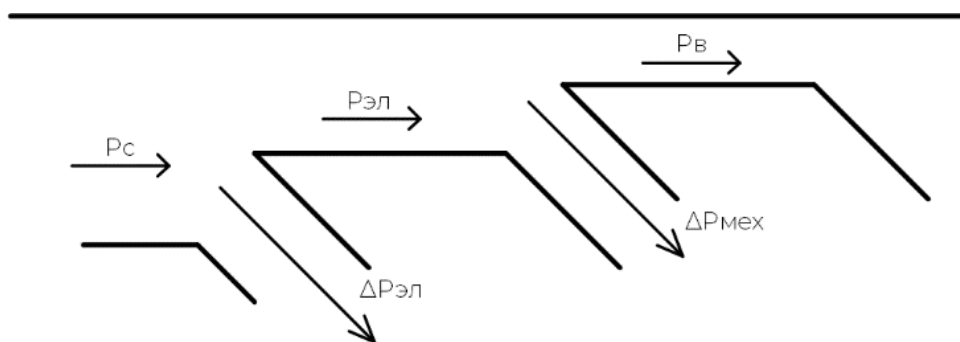


Рисунок 3.4 – Энергетическая диаграмма АД для двигательного режима

Таблица 3.2 – Таблица для занесения данных

Параметр	Двигательный режим				Генераторный режим				
	ХХ	1	2	3	4	1	2	3	4
n, об/мин									
U_{ϕ}									
I_c									
P_c									
ω									
S									
$\cos\varphi$									

$\Delta P_{эл}$									
$\Delta P_{мех}$									
P_B									
M_B									
η									

Таблица 3.3 – Таблица для занесения данных

Параметр	Двигательный режим					Генераторный режим			
	ХХ	1	2	3	4	1	2	3	4
n, об/мин									
U_{ϕ}									
I_c									
P_c									
ω									
S									
$\cos\varphi$									
$\Delta P_{эл}$									
$\Delta P_{мех}$									
P_B									
M_B									
η									

Таблица 3.4 – Таблица для занесения данных

Параметр	Двигательный режим					Генераторный режим			
	ХХ	1	2	3	4	1	2	3	4
n, об/мин									
U_{ϕ}									
I_c									
P_c									
ω									
S									
$\cos\varphi$									
$\Delta P_{эл}$									
$\Delta P_{мех}$									
P_B									
M_B									
η									

Бланк переключений в экспериментальной электроустановке

Бланк переключений – оперативный документ, в котором приводится строгая последовательность операций с коммутационными аппаратами и рукоятками управления, а также необходимых проверочных операций.

Работу по бланку переключений ведут два оператора установки из числа студентов, один из которых является контролирующим, а второй – исполняющим. Работу с бланком переключений ведет контролирующий оператор.

Если предстоит совершить операцию над определенным элементом, то контролирующий оператор, согласно бланку, называет элемент (аппарат, прибор, регулятор). Исполняющий оператор указывает на этот элемент на стенде и повторяет название.

Если указан верный элемент, то контролирующий оператор произносит «Правильно».

Если операция над элементом заключается в проверке его состояния, то контролирующий оператор, согласно бланку, называет операцию. Исполняющий оператор проверяет состояние и сообщает, что элемент находится в требуемом состоянии.

Если элемент не находится в требуемом состоянии, то необходимо провести изменение его состояния по нижеприведенному алгоритму.

Если операция над элементом заключается в изменении его состояния, то контролирующий оператор, согласно бланку, называет операцию. Исполняющий оператор повторяет суть операции, которую должен выполнить.

Если суть операции воспроизведена верно, то контролирующий оператор произносит «Правильно. Выполнить». Исполняющий оператор изменяет состояние элемента и сообщает о новом состоянии.

Если исполняющий оператор неправильно указал на элемент или неверно понял суть операции, то контролирующий оператор устно объясняет его ошибку. Затем данный пункт бланка переключений повторяется.

Проверка предпускового положения органов панели управления:

1. Автоматических выключатель модуля питания стенда «Сеть»
 - 1.1. Проверить выключенное положение
2. Автоматический выключатель модуля измерения мощности «Сеть»
 - 2.1. Проверить выключенное положение
3. Автоматический выключатель модуля тиристорного преобразователя «Сеть»
 - 3.1 Проверить выключенное положение
4. Тумблер тиристорного преобразователя «SA1»
 - 4.1. Проверить установку положения на «Iя»
5. Тумблер тиристорного преобразователя «SA2»
 - 5.1. Проверить установку в положение «Момент»
6. Тумблер тиристорного преобразователя «SA3»
 - 6.1. Проверить установку в положение «Руч»
7. Тумблер тиристорного преобразователя «SA4»
 - 7.1. Проверить установку в положение «НМ»
8. Тумблер тиристорного преобразователя «SA5»
 - 8.1 Проверить установку в нижнее положение
9. Тумблер тиристорного преобразователя «SA6»

- 9.1 Проверить установку в положение «Стоп»
10. Ручка управления тиристорного преобразователя «RP1»
 - 10.1 Проверит установку в крайнее левое положение в значение «0»
11. Ручка управления преобразователя частоты «RP1»
 - 11.1 Проверит установку в крайнее левое положение в значение «0»
12. Тумблер преобразователя частоты «SA1»
 - 12.1 Проверить установку в нижнее положение
13. Тумблер преобразователя частоты «SA2»
 - 13.1 Проверить установку в положение «Стоп»
14. Тумблер преобразователя частоты «SA3»
 - 14.1 Проверить установку в нижнем положение

После окончания лабораторной работы модули привести в первоначальное положение.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет должен содержать: название работы, цель, основные расчетные данные, таблицы с результатами измерений и вычислений, графические интерпретации значений и вычислений (в том числе сравнительные), выводы по сопоставлению расчетных и измеренных данных.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
2. Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?
3. Может ли асинхронный двигатель создавать момент при синхронной частоте вращения?
4. Как изменяется ток статора двигателя при повышении напряжения и неизменной нагрузке на валу двигателя?
5. Объяснить физический смысл зависимости $\cos\varphi = f(P_2)$.
6. На механической характеристике указать точку перехода в генераторный режим

Лабораторная работа № 4

«Исследование замкнутой системы «преобразователь частоты асинхронный двигатель» с векторным управлением»

Цель работы: Формирование знаний в области структуры, принципа действия и особенностей функционирования системы "преобразователь частоты асинхронный двигатель", развитие умений и навыков управления рабочими свойствами системы "преобразователь частоты - асинхронный двигатель" при векторном регулировании и использовании обратной связи по скорости.

ПЛАН ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЯ:

1. Ознакомление с правилами техники безопасности;
2. Инструктаж и ознакомление с содержанием предстоящей работы;
3. Выполнение лабораторной работы согласно плану проведению лабораторного занятия;
4. Отключение стенда, разбор схемы, освобождение рабочего места;
5. Подготовка отчета и ответов на контрольные вопросы.

ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ:

Лабораторный стенд «Частотно-регулируемый электропривод», компьютер с установленным ПО, машина переменного тока АИР63В4.

В работе исследуются свойства системы электропривода на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Двигатель постоянного тока (ДПТ) подключается к модулю тиристорного преобразователя (ТП). Якорная обмотка присоединяется к регулируемому источнику постоянного тока модуля ТП, Обмотка возбуждения к выходу нерегулируемого источника напряжения U_{ОВ} модуля ТП. Тиристорный преобразователь должен быть переведен в режим регулирования момента.

Статорная цепь асинхронного электродвигателя подключается к преобразователю частоты. Преобразователь частоты запитывается напряжением 3x380 В от модуля питания через трехфазный измеритель мощности с одноименного модуля. В таблице 4.1 приведены каталожные данные АД.

Таблица 4.2 – Паспортные данные асинхронного двигателя АИР63В4

Наименование параметра	Значение
Тип ротора	Короткозамкнутый
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение обмотки статора, Y/Δ, В	380/220
Номинальный ток фазы статора Y/Δ, А	1,18/2,04
Номинальная частота вращения, об/мин	1310
Число пар полюсов	2

$\cos\varphi$	0,70
Номинальный момент, Н·м	1,4
Активное сопротивление статора $r_{1,27^{\circ}\text{C}}$, Ом	19
Механические потери, $P_{\text{мех АД}}$, Вт	11

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули лабораторного стенда в исходное состояние:

- переключатель «Сеть» тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение;
- переключатель SA3 модуля ТП – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», SA6 «Разрешение» - в нижнее положение;
- переключатель SA1 «Разрешение модуля ПЧ» перевести в нижнее положение потенциометра RP1 – в крайнее положение против часовой стрелки. Переключатель SA2 установить в среднее положение. Настроить ПЧ в режим разомкнутого управления скоростью (см. Приложение А). Переключатель SA3 в ПЧ в положение «Скорость».
- потенциометр RP1 – в крайнее положение против часовой стрелки, установить перемычку между клеммами X1 и X2 модуля, соединить кабелем разъемы «X» модуля ПЧ и X1 силового модуля.

Схема для снятия характеристик ПЧ-АД представлена на рисунке 4.1

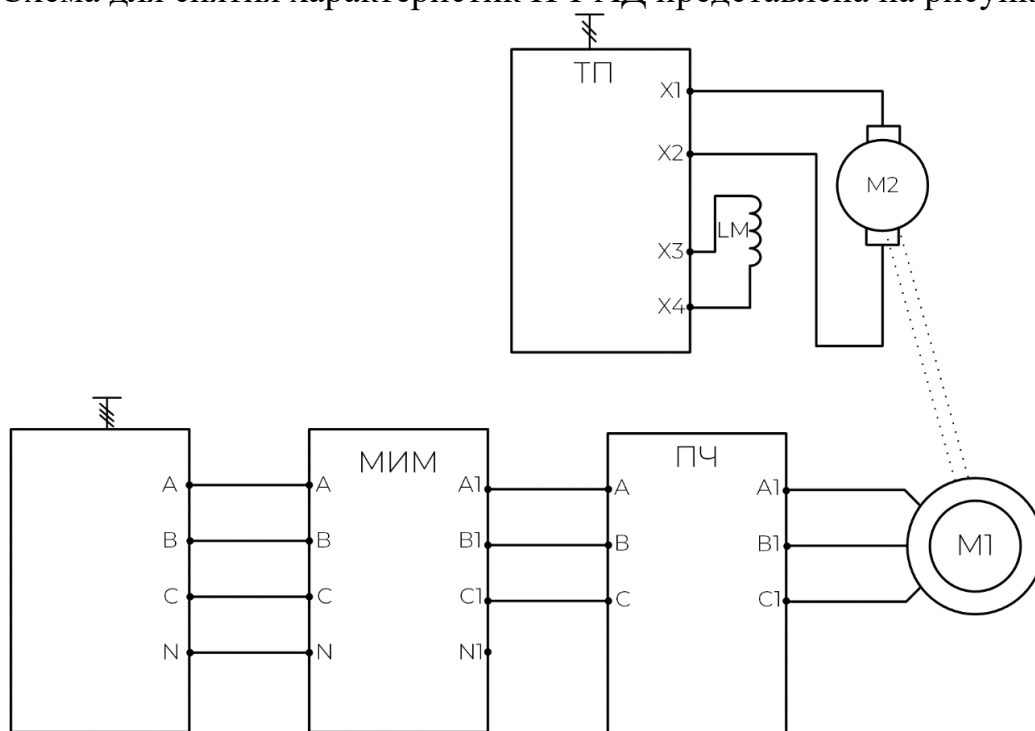


Рисунок 4.1 – Схема для снятия характеристик ПЧ-АД

УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Работа включает в себя подготовительную, экспериментальную и аналитическую стадии. Экспериментальная часть выполняется в лаборатории.

1. Ознакомиться с устройством экспериментальной установки и особенностями проведения лабораторной работы.

2. Ознакомиться с теоретическими сведениями о принципе работы ПЧ-АД.

3. Провести экспериментальное исследование ПЧ-АД путем снятия данных для построения электромеханической и механической характеристик.

4. Обработка экспериментальных данных. По полученным данным заполнить таблицы 4.2-4.3. Построить диаграмму мощности, графики электромеханической и механической характеристик.

5. По паспортным данным АД рассчитать аналитические электромеханическую и механическую характеристику.

6. Выполнить графическое сопоставление экспериментальных и теоретических механических и электромеханических характеристик.

7. Сделать вывод о влиянии обратной связи по скорости в векторном регулировании на электромеханические и механические характеристики.

Рекомендации по аналитической части

Для построения аналитических характеристик необходимо использовать паспортные данные АД (таблица 4.1) и известные аналитические выражения.

1. Частота вращения двигателя

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

где n – скорость вращения электродвигателя, об./мин.

2. Полная выходная мощность на выходе преобразователя частоты, ВА

$$S = 3 \cdot U_{\Phi} \cdot I_C,$$

где $U_{\text{сф}}$ – фазное напряжение на выходе ПЧ, В.

3. Электрические потери в статорной обмотке электродвигателя, Вт

$$\Delta P_{\text{элст}} = 3 \cdot I_C^2 \cdot r_C,$$

где r_C – активное сопротивление фазы статора, Ом.

4. Электрические потери в цепи якоря ДПТ, Вт

$$\Delta P_{\text{эля}} = I_{\text{я}}^2 \cdot r_{\text{я}},$$

где $r_{\text{я}}$ – активное сопротивление якорной обмотки ДПТ, Ом

5. Выходная мощность ТП, Вт

$$P_{\text{я}} = U_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}.$$

6. Мощность на валу асинхронного электродвигателя, Вт

$$P_B = P_{\text{я}} + \Delta P_{\text{эля}} + \Delta P_{\text{мех.ДПТ}},$$

где $\Delta P_{\text{мех.ДПТ}}$ – механические потери ДПТ (Приложение В).

7. Активная выходная мощность ПЧ, Вт

$$P_C = P_B + \Delta P_{\text{элст}} + \Delta P_{\text{мех.АД}},$$

где $\Delta P_{\text{мех.АД}}$ – механические потери АДКЗ (Приложение В).

8. Коэффициент полезного действия электродвигателя

$$\eta_{\text{АД}} = \frac{P_B}{P_C}.$$

9. Cosφ асинхронного двигателя

$$\cos\varphi_{\text{АД}} = \frac{P_C}{S}.$$

10. Коэффициент полезного действия системы

$$\eta_{\text{ПЧАД}} = \frac{P_C}{P_{\text{ВХ}}}.$$

11. Cosφ системы

$$\cos\varphi_{\text{ПЧАД}} = \frac{P_{\text{ВХ}}}{3 \cdot U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}}.$$

12. Момент на валу синхронного двигателя, Н·м

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

Порядок выполнения экспериментальный исследований

Для проведения исследования на лабораторной установке при себе необходимо иметь (по одному экземпляру на бригаду): бланк переключений в экспериментальной электроустановке и таблицы для регистрации измерений.

Проверить предпусковое положение органов панели управления.

Регулировочные характеристики замкнутой системы

Регулировочные характеристики настроенной замкнутой электропривода снимаются при фиксированном моменте статической нагрузки $M_C = \text{const}$.

Экспериментально снять характеристики в зависимости от сигнала задания:

- частоты вращения $\omega = f(U_3)$;
- токов статора, активного, намагничивания и полного $I_C = f(U_3)$;
- напряжение статора $U_C = f(U_3)$.

В преобразователе частоты наблюдать следующие параметры:

- **04.001** (полный ток статора);
- **04.002** (активный ток статора);
- **04.017** (ток намагничивания);
- **05.001** (частота напряжения на статоре);

- **05.002** (напряжение статора);
- **07.001** (величина сигнала задания по скорости ПЧ).

Опыт проводится в следующей последовательности:

- *SA1* «Разрешение» модуля ПЧ перевести в верхнее положение;
- переключателем *SA2* модуля ПЧ выбрать направление вращения;
- потенциометром *RP1* задать выходную скорость на уровне 1500 об/мин;
- включить кнопку «Сеть» модуля ТП, *SA6* «Разрешение» перевести в верхнее положение;
- переключателем *SA5* модуля ТП выбрать направление вращения;
- потенциометром *RP1* модуля ТП задать ток нагрузки 0,5...1А (по якорю);
- изменяя потенциометром *RP1* модуля ПЧ уровень задания скорости, снять характеристики вплоть до достижения системой режима упора.

Данные опыта занести в таблицу 4.2.

После проведения опыта убрать нагрузку:

- *SA5* модуля ТП перевести в среднее положение,
- *SA6* «Разрешение» - в нижнее положение.
- Снять задание на ПЧ,
- *SA2* перевести в среднее положение,
- *SA1* в нижнее положение.

Регулировочные характеристики замкнутой системы

Регулировочные характеристики настроенной замкнутой электропривода снимаются при фиксированном моменте статической нагрузки $M_e = \text{const}$.

Экспериментально снять характеристики в зависимости от сигнала задания:

- частоты вращения $\omega = f(U_3)$
- токов статора, активного, намагничивания и полного $I_c = f(U_3)$
- напряжение статора $U_c = f(U_3)$

В преобразователе частоты наблюдать следующие параметры:

- **04.001** (полный ток статора);
- **04.002** (активный ток статора);
- **04.017** (ток намагничивания);
- **05.001** (частота напряжения на статоре);
- **05.002** (напряжение статора);
- **07.001** (величина сигнала задания по скорости ПЧ).

Опыт проводится в следующей последовательности:

- SA1 «Разрешение» модуля ПЧ перевести в верхнее положение;
- переключателем SA2 модуля ПЧ выбрать направление вращения;
- потенциометром RP1 задать выходную скорость на уровне 1500 об/мин;
- включить кнопку «Сеть» модуля ТП, SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;
- переключателем SA5 модуля ТП выбрать направление вращения;
- потенциометром RP1 модуля ТП задать ток нагрузки 0,5...1А (по якорю);
- изменяя потенциометром RP 1 модуля ПЧ уровень задания скорости, снять характеристики вплоть до достижения системой режима упора.

Данные опыта занести в таблицу 4.3.

- После проведения опыта убрать нагрузку, SAS модуля ТП перевести в среднее положение, SA6 «Разрешение» - в нижнее положение. Снять задание на ПЧ, SA2 перевести в среднее положение, SA1 в нижнее положение.

Таблица 4.2 – Результаты измерений

Параметр	Двигательный режим				Генераторный режим				
	ХХ	1	2	3	4	1	2	3	4
U _{сф} , В									
I _с , А									
I _{сА} , А									
I _{сц} , А									
U _я , В									
I _я , А									
n, об/мин									
U _{ВХ} , В									
I _{ВХ} , А									
P _{ВХ} , Вт									
S _с , ВА									
ω, 1/с									
ΔP _{эл} , Вт									
ΔP _я , Вт									
P _я , Вт									
P _в , Вт									
P _с , Вт									
η _{ад}									
η _{пч-ад}									
cos(φ) _{ад}									
cos(φ) _{пчад}									
M _в , Н·м									

Таблица 4.3 – Результаты измерений

$I_{я} =$					
U_3					
I_C, A					
I_A, A					
I_{μ}, A					
U_C, B					
$\omega, \text{рад/с}$					

Бланк переключений в экспериментальной электроустановке

Бланк переключений – оперативный документ, в котором приводится строгая последовательность операций с коммутационными аппаратами и рукоятками управления, а также необходимых проверочных операций.

Работу по бланку переключений ведут два оператора установки из числа студентов, один из которых является контролирующим, а второй – исполняющим. Работу с бланком переключений ведет контролирующий оператор.

Если предстоит совершить операцию над определенным элементом, то контролирующий оператор, согласно бланку, называет элемент (аппарат, прибор, регулятор). Исполняющий оператор указывает на этот элемент на стенде и повторяет название.

Если указан верный элемент, то контролирующий оператор произносит «Правильно».

Если операция над элементом заключается в проверке его состояния, то контролирующий оператор, согласно бланку, называет операцию. Исполняющий оператор проверяет состояние и сообщает, что элемент находится в требуемом состоянии.

Если элемент не находится в требуемом состоянии, то необходимо провести изменение его состояния по нижеприведенному алгоритму.

Если операция над элементом заключается в изменении его состояния, то контролирующий оператор, согласно бланку, называет операцию. Исполняющий оператор повторяет суть операции, которую должен выполнить.

Если суть операции воспроизведена верно, то контролирующий оператор произносит «Правильно. Выполнить». Исполняющий оператор изменяет состояние элемента и сообщает о новом состоянии.

Если исполняющий оператор неправильно указал на элемент или неверно понял суть операции, то контролирующий оператор устно объясняет его ошибку. Затем данный пункт бланка переключений повторяется.

Проверка предпускового положения органов панели управления

1. Автоматических выключатель модуля питания стенда «Сеть»
 - 1.1. Проверить выключенное положение
 2. Автоматический выключатель модуля измерения мощности «Сеть»
 - 2.1. Проверить выключенное положение
 3. Автоматический выключатель модуля тиристорного преобразователя «Сеть»
 - 3.1 Проверить выключенное положение
 4. Тумблер тиристорного преобразователя «SA1»
 - 4.1. Проверить установку положения на «I_д»
 5. Тумблер тиристорного преобразователя «SA2»
 - 5.1. Проверить установку в положение «Момент»
 6. Тумблер тиристорного преобразователя «SA3»
 - 6.1. Проверить установку в положение «Руч»
 7. Тумблер тиристорного преобразователя «SA4»
 - 7.1. Проверить установку в положение «НМ»
 8. Тумблер тиристорного преобразователя «SA5»
 - 8.1. Проверить установку в нижнее положение
 9. Тумблер тиристорного преобразователя «SA6»
 - 9.1. Проверить установку в положение «Стоп»
 10. Ручка управления тиристорного преобразователя «RP1»
 - 10.1 Проверить установку в крайнее левое положение в значение «0»
 11. Ручка управления преобразователя частоты «RP1»
 - 11.1 Проверит установку в крайнее левое положение в значение «0»
 12. Тумблер преобразователя частоты «SA1»
 - 12.1 Проверить установку в нижнее положение
 13. Тумблер преобразователя частоты «SA2»
 - 13.1 Проверить установку в положение «Стоп»
 14. Тумблер преобразователя частоты «SA3»
 - 14.1 Проверить установку в нижнем положение
- После окончания лабораторной работы модули привести в исходное положение.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет должен содержать: название работы, цель, основные расчетные данные, таблицы с результатами измерений и вычислений, графические интерпретации значений и вычислений (в том числе сравнительные), выводы по сопоставлению расчетных и измеренных данных.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем разница разомкнутой и замкнутой вариантов реализации систем регулирования?
2. Что такое векторное управление асинхронным двигателем?
3. Какие контуры регулирования в настраиваемой системе регулирования существуют?
4. В каком порядке выполняется настройка замкнутой системы регулирования?
5. Для чего предназначен П-канал регулятора? И-канал? В чем разница в их настройке?
6. Что можно сказать о соотношении качественных показателей контура регулирования тока и скорости?

Рекомендуемая литература

1. Бекишев, Р. Ф. Электропривод: учеб. пособие для вузов / Р. Ф. Бекишев, Ю. Н. Дементьев. – 2-е изд. – Москва: Изд-во ЮРАЙТ, 2021. – 301 с. – (Высшее образование).
2. Сысенко, В. Т. Автоматизированный электропривод: учеб.-метод. пособие / В. Т. Сысенко. – Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2019. – 52 с.
3. Малиновский, А. К. Автоматизированный электропривод горных машин и установок: практикум / А. К. Малиновский. – Москва: Изд. дом МИСиС, 2017. – 157 с.
4. Терёхин, В. Б. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: учеб. пособие для вузов / В. Б. Терёхин, Ю. Н. Дементьев. – Москва: Изд-во ЮРАЙТ, 2021. – 306 с. – (Высшее образование).
5. Симаков, Г. М. Системы расчета автоматизированного электропривода: учеб. пособие / Г. М. Симаков, Ю. В. Панкрац, Д. А. Котин. – Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2019. – 147 с.
6. Бирюков, В. В. Автоматизированный тяговый электропривод: учеб. / В. В. Бирюков. – Новосибирск: НГТУ, 2019. – 323 с.

Режим регулирования скорости в разомкнутой системе (Частотное управление)

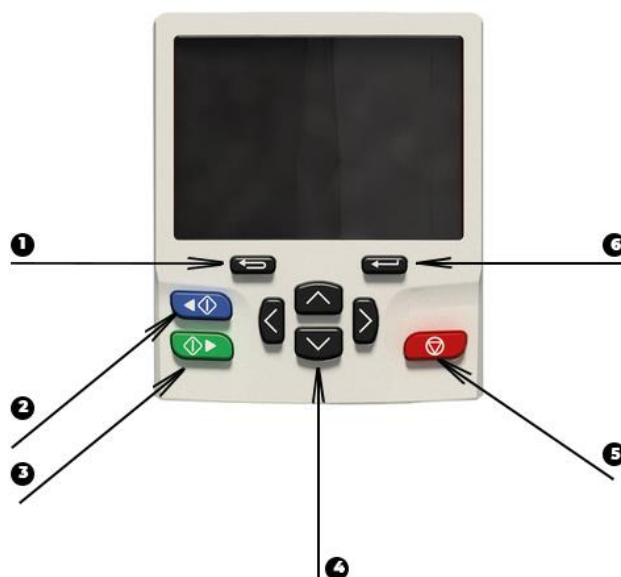


Рисунок А.1 – Общий вид кнопочной панели ПЧ

На рисунке представлен общий вид панели с указанием основных элементов и их назначением. Клавиши 2, 3, 5 обеспечивают непосредственное управление электроприводом при активированном управлении с панели. Панель оператора соединена с преобразователем частоты гибким кабелем, при этом категорически запрещается осуществлять коммутацию кабеля при поданном напряжении питания на ПЧ.

На рисунке подписаны следующие кнопки панели:

1. Кнопка возврата;
2. Кнопка старт в обратном положение;
3. Кнопка старт в прямом направлении;
4. Кнопка навигации по параметрам;
5. Кнопка сброса преобразователя / кнопка остановки двигателя;
6. Кнопка ввод.

Параметры преобразователя разделены на тематическое меню, для пояснения навигации по параметрам меню:

1. Выйти в основное меню с параметрами ПЧ;
2. Вверх/Вниз – выбор параметров, увеличение или уменьшение значений; Вправо/Влево – выбор параметров;
3. Когда выбран нужный параметр, в котором нужно увеличить/уменьшить выбрать значение – нажать на кнопку, чтобы производить регулирование в данном параметре;

В режиме регулирования скорости при скалярном управлении преобразователь поддерживает заданную частоту вращения электродвигателя.

Управление осуществляется изменением напряжения и частоты в статоре асинхронного электродвигателя. Для включения данного режима в параметре **00.048** необходимо выбрать значение **Open – loop** и сбросить настройки на заводские. Сброс параметров осуществляется установкой в параметре **00.0000** значения **1253** и дальнейшим нажатием кнопки сброс на кнопочной панели. Если привод до этого уже находился в режиме **Open – loop**, в параметре **1253** необходимо ввести **1233** сбрасывающее все настройки.

После сброса настроек необходимо установить в преобразователе номинальные данные электродвигателя:

- в параметре **00.042** установить число полюсов (2 полюса);
- в параметре **00.043** установить номинальный коэффициент мощности ($\cos\varphi=0,7$);
- в параметре **00.044** установить номинальное линейное напряжение двигателя (380 В);
- в параметре **00.045** установить номинальную скорость двигателя (1310 об/мин);
- в параметре **00.046** установить номинальный ток двигателя (1,18 А);
- в параметре **00.047** установить номинальную частоту двигателя (50 Гц);
- в параметре **10.030** установить номинальную мощность тормозного резистора (100 Вт);
- в параметре **10.031** установить тепловую постоянную времени тормозного резистора (100 с);
- в параметре **10.061** установить сопротивление тормозного резистора 195 Ом;
- в параметре **05.027** установить значение *off* (отключить компенсацию скольжения);
- в параметре **02.004** установить значение *Fast*;
- в параметре **05.014** выбрать режим «*Fixed*».

Режим регулирования по моменту:

Для работы преобразователя в режиме регулирования момента необходимо:

- тумблер *SA2* установить в положение «Момент»;
- потенциометр *RPI* регулирует момент, развиваемый двигателем;

Самонастройка привода (выполняется в случае, если, выполняя пункт 1.1., ПЧ выдал ошибку и двигатель не запустился).

При этом ПЧ кратковременно включает асинхронный двигатель, выполняет расчет значения $\cos(\varphi)$ нагруженного двигателя и определяет число пар полюсов. Самонастройка выполняется следующим образом:

А) в параметре **05.012** установить значение 2 «*Fixed*».

Б) переключить тумблер «Разрешение *SA1*» в положение «1» - двигатель совершит несколько оборотов вала и параметр **05.012** автоматически установится в нулевое значение;

В) переключить тумблер «Разрешение *SA1*» в положение «0»;

Г) после проведения самонастройки ПЧ проверить параметры **00.042-00.047**;

Д) сохранить новые измененные значения параметров – выбрать в **00.000** значение «SAVE PARAMETERS» и нажать кнопку «Сброс».

Использование модуля измерения мощности

- навигация между экранами осуществляется с помощью стрелок «вправо» и «влево»;
- выбор экрана осуществляется кнопкой «F»;
- вернуть к выбору строки кнопкой «поворот назад».

Приложение Б

Рисунок Б.1 и Б.2 иллюстрируют правильность соединения схемы для лабораторной работы.

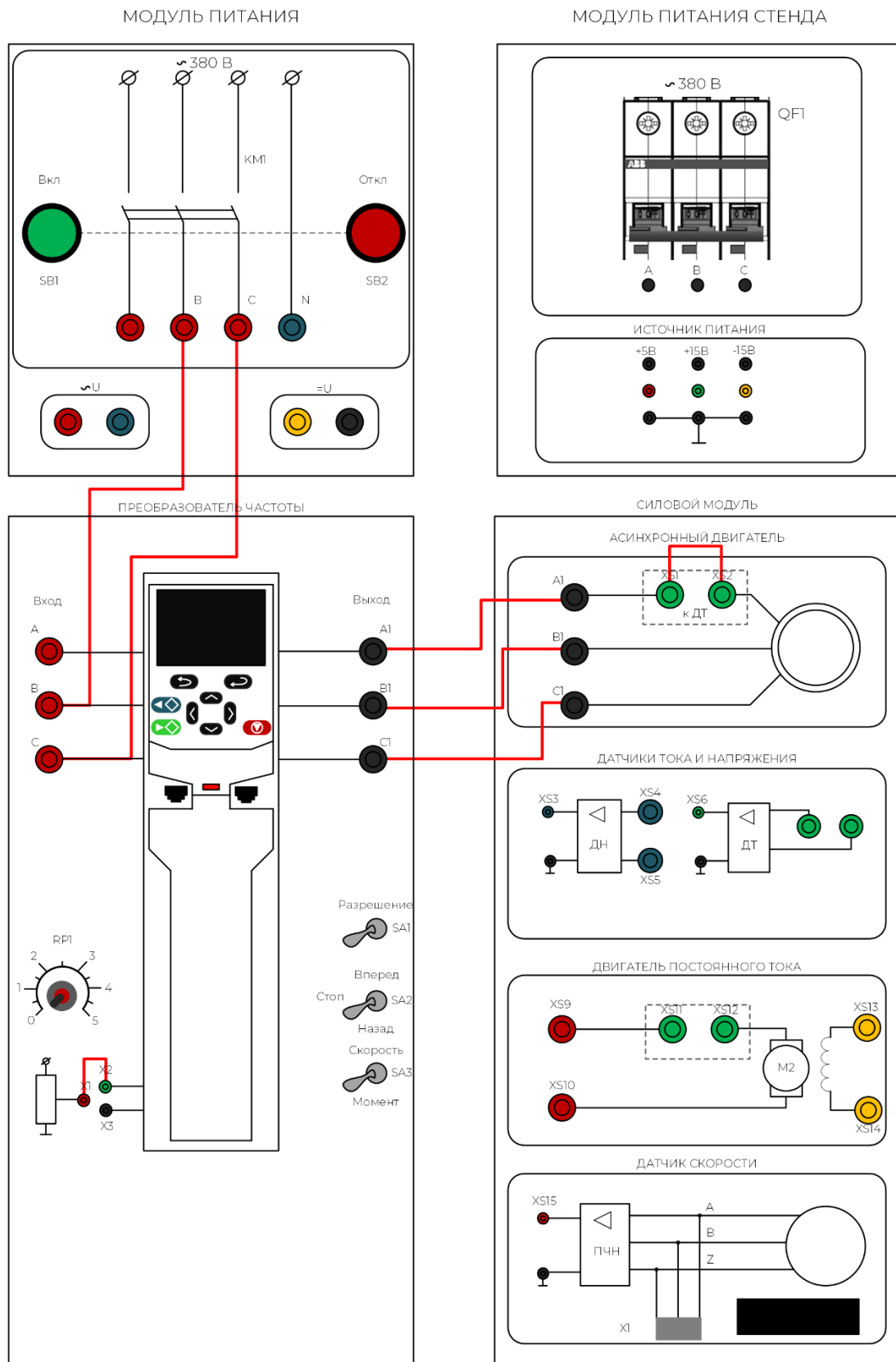


Рисунок Б.1 - Схема соединения без использования преобразователя частоты

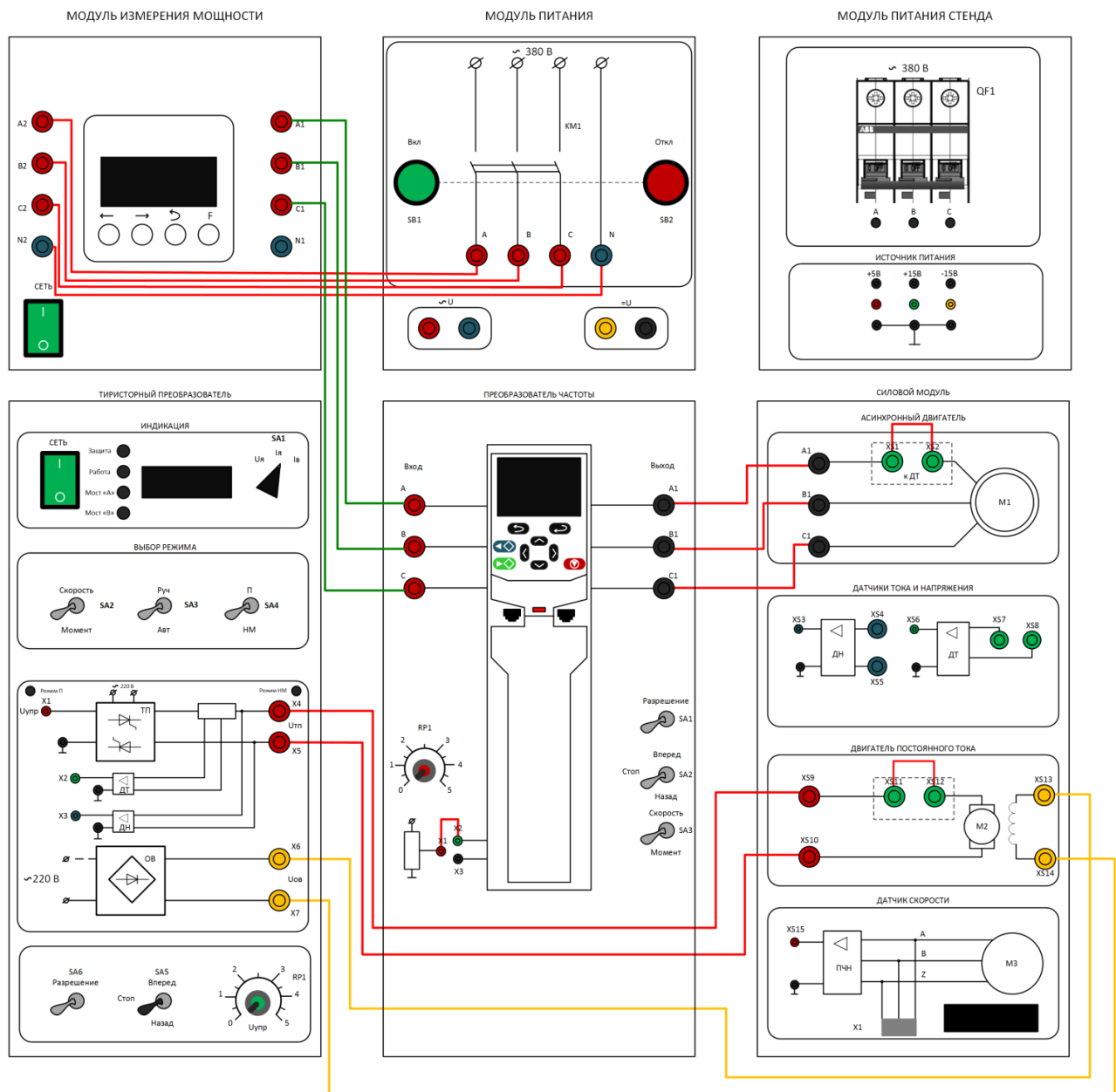


Рисунок Б.2 – Схема соединения при использовании преобразователя частоты

Локальный электронный методический материал

Максим Сергеевич Харитонов

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Редактор Э. С. Круглова

Уч.-изд. л. 3,8. Печ. л. 3,3

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1