

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»**
Высшая школа технологии и энергетики
**Кафедра автоматизированного электропривода
и электротехники**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

Выполнение лабораторных работ

Часть II

Методические указания для студентов всех форм обучения
по направлению подготовки
13.03.02 — Электроэнергетика и электротехника

Составители:
В. И. Королёв
О. А. Кундюков
К. К. Ершов

Санкт-Петербург
2022

Утверждено
на заседании кафедры АЭиЭ
14.06.2022 г., протокол № 15

Рецензент Е. Н. Ковалев

Методические указания соответствуют программам и учебным планам следующих дисциплин: «Электрические машины», «Электрический привод», «Системы управления электроприводов» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Методические указания содержат порядок выполнения лабораторных работ по электроприводу переменного тока.

Данные методические указания могут быть рекомендованы для студентов очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических рекомендаций

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Техн. редактор Е. О. Тарновская

Темплан 2022 г., поз. 5042

Подписано к печати 05.09.2022.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ. л. 2,6.	Уч.-изд. л. 2,6.
Тираж 50 экз.	Изд. № 5042.	Цена «С».
		Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
1.1. Состав стенда	4
1.2. Общие положения техники безопасности	6
1.3. Допуск к выполнению лабораторных работ.....	7
1.4. Оформление отчетов по лабораторным работам	7
1.5. Защита лабораторных работ.....	7
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	8
2.1. Работа 1. Исследование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.....	8
2.1.1. Исследование естественных характеристик двигателя.....	8
2.2. Работа 2. Исследование разомкнутой системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»	12
2.2.1. Механические характеристики разомкнутой системы ПЧ–АД	12
2.2.2. Регулировочные характеристики системы ПЧ–АД.....	15
2.3. Работа 3. Исследование замкнутой системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»	19
2.3.1. Механические характеристики замкнутой системы ПЧ–АД	19
2.4. Работа 4. Исследование способов пуска и торможения асинхронного двигателя при питании от преобразователя частоты.....	23
2.4.1. Исследование способов пуска в системе ПЧ–АД.....	23
2.4.2. Исследование способов торможения в системе ПЧ–АД.....	26
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ А	29
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	30
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	39

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Состав стенда

Лабораторный стенд «Электрический привод» предназначен для проведения лабораторных работ по дисциплинам: «Электрические машины», «Электрический привод», «Системы управления электроприводов». Внешний вид стенда показан на рисунке 1.1.

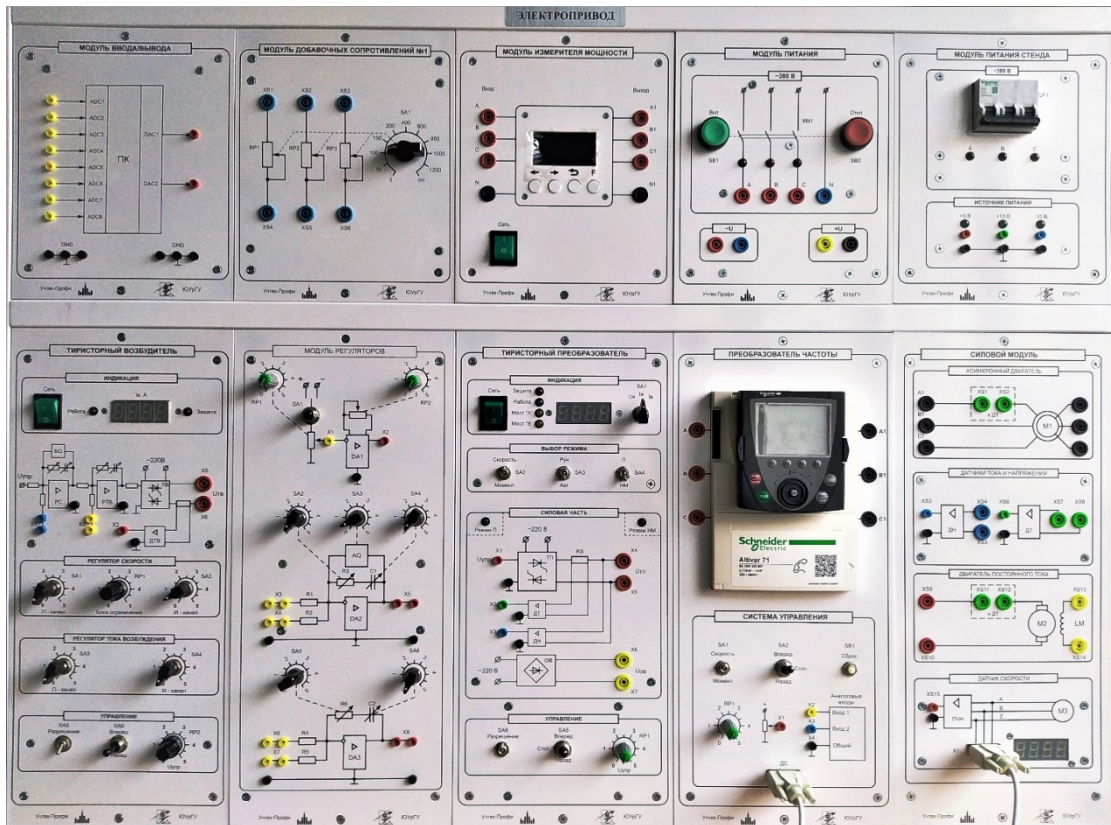


Рис. 1.1. Внешний вид стенда

Модуль ввода/вывода содержит плату ввода/вывода и предназначен для передачи сигналов датчиков в персональный компьютер и для управления силовой частью с компьютера. Плата содержит 8 аналоговых входов и 2 аналоговых выхода. Диапазон сигналов ± 10 В.

Модуль добавочных сопротивлений включает в себя магазин сопротивлений и переключатель для ступенчатого изменения величины сопротивлений. Допустимый ток сопротивлений:

- 1 А для сопротивлений 50–400 Ом;
- 0,75 А для сопротивления 600 Ом;
- 0,55 А для сопротивлений 800–1000 Ом.

Модуль измерителя мощности предназначен для измерения электрических параметров трехфазной сети переменного тока. Измеряемые параметры отображаются на дисплее модуля. Модуль может измерять следующие величины:

- фазные токи и напряжения;
- линейные токи и напряжения;
- активную, реактивную и полную мощности каждой фазы отдельно;
- активную, реактивную и полную суммарные мощности;
- коэффициент мощности каждой фазы и суммарный коэффициент мощности;
- частоту переменного тока;
- потребляемую энергию.

Выбор отображаемых величин осуществляется посредством навигационных клавиш ← →.

Модуль питания включает в себя контактор КМ1, коммутирующий трехфазное напряжение 380 В, клеммы фазного напряжения $\sim U$ 230 В и клеммы выпрямленного напряжения $=U$ 210 В.

Модуль питания стенда включает в себя трехполюсный автоматический выключатель с номинальным током 10А и блок «Источник питания» с источником постоянного напряжения ± 15 В и 5 В.

Модуль «Тиристорный возбудитель» включает в себя блок «Индикация» для отображения измеряемых величин, мнемосхему силовой части с выходными гнездами, блоки «Регулятор скорости» и «Регулятор тока возбуждения» для задания параметров соответствующих регуляторов и блок «Управление» для задания управляющего воздействия.

Модуль регуляторов включает в себя задатчик интенсивности, регулятор скорости и регулятор тока. В верхней части модуля расположены потенциометры RP1 и RP2, которые позволяют плавно регулировать управляющее воздействие и темп изменения выходного сигнала соответственно, и тумблер SA1 для изменения полярности управляющего воздействия. Тумблеры SA2-SA6 позволяют изменять коэффициенты регуляторов скорости и тока.

Модуль «Тиристорный преобразователь» включает в себя блоки «Индикация», «Выбор режима», «Силовая часть» и «Управление». В блоке «Индикация» расположена кнопка «Сеть» для подачи питания на модуль, светодиодные индикаторы режима работы, цифровой индикатор и переключатель SA1 для выбора отображаемой величины. В блоке «Выбор режима» расположены тумблеры для выбора режима работы: SA2 – режимы регулирования скорости/момента, SA3 – режимы ручного/автоматического управления, SA4 – режимы нагрузочной машины или преобразователя. В блоке «Силовая часть» расположена мнемосхема силовой части и гнезда для подключения проводов. В блоке «Управление» расположен тумблер SA6 для подачи разрешения на работу силовой части, SA5 для выбора направления вращения двигателя и потенциометр RP1 для регулирования сигнала задания.

Модуль «Преобразователь частоты» включает в себя гнезда для подключения питания и двигателя, кнопочную панель преобразователя частоты Altivar 71 и блок «Система управления». В блоке «Система управления» расположен тумблер SA1 для выбора режима работы преобразователя, тумблер SA2 для выбора направления вращения двигателя, потенциометр RP1 для изменения сигнала задания, гнезда потенциометра и аналоговых входов частотного преобразователя и цифровой порт ДС для подключения датчика скорости из модуля «Силовая часть».

Модуль «Силовая часть» включает в себя блоки «Асинхронный двигатель», «Датчики тока и напряжения», «Двигатель постоянного тока» и «Датчик скорости». В блоке «Асинхронный двигатель» расположены гнезда для подключения трехфазного напряжения и датчика тока. В блоке «Датчики тока и напряжения» расположены гнезда для подключения силовых и информационных проводов датчиков тока и напряжения. В блоке «Двигатель постоянного тока» расположены гнезда для подключения питания обмотки возбуждения, датчика тока и питания якорной цепи. В блоке «Датчик скорости» расположены гнезда для вывода информационных сигналов с преобразователя «частота-напряжение», разъем X1 для вывода значения частоты на модуль «Преобразователь частоты» и цифровой дисплей, отображающий значения частоты в об/мин.

1.2. Общие положения техники безопасности

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

1. Запрещается подключать цепи элементов электромашинного агрегата к сторонним источникам питания, так как это может привести к выходу из строя электрических машин.
2. Запрещается перегружать элементы стенда повышенными токами и напряжениями.

При срабатывании защиты или возникновении сигнала о срабатывании защиты в одном или нескольких модулях необходимо незамедлительно прекратить выполнение лабораторной работы, обесточить лабораторный стенд и сообщить об этом преподавателю. Следующее включение возможно только после устранения причины срабатывания защиты и разрешения преподавателя.

Сборку, разборку и корректировку схемы, переключение проводов, а также неоговоренные в методических указаниях оперативные переключения необходимо выполнять исключительно при выключенном питании с последующей проверкой преподавателем.

1.3. Допуск к выполнению лабораторных работ

Допуск к выполнению лабораторных работ осуществляется после ответов (письменных или устных) на контрольные вопросы, расположенные в методических указаниях и предоставлении необходимых для регистрации данных таблиц.

1.4. Оформление отчетов по лабораторным работам

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

- схемы экспериментов;
- обработанные экспериментальные данные;
- выводы по работе (анализ экспериментальных данных, вида кривых, причин погрешностей и т. д.).

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

1.5. Защита лабораторных работ

К защите лабораторной работы допускаются студенты, выполнившие все расчеты по экспериментальным данным и предоставившие необходимые графические материалы. Защита проходит в устной или письменной форме и заключается в ответах студента на вопросы преподавателя, ориентированные на домашнее задание и цели проведения работы.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

2.1. Работа 1. Исследование асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором

Цель работы: исследование характеристик асинхронного электродвигателя при питании от сети.

В работе исследуются характеристики асинхронного двигателя, каталожные данные которого приведены в приложении 1, таблица А2.

Предварительное домашнее задание: изучить содержание данной работы и раздел «Характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором» курса «Электрический привод».

2.1.1. Исследование естественных характеристик двигателя

Естественная механическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости вала двигателя от момента на валу при номинальных параметрах питающего напряжения. Естественная электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости вала двигателя от тока фазы статора.

2.1.1.1. Монтаж схемы стенда

Собрать схему, изображенную на рисунке 2.1, предварительно убедившись, что выключатель QF1 модуля питания стенда выключен.

Асинхронный двигатель, исследуемый в данной работе, подключается к гнездам А, В, С модуля питания через измеритель мощности.

В качестве нагрузочной машины выступает двигатель постоянного тока (ДПТ), который подключается к модулю тиристорного преобразователя.

Выходы датчиков тока и напряжения XS6 и XS3, а также ПЧН силового модуля XS15 подключаются к входам ADC1, ADC2, ADC3 модуля ввода/вывода соответственно. Выход датчика тока модуля «Тиристорный преобразователь» (клемма X2) подключается к входу ADC4 модуля ввода/вывода. Гнёзда заземления датчиков (⊥) подключаются к гнездам GND модуля ввода/вывода.

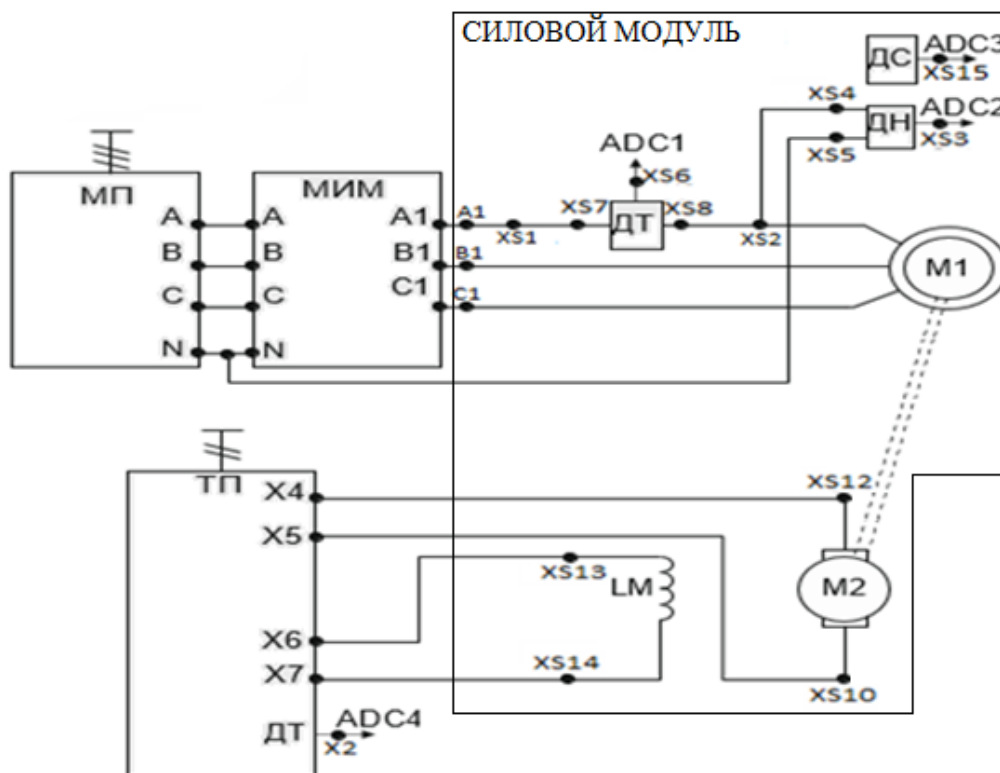


Рис. 2.1. Схема стенда для исследования асинхронного электродвигателя

2.1.1.2. Приведение органов управления модулей в исходное состояние

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

1. Переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение, переключатель SA1 – в положение «Iя», переключатель SA2 – в положение «Момент», переключатель SA3 – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», переключатель SA5 – в положение «Стоп», SA6 «Разрешение» – в нижнее положение.

2. Ручку потенциометра RP1 модуля тиристорного преобразователя установить в крайнее левое положение.

2.1.1.3. Алгоритм выполнения экспериментов

После одобрения собранной схемы преподавателем провести эксперимент по приведённому ниже алгоритму:

1. Включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.
2. Нажатием кнопки «SB1» на модуле питания подать напряжение на модуль преобразователя частоты (при этом подается напряжение на асинхронный двигатель, и он начинает вращаться).

3. Перевести переключатель «Сеть» модуля измерителя мощности в положение «1». Для переключения между отображаемыми величинами на дисплее модуля измерителя мощности используются клавиши «←» и «→».

4. Перевести переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя (ТП) в положение «1».

5. Подать разрешение на работу ТП переключением тумблера SA6 в верхнее положение, SA5 установить в положение «Вперед», переключатель SA1 блока «Индикация» ТП поставить в положение Iя.

6. Задавать момент нагрузки поворотом потенциометра RP1 тиристорного преобразователя. При различных значениях момента нагрузки зафиксировать значения тока и напряжения статора, потребляемой мощности и скорости вращения вала двигателя. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения 2А. Данные опыта занести в табл. 2.1.

7. Установить ручку потенциометра RP1 тиристорного преобразователя в крайнее левое положение.

8. Поменять направление момента (SA5 установить в положение «Назад») и снять несколько точек генераторного режима, задавая момент нагрузки поворотом потенциометра RP1. При различных значениях момента нагрузки зафиксировать значения тока и напряжения статора, потребляемой мощности и скорости вращения вала двигателя. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения 2А. Данные опыта занести в таблицу, аналогичную таблице 2.1.

9. После проведения опыта установить ручку потенциометра RP1 тиристорного преобразователя в крайнее левое положение, установить все переключатели модулей в исходное состояние: снять разрешение на работу ТП, выключить питание модуля ТП и модуля измерителя мощности, выключить контактор KM1 модуля питания и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

10. Экспериментальные данные предъявить преподавателю.

Таблица 2.1 – Данные для построения естественных характеристик АД

Данные эксперимента					Расчётные данные							
I _я , А	U _ф , В	I _ф , А	P, Вт	n, об/мин	ω, рад/с	S, ВА	cos(φ)	P ₂ , Вт	ΔP _{эл} , Вт	ΔP _{мех} , Вт	M _в , Н·м	η
0												
0,5												
1												
1,5												
1,9												

Расчётные формулы

Угловая частота вращения двигателя, рад/с:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot n, \quad (2.1.1)$$

где n – скорость вращения электродвигателя, об/мин.

Полная мощность, потребляемая из сети. В · А:

$$S = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi}, \quad (2.1.2)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение питающей сети, В;

I_{ϕ} – ток фазы статора асинхронного электродвигателя, А.

Коэффициент мощности электродвигателя:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}, \quad (2.1.3)$$

где P – потребляемая мощность.

Электрические потери в цепи статора, Вт:

$$\Delta P_{\text{эл}} = 3 \cdot I_{\phi}^2 \cdot r_c, \quad (2.1.4)$$

где r_c – сопротивление фазы обмотки статора (Приложение А).

Полезная мощность на валу двигателя, Вт:

$$P_2 = P - \Delta P_{\text{эл}} - \Delta P_{\text{мех}}, \quad (2.1.5)$$

где $\Delta P_{\text{мех}}$ – механические потери двигателя (Приложение А), Вт.

Момент на валу двигателя, Н · м:

$$M_B = \frac{P_2}{\omega}. \quad (2.1.6)$$

Коэффициент полезного действия в двигательном режиме электродвигателя:

$$\eta = \frac{P_2}{P}. \quad (2.1.7)$$

Коэффициент полезного действия в генераторном режиме:

$$\eta = \frac{P}{P_2}. \quad (2.1.8)$$

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

Контрольные вопросы

1. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?
2. Как изменится момент асинхронного двигателя при понижении напряжения питающей сети?
3. Чему равен момент асинхронного двигателя при синхронной частоте вращения?
4. На механической характеристике двигателя указать точку перехода в генераторный режим, точку реального и идеального холостого хода.

2.2. Работа 2. Исследование разомкнутой системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

Цель работы: исследование механических и регулировочных характеристик «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ–АД) при скалярном управлении в разомкнутой системе.

Предварительное домашнее задание: изучить содержание данной работы и раздел курса «Система ПЧ–АД», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

2.2.1. Механические характеристики разомкнутой системы ПЧ–АД

Скалярное управление в системе ПЧ–АД сводится к изменению параметров напряжения статора и частоты тока статора при заранее установленном законе связи между ними. Статические характеристики электропривода представляют собой зависимости частоты вращения, тока статора, КПД, коэффициента мощности от момента на валу двигателя: $\omega, I_1, \eta, \cos\varphi = f(M_B)$.

2.2.1.1. Монтаж схемы стенда

Собрать схему, изображенную на рис. 2.2, предварительно убедившись, что выключатель QF1 модуля питания стенда выключен.

В качестве нагрузочной машины выступает двигатель постоянного тока, который подключается к модулю тиристорного преобразователя.

Асинхронный электродвигатель подключается к преобразователю частоты ПЧ. Преобразователь частоты запитывается напряжением 380 В от модуля питания через модуль измерителя мощности.

Выходы датчиков тока и напряжения XS6 и XS3, а также ПЧН силового модуля XS15 подключаются к входам ADC1, ADC2, ADC3 модуля ввода/вывода соответственно. Гнёзда заземления датчиков (\perp) подключаются к гнёздам GND модуля ввода/вывода.

Гнезда X1 и X2 в модуле ПЧ соединяются перемычкой для подключения потенциометра RP1 к аналоговому входу ПЧ.

Разъем X1 блока датчика скорости силового модуля соединяется с разъемом ДС модуля ПЧ информационным кабелем.

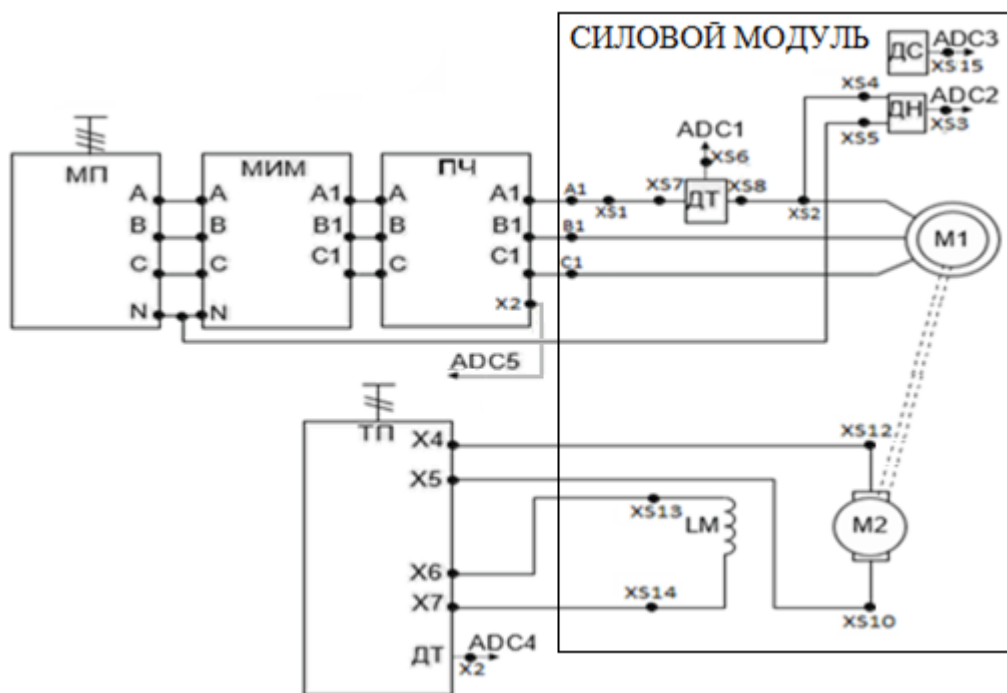


Рис. 2.2. Схема для снятия характеристик системы ПЧ–АД

После монтажа схемы стенда запустить на персональном компьютере программное обеспечение *DeltaProfii* и выбрать лабораторную работу №2. Для этого в окне программы *DeltaProfii* выбрать вкладку Работы – Электрический привод – Ч2. Работа №2 – Исследование разомкнутой системы ПЧ–АД. Нажать кнопку пуск (F5).

2.2.1.2. Приведение органов управления модулей в исходное состояние

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

1. Переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение, переключатель SA1 – в положение «Iя», переключатель SA2 – в положение «Момент», переключатель SA3 – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», переключатель SA3 – в положение «Стоп», SA6 «Разрешение» – в нижнее положение.

2. Ручку потенциометра RP1 модуля тиристорного преобразователя установить в крайнее левое положение.

3. Переключатель SA1 модуля преобразователя частоты перевести в положение «Скорость», SA2 – в среднее положение, потенциометр RP1 – в крайнее левое положение.

2.2.1.3. Алгоритм выполнения экспериментов

После одобрения собранной схемы преподавателем провести эксперимент, по приведённой ниже алгоритму:

1. Включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.
2. Нажатием кнопки «SB1» на модуле питания подать напряжение на модуль преобразователя частоты (при этом загорается дисплей ПЧ).
3. В преобразователе частоты загрузить настройки из ячейки «Файл 1» посредством кнопочной панели оператора:
 - а) перейти в ОСНОВНОЕ МЕНЮ путем нажатия кнопки ESC;
 - б) поворотом ручки ENT выбрать меню 3 «Открыть/сохранить» и нажать на ручку ENT. При этом на дисплее высветятся две строки: «Открыть» и «Сохранить»;
 - в) выбрать вкладку «Открыть», повернуть ручку ENT и нажать ручку ENT;
 - г) поворотом ручки ENT выбрать ячейку памяти «Файл 1» и нажать ручку ENT;
 - д) поворотом ручки ENT выбрать пункт «Все» и подтвердить выбор, нажав ручку ENT. На экране дисплея появится фраза: «Убедитесь, что монтаж ПЧ выполнен правильно»;
 - е) убедившись в правильности монтажа, нажать ручку ENT. После нажатия ручки ENT происходит загрузка «Файла 1». При окончании загрузки на дисплее появляется надпись «Выполнена».
4. Перевести переключатель «Сеть» модуля измерителя мощности в положение «1». Для переключения между отображаемыми величинами на дисплее модуля измерителя мощности используются клавиши «←» и «→»;
5. Перевести переключатель «Сеть» модуля ТП в положение «1»;
6. Переключатель SA2 модуля ПЧ перевести в положение «Вперед».
7. Задать потенциометром RP1 выходную частоту преобразователя 50 Гц. Значение скорости вала двигателя отображается на дисплее в правом нижнем углу стенда.
8. Подать разрешение на работу ТП переключением тумблера SA6 в верхнее положение, SA5 установить в положение «Вперед», переключатель SA1 блока «Индикация» ТП поставить в положение Ia.
9. Поворотом потенциометра RP1 задаётся момент нагрузки. При различных значениях момента нагрузки зафиксировать значения тока и напряжения статора, потребляемой мощности и скорости вращения вала двигателя. **При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения 2А.**
10. Данные эксперимента занести в таблицу 2.2.
11. Поворотом потенциометра RP1 снизить момент нагрузки до нуля и перевести SA5 в положение «Назад»
12. При различных значениях момента нагрузки зафиксировать значения тока и напряжения статора, потребляемой мощности и скорости вращения вала

двигателя. При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения 2А.

13. Данные эксперимента занести в таблицу 2.2.

14. Поворотом потенциометра RP1 снизить момент нагрузки до нуля, тумблер SA5 модуля ТП установить в среднее положение

15. Установить новое значение заданной частоты по указанию преподавателя и повторить пункты 8–14.

16. Данные эксперимента занести в таблицу аналогичную таблице 2.2.

17. Данные экспериментов предъявить преподавателю.

Таблица 2.2 – Данные для построения искусственных характеристик АД

Данные эксперимента						Расчётные данные						
f, Гц	I _я , А	U _ф , В	I _ф , А	P, Вт	n, об/мин	ω, рад/с	S, ВА	cos(φ)	P ₂ , Вт	ΔP _{эл} , Вт	M _в , Н·м	η
	0											
	0,5											
	1											
	1,5											
	1,9											
	-0,5											
	-1											
	-1,5											
	-1,9											

После проведения опыта установить ручку потенциометра RP1 тиристорного преобразователя в крайнее левое положение, установить ручку потенциометра RP1 преобразователя частоты в крайнее левое положение, установить все переключатели модулей в исходное состояние: SA2 модуля ПЧ перевести в среднее положение, снять разрешение на работу ТП, выключить питание модуля ТП и модуля измерителя мощности, выключить контактор KM1 модуля питания и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

2.2.2. Регулировочные характеристики системы ПЧ–АД

Регулировочные характеристики представляют собой зависимости выходной частоты, напряжения, мощности от сигнала задания частоты при постоянном моменте на валу двигателя: $f, U_{\phi}, P_{в}, S = F(U_3), I_{я} = \text{const}$.

2.2.2.1. Монтаж схемы стенда

Собрать схему, изображенную на рис. 2.2, предварительно убедившись, что выключатель QF1 модуля питания стенда выключен.

После монтажа схемы стенда запустить на персональном компьютере программное обеспечение *DeltaProfii* и выбрать лабораторную работу №2. Для

этого в окне программы *DeltaProfii* выбрать вкладку Работы – Электрический привод – Ч2. Работа №2 – Исследование разомкнутой системы ПЧ–АД. Нажать кнопку пуск (F5).

2.2.2.2. Алгоритм выполнения экспериментов

После одобрения собранной схемы преподавателем провести эксперимент по приведённой ниже алгоритму:

1. Включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.
2. Нажатием кнопки «SB1» на модуле питания подать напряжение на модуль преобразователя частоты (при этом загорается дисплей ПЧ).
3. В преобразователе частоты загрузить настройки из ячейки «Файл 1» посредством кнопочной панели оператора:
 - а) перейти в ОСНОВНОЕ МЕНЮ путем нажатия кнопки ESC;
 - б) поворотом ручки ENT выбрать меню 3 «Открыть/сохранить» и нажать на ручку ENT. При этом на дисплее высветятся две строчки: «Открыть» и «Сохранить»;
 - в) выбрать вкладку «Открыть» поворотом ручки ENT и нажать ручку ENT;
 - г) поворотом ручки ENT выбрать ячейку памяти «Файл 1» и нажать ручку ENT;
 - д) поворотом ручки ENT выбрать пункт «Все» и подтвердить выбор, нажав ручку ENT. На экране дисплея появится фраза: «Убедитесь, что монтаж ПЧ выполнен правильно»;
 - е) убедившись в правильности монтажа, нажать ручку ENT. После нажатия ручки ENT происходит загрузка «Файла 1». При окончании загрузки на дисплее появляется надпись «Выполнена».
4. Перевести переключатель «Сеть» модуля измерителя мощности в положение «1».
5. Перевести переключатель «Сеть» модуля ТП в положение «1».
6. Переключатель SA2 модуля ПЧ перевести в положение «Вперед».
7. Задать потенциометром RP1 выходную частоту преобразователя 50 Гц. Значение выходной частоты преобразователя отображается на дисплее преобразователя. Значение скорости вала двигателя отображается на дисплее в правом нижнем углу стенда.
8. Задать разрешение на работу ТП переключением тумблера SA6 в верхнее положение, SA5 установить в положение «Вперед», переключатель SA1 блока «Индикация» ТП поставить в положение Iя.
9. Поворотом потенциометра RP1 тиристорного преобразователя задать ток якоря 1.5 А.
10. Поворотом потенциометра RP1 преобразователя частоты снижать значения заданной частоты.
11. Данные эксперимента занести в таблицу 2.3.
12. Данные экспериментов предъявить преподавателю.

Таблица 2.3 – Данные для построения регулировочных характеристик АД

Данные эксперимента						Расчётные данные						
f, Гц	U _з , В	U _ф , В	I _ф , А	P, Вт	n, об/мин	ω, рад/с	S, ВА	cos(φ)	P ₂ , Вт	ΔP _{эл} , Вт	M _в , Н·м	η
50												
40												
30												
20												
10												

После проведения опыта установить ручку потенциометра RP1 тиристорного преобразователя в крайнее левое положение, установить ручку потенциометра RP1 преобразователя частоты в крайнее левое положение, установить все переключатели модулей в исходное состояние: SA2 модуля ПЧ перевести в среднее положение, снять разрешение на работу ТП, выключить питание модуля ТП и модуля измерителя мощности, выключить контактор KM1 модуля питания и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

Расчетные формулы

Полная выходная мощность преобразователя частоты, ВА:

$$S_C = 3 \cdot U_{\Phi} \cdot I_{\Phi}, \quad (2.2.1)$$

где U_{Φ} – фазное напряжение на выходе ПЧ, В.

Угловая частота вращения электродвигателя, рад/с:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (2.2.2)$$

Электрические потери в статорной обмотке электродвигателя, Вт:

$$\Delta P_{\text{эл}} = 3 \cdot I_{\Phi}^2 \cdot r_c, \quad (2.2.3)$$

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

I_{Φ} – ток фазы статора асинхронного электродвигателя, А.

Мощность на валу асинхронного электродвигателя, Вт:

$$P_2 = P - \Delta P_{\text{мех}} - \Delta P_{\text{эл}}, \quad (2.2.4)$$

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

Коэффициент полезного действия электродвигателя:

$$\eta = \frac{P_2}{P}. \quad (2.2.5)$$

Cosφ асинхронного двигателя:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S}. \quad (2.2.6)$$

Момент на валу асинхронного двигателя. Н·м:

$$M_B = \frac{P_2}{\omega}. \quad (2.2.7)$$

Контрольные вопросы

1. Какие способы регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей вы знаете?
2. С какой целью при регулировании частоты вращения изменяются одновременно частота и напряжение на выходе преобразователя?
3. Укажите достоинства и недостатки применения частотного регулирования.
4. Объясните работу преобразователя в тормозном режиме. Где рассеивается энергия торможения двигателя?
5. Назовите основные законы частотного регулирования.

2.3. Работа 3. Исследование замкнутой системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»

Цель работы: исследование механических и электромеханических характеристик «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ–АД) при векторном управлении в замкнутой по скорости системе.

Предварительное домашнее задание: изучить содержание данной работы и разделы курса «Система ПЧ–АД», «Векторное управление асинхронными двигателями», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

2.3.1. Механические характеристики замкнутой системы ПЧ–АД

Механические и электромеханические характеристики в настроенной системе электропривода снимаются как в двигательном, так и в генераторном (рекуперативном торможении) режимах работы АД. Характеристики снимаются при двух заданных значениях скорости АД.

2.3.1.1. Монтаж схемы стенда

Собрать схему, изображенную на рис. 2.3, предварительно убедившись, что выключатель QF1 модуля питания стенда выключен.

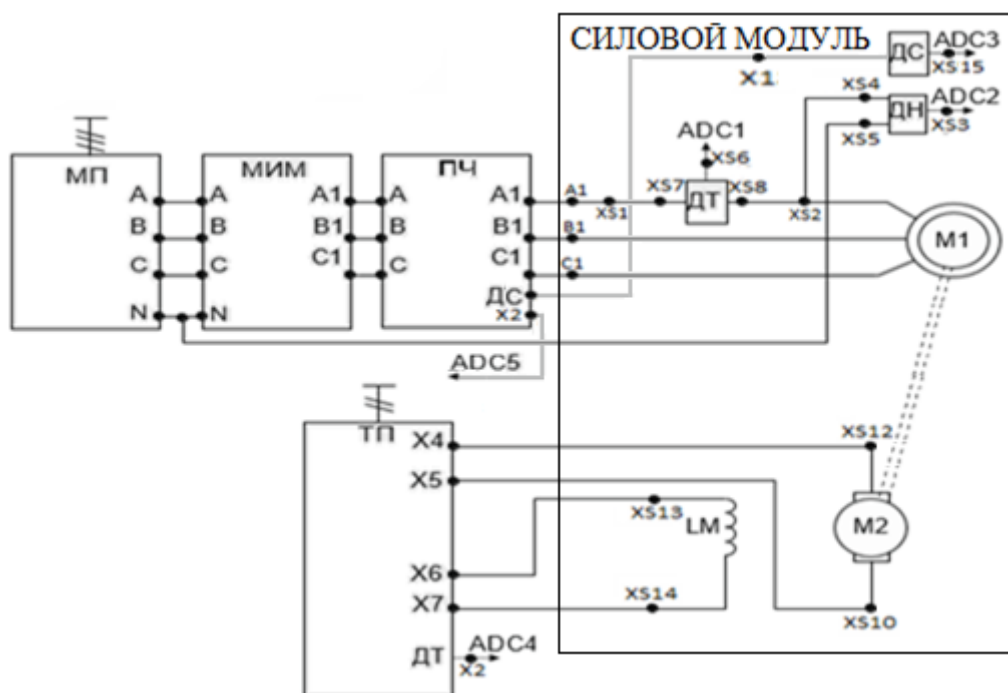


Рис. 2.3. Схема для снятия характеристик системы ПЧ–АД

В качестве нагрузочной машины выступает двигатель постоянного тока, который подключается к модулю тиристорного преобразователя.

Асинхронный электродвигатель подключается к преобразователю частоты ПЧ. Преобразователь частоты запитывается напряжением 380 В от модуля питания через модуль измерителя мощности.

Выходы датчиков тока и напряжения XS6 и XS3, а также ПЧН силового модуля XS15 подключаются к входам ADC1, ADC2, ADC3 модуля ввода/вывода соответственно. Гнёзда заземления датчиков (\perp) подключаются к гнёздам GND модуля ввода/вывода.

Гнезда X1 и X2 в модуле ПЧ соединяются перемычкой для подключения потенциометра RP1 к аналоговому входу ПЧ.

Разъем X1 блока датчика скорости силового модуля соединяется с разъемом ДС модуля ПЧ информационным кабелем.

После монтажа схемы стенда запустить на персональном компьютере программное обеспечение *DeltaProfii* и выбрать лабораторную работу №2. Для этого в окне программы *DeltaProfii* выбрать вкладку Работы –Электрический привод – Ч2. Работа №3 – Исследование замкнутой системы ПЧ–АД. Нажать кнопку пуск (F5).

2.3.1.2. Приведение органов управления модулей в исходное состояние

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

1. Переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение, переключатель SA1 – в положение «Я», переключатель SA2 – в положение «Момент», переключатель SA3 – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», переключатель SA3 – в положение «Стоп», SA6 «Разрешение» – в нижнее положение.

2. Ручку потенциометра RP1 модуля тиристорного преобразователя установить в крайнее левое положение.

3. Переключатель SA1 модуля преобразователя частоты перевести в положение «Скорость», SA2 – в среднее положение, потенциометр RP1 – в крайнее левое положение.

2.3.1.3. Алгоритм выполнения экспериментов

После одобрения собранной схемы преподавателем провести эксперимент по приведённому ниже алгоритму:

1. Включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.
2. Нажатием кнопки «SB1» на модуле питания подать напряжение на модуль преобразователя частоты (при этом загорается дисплей ПЧ).

3. В преобразователе частоты загрузить настройки из ячейки «Файл 2» посредством кнопочной панели оператора:

а) перейти в ОСНОВНОЕ МЕНЮ путем нажатия кнопки ESC;

- б) поворотом ручки ENT выбрать меню 3 «Открыть/сохранить» и нажать на ручку ENT. При этом на дисплее высветится две строчки: «Открыть» и «Сохранить»;
- в) выбрать вкладку «Открыть» поворотом ручки ENT и нажать ручку ENT;
- г) поворотом ручки ENT выбрать ячейку памяти «Файл 2» и нажать ручку ENT;
- д) поворотом ручки ENT выбрать пункт «Все» и подтвердить выбор, нажав ручку ENT. На экране дисплея появится фраза: «Убедитесь, что монтаж ПЧ выполнен правильно»;
- е) убедившись в правильности монтажа, нажать ручку ENT. После нажатия ручки ENT происходит загрузка «Файла 2». При окончании загрузки на дисплее появляется надпись «Выполнена».

4. Перевести переключатель «Сеть» модуля измерителя мощности в положение «1». Для переключения между отображаемыми величинами на дисплее модуля измерителя мощности используются клавиши «←» и «→».

5. Перевести переключатель «Сеть» модуля ТП в положение «1».

6. Переключатель SA2 модуля ПЧ перевести в положение «Вперед».

7. Задать потенциометром RP1 выходную частоту преобразователя 50 Гц. Значение скорости вала двигателя отображается на дисплее в правом нижнем углу стенда.

8. Подать разрешение на работу ТП переключением тумблера SA6 в верхнее положение, SA5 установить в положение «Вперед», переключатель SA1 блока «Индикация» ТП поставить в положение Ia.

9. Поворотом потенциометра RP1 задаётся момент нагрузки. При различных значениях момента нагрузки зафиксировать значения тока и напряжения статора и скорости вращения вала двигателя. **При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения 2А.**

10. Снизить момент нагрузки до нуля, установив потенциометр тиристорного преобразователя в крайнее левое положение, и перевести SA5 в положение «Назад».

11. При различных значениях момента нагрузки зафиксировать значения тока и напряжения статора и скорости вращения вала двигателя. **При проведении опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать номинального значения 2А.**

12. Данные эксперимента занести в таблицу 2.4.

13. Повторить опыт для другого значения скорости вращения АД по указанию преподавателя. Скорость задается поворотом потенциометра RP1 модуля ПЧ.

14. Данные экспериментов предъявить преподавателю.

Таблица 2.4 – Данные для построения искусственных характеристик АД

Результаты измерений					Результаты расчетов
f, Гц	I _я , А	U _ф , В	I _ф , А	n, об/мин	M _в , Н·м
50	0				
	0,5				
	1				
	1,5				
	1,9				
	0				
	-0,5				
	-1				
	-1,5				
	-1,9				

После проведения опыта установить ручку потенциометра RP1 тиристорного преобразователя в крайнее левое положение, установить ручку потенциометра RP1 преобразователя частоты в крайнее левое положение, установить все переключатели модулей в исходное состояние: SA2 модуля ПЧ перевести в среднее положение, SA5 модуля ТП перевести в среднее положение, снять разрешение на работу ТП, выключить питание модуля ТП и модуля измерителя мощности, выключить контактор KM1 модуля питания и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

Расчетные формулы

Момент статический. Н м:

$$M_{в} = k\Phi \cdot I_{я}, \quad (2.3.1)$$

$$k\Phi = \frac{U_{н}}{\omega_0}, \quad (2.3.2)$$

где $U_{н}$ – номинальное напряжение ДПТ (Приложение А);
 ω_0 – скорость холостого хода ДПТ (Приложение А).

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы импульсного датчика частоты вращения. Как осуществляется определение направления вращения двигателя?
2. Поясните принцип векторного управления в асинхронном электроприводе.
3. Сравните принципы скалярного и векторного управления асинхронным электроприводом.
4. Назовите примеры электроприводов, в которых векторное регулирование неприменимо.

2.4. Работа 4. Исследование способов пуска и торможения асинхронного двигателя при питании от преобразователя частоты

Цель работы: приобретение навыков работы с преобразователем частоты *Altivar71*. Изучение способов пуска и торможения асинхронного двигателя при питании от преобразователя частоты.

Предварительное домашнее задание: изучить содержание данной работы и раздел курса «Система ПЧ–АД», быть готовым ответить на контрольные вопросы.

2.4.1. Исследование способов пуска в системе ПЧ–АД

Преобразователь частоты *Altivar71* обеспечивает следующие типы разгона:

- линейный пуск электродвигателя с заданным темпом;
- пуск электропривода по *S*-рампе;
- пуск двигателя по *U*-рампе.

2.4.1.1. Монтаж схемы стенда

Собрать схему, изображенную на рис. 2.4, предварительно убедившись, что выключатель *QF1* модуля питания стенда выключен.

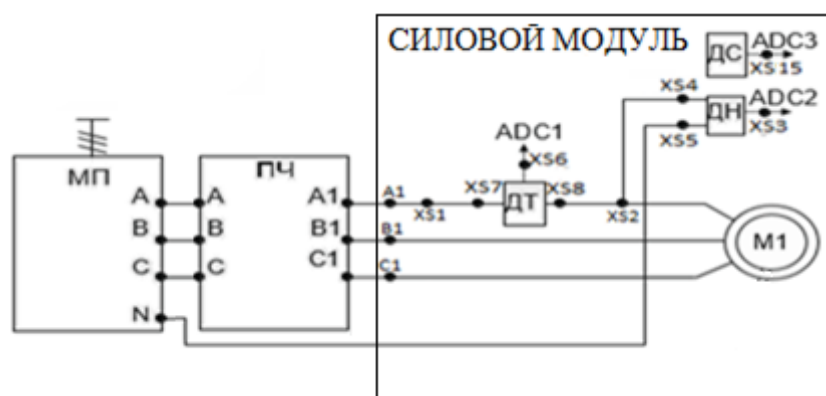


Рис. 2.4. Схема для снятия характеристик системы ПЧ–АД

Асинхронный электродвигатель подключается к преобразователю частоты ПЧ. Преобразователь частоты запитывается напряжением 3 x 380 В от модуля питания через модуль измерителя мощности.

Выходы *X1* и *X2* соединяются перемычкой в модуле ПЧ для подключения потенциометра *RP1* к аналоговому входу ПЧ.

Выход *X1* модуля датчик скорости соединяется с выходом ДС модуля ПЧ.

В качестве нагрузочной машины выступает двигатель постоянного тока (ДПТ), подключенный к тиристорному преобразователю (ТП).

Выходы датчиков тока и напряжения *XS6* и *XS3*, а также ПЧН силового модуля *XS15* подключаются к входам *ADC1*, *ADC2*, *ADC3* модуля ввода/вывода

соответственно. Заземляющие выходы датчиков ⊥ подключаются к GND модуля ввода/вывода.

Запустить на персональном компьютере программное обеспечение *DeltaProfi* и выбрать лабораторную работу №11. Для этого в окне программы *DeltaProfi* выбрать вкладку Работы – Электрический привод – Работа №6. Нажать кнопку пуск (F5).

2.4.1.2. Приведение органов управления модулей в исходное состояние

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

- переключатель «Сеть» модуля тиристорного преобразователя перевести в нижнее положение, переключатель SA1 – в положение «Я», переключатель SA2 – в положение «Момент», переключатель SA3 – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», переключатель SA3 – в положение «Стоп», SA6 «Разрешение» – в нижнее положение;
- ручку потенциометра RP1 модуля тиристорного преобразователя установить в крайнее левое положение;
- переключатель SA1 модуля преобразователя частоты перевести в положение «Скорость», SA2 – в среднее положение, потенциометр RP1 – в крайнее левое положение.

2.4.1.3. Алгоритм выполнения экспериментов

После одобрения собранной схемы преподавателем провести эксперимент, по приведённому ниже алгоритму:

1. Включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.
2. Нажатием кнопки «SB1» на модуле питания подать напряжение на модуль преобразователя частоты (при этом загорается дисплей ПЧ).
3. В преобразователе частоты загрузить настройки из ячейки «Файл 1» посредством кнопочной панели оператора:
 - а) перейти в ОСНОВНОЕ МЕНЮ путем нажатия кнопки ESC;
 - б) поворотом ручки ENT выбрать меню 3 «Открыть/сохранить», и нажать на ручку ENT. При этом на дисплее высветится две строчки «Открыть» и «Сохранить»;
 - в) выбрать вкладку «Открыть» поворотом ручки ENT и нажать ручку ENT;
 - г) поворотом ручки ENT выбрать ячейку памяти «Файл 1» и нажать ручку ENT;
 - д) поворотом ручки ENT выбрать пункт «Все» и подтвердить выбор, нажав ручку ENT. На экране дисплея появится фраза «Убедитесь, что монтаж ПЧ выполнен правильно»;

е) убедившись в правильности монтажа, нажать ручку ENT. После нажатия ручки ENT происходит загрузка «Файла 1». При окончании загрузки на дисплее появляется надпись «Выполнена».

4. Для исследования пуска электродвигателя по линейному закону необходимо зайти в пункт «Меню ПЧ», нажать ручку ENT.

5. Поворотом ручки ENT выбрать пункт 1.7 «Прикладные функции», зайти в пункт 1.7 «Прикладные функции», нажать ручку ENT.

6. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «Задатчик темпа», зайти в пункт «Задатчик темпа», нажать ручку ENT.

7. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «Профиль кривых», зайти в пункт «Профиль кривых», нажать ручку ENT.

8. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «Линейная», нажать ручку ENT.

9. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «Время разгона», нажать ручку ENT.

10. Нажать клавишу F2 и поворотом ручки ENT задать время разгона до номинальной скорости по указанию преподавателя. Нажать ручку ENT.

11. Последовательным нажатием кнопки ESC перейти на экран отображения задания частоты.

12. По указанию преподавателя установить потенциометром RP1 заданную частоту выходного напряжения преобразователя.

13. Начать запись осциллограмм в программе *DeltaProfi* нажатием кнопки пуск или клавиши F5.

14. Произвести пуск двигателя переключением тумблера SA2 в положение «Вперед».

15. После завершения разгона остановить запись осциллограмм нажатием кнопки «Стоп» или клавиши F6.

16. Снизить частоту выходного напряжения преобразователя до нуля поворотом потенциометра RP1, перевести переключатель SA2 в среднее положение.

17. Осциллограмму скорости занести в отчет.

18. Повторить эксперимент для другого значения заданной частоты и времени разгона по указанию преподавателя.

19. Повторить пункты 5–19, при этом в пункте «профиль кривых» выбрать «S-кривая».

20. Повторить пункты 5–19, при этом в пункте «профиль кривых» выбрать «U-кривая».

21. После проведения опыта установить ручку потенциометра RP1 преобразователя частоты в крайнее левое положение, установить все переключатели модулей в исходное состояние: SA2 модуля ПЧ перевести в среднее положение, выключить контактор KM1 модуля питания и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

2.4.2. Исследование способов торможения в системе ПЧ–АД

Преобразователь частоты Altivar71 обеспечивает следующие типы торможения:

- торможение на выбеге;
- торможение по рампе;
- динамическое торможение.

В режиме торможения на выбеге при поступлении команды торможения инвертор отключается, и двигатель останавливается под воздействием момента сопротивления холостого хода (трение в подшипниках, вентиляторный момент и т. д.).

Вторым способом торможения является торможение по рампе. При этом виде торможения при поступлении команды на остановку происходит постепенное уменьшение выходной частоты и напряжения в течение заданного времени.

При динамическом торможении на статор асинхронного электродвигателя подается постоянный ток.

2.4.2.1. Алгоритм выполнения экспериментов

После одобрения собранной схемы преподавателем провести эксперимент по приведённому ниже алгоритму:

1. Включить автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.
2. Нажатием кнопки «SB1» на модуле питания подать напряжение на модуль преобразователя частоты (при этом загорается дисплей ПЧ).
3. В преобразователе частоты загрузить настройки из ячейки «Файл 1» посредством кнопочной панели оператора:
 - а) перейти в ОСНОВНОЕ МЕНЮ путем нажатия кнопки ESC;
 - б) поворотом ручки ENT выбрать меню 3 «Открыть/сохранить» и нажать на ручку ENT. При этом на дисплее высветятся две строчки: «Открыть» и «Сохранить»;
 - в) выбрать вкладку «Открыть» поворотом ручки ENT и нажать ручку ENT;
 - г) поворотом ручки ENT выбрать ячейку памяти «Файл 1» и нажать ручку ENT;
 - д) поворотом ручки ENT выбрать пункт «Все» и подтвердить выбор, нажав ручку ENT. На экране дисплея появится фраза «Убедитесь, что монтаж ПЧ выполнен правильно»;
 - е) убедившись в правильности монтажа, нажать ручку ENT. После нажатия ручки ENT происходит загрузка «Файла 1». При окончании загрузки на дисплее появляется надпись «Выполнена».
4. Для исследования пуска торможения электродвигателя, находясь в основном меню, необходимо зайти в пункт «Меню ПЧ» нажатием ручки ENT.

5. Поворотом ручки ENT выбрать пункт 1.7 «Прикладные функции», зайти в пункт 1.7 «Прикладные функции», нажать ручку ENT.
6. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «Конфигурация остановки», зайти в пункт «Конфигурация остановки» нажатием ручки ENT.
7. Зайти в пункт «Тип остановки», нажать ручку ENT.
8. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «Выбег», нажать ручку ENT.
9. Последовательным нажатием кнопки ESC перейти на экран отображения задания частоты.
10. Установить потенциометром RP1 заданную частоту по указанию преподавателя.
11. Произвести пуск переключением тумблера SA2 в положение «Вперед».
12. Начать запись осциллограмм в программе *DeltaProfi* нажатием кнопки «Пуск» или клавиши F5.
13. Произвести останов переключением тумблера SA2 в среднее положение.
14. После завершения торможения остановить запись осциллограмм нажатием кнопки «Стоп» или клавиши F6.
15. Осциллограммы скорости и напряжения занести в отчет.
16. Повторить пункты 4-7, при этом в пункте «Тип остановки» выбрать «С темпом».
17. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «Время торможения», нажать ручку ENT.
18. Нажать клавишу F2 и поворотом ручки ENT задать время торможения с номинальной скорости по указанию преподавателя. Нажать ручку ENT.
19. Повторить пункты 8–14.
20. Повторить пункты 4–7, при этом в пункте «Тип остановки» выбрать «Дин. торможение».
21. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «I дин. торм 1», нажать ручку ENT.
22. Поворотом ручки ENT задать ток динамического торможения по указанию преподавателя **не более 1.1 А**. Нажать ручку ENT.
23. Поворотом ручки ENT выбрать пункт «t дин. торм 1», нажать ручку ENT.
24. Поворотом ручки ENT задать время протекания постоянного тока по указанию преподавателя. Нажать ручку ENT.
25. Повторить пункты 8–14.
26. После проведения опыта установить ручку потенциометра RP1 преобразователя частоты в крайнее левое положение, установить все переключатели модулей в исходное состояние: SA2 модуля ПЧ перевести в среднее положение, выключить контактор KM1 модуля питания и автоматический выключатель QF1 модуля питания стенда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильинский, Н. Ф. Основы электропривода [Текст]: учебное пособие / Н. Ф. Ильинский. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 224 с.
2. Онищенко, Г. Б. Электрический привод [Текст]: учебник / Г. Б. Онищенко. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.
3. Дементьев, Ю. Н. Электрический привод [Текст]: учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И. А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 232 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Паспортные данные электрических машин

Таблица А.1 – Паспортные данные машины постоянного тока

Наименование параметра	Значение
Тип	П11М
Мощность, кВт	0,29
Номинальное напряжение питания обмотки якоря, В	220
Номинальный ток якоря, А	2.04
Номинальное напряжение обмотки возбуждения, В	220
Номинальная частота вращения, об/мин	1500
Частота вращения идеального холостого хода, об/мин	2000
Номинальный момент электродвигателя, Нм	1.84
Номинальный режим работы	S1
Номинальное сопротивление якоря, Ом	26,3
Номинальное сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом	1,7
Номинальное сопротивление параллельной обмотки возбуждения, Ом	877
КПД, %	65
Масса, кг	18.5

Таблица А.2. Паспортные и расчетные данные универсальной машины переменного тока

Наименование параметра	Значение
Тип	АИР63В4
Мощность, Вт	370
Номинальное напряжение питания обмотки статора, Y/Δ, В	380/220
Номинальная частота вращения, об/мин	1350
Номинальный ток фазы статора, Y/Δ, А	1,17/2,02
cosφ	0,74
Число пар полюсов	2
Номинальный момент, Н · м	1,4
Активное сопротивление статора $r_{I27^{\circ}C}$, Ом	19
Механические потери при номинальной скорости, $P_{\text{мех.АД}}$, Вт	11

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Тиристорный преобразователь

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

Преобразователь служит для управления электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения.

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

Внешний вид модуля приведен на рис. Б. 1.

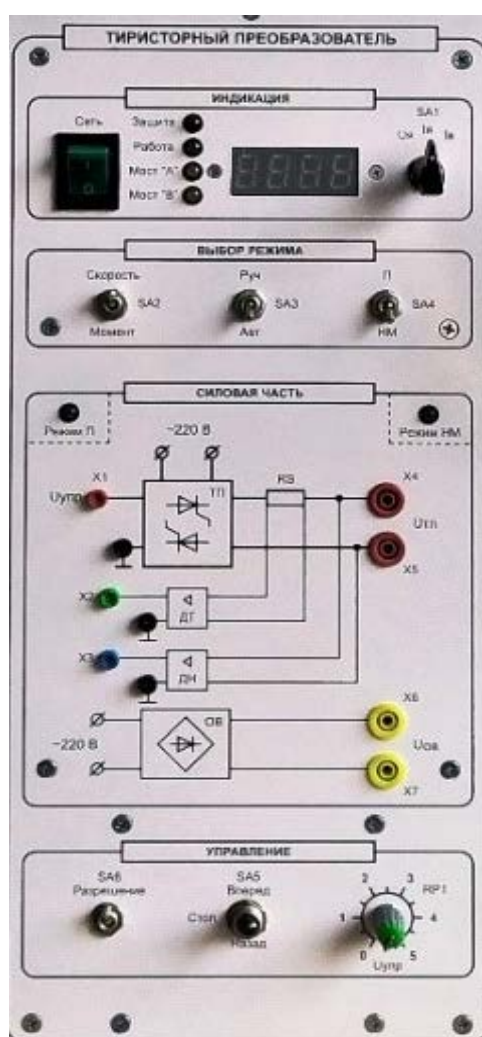


Рис. Б. 1. Внешний вид модуля «Тиристорный преобразователь»

На лицевую панель вынесены:

– кнопка «Сеть» подачи напряжения электропитания на ТП;

– переключатель SA1, который служит для переключения параметра, значение которого отображается на светодиодном индикаторе «напряжение / ток якоря / ток возбуждения»;

– тумблер SA2 – выбор режима регулирования «Скорость/Момент»;

– тумблер SA3 – выбор режима управления «Руч/Авт». В положении «Авт» управление осуществляется с помощью внешнего входного сигнала, сигнал подается на клемму X1, внутренние связи преобразователя не замыкаются. В положении «Руч» подача сигнала управления осуществляется с потенциометра RP1 модуля;

– тумблер SA4 – выбор режима работы «П/НМ». В режиме «НМ» (нагрузочная машина) обратные связи по скорости или моменту подключаются автоматически, их переключение осуществляется с помощью тумблера SA2. В режиме «П» (преобразователь) все внутренние обратные связи преобразователя замыкаются, и аналоговый сигнал с клеммы X1 модуля поступает непосредственно на вход СИФУ преобразователя. Выбор режима работы сигнализируется соответствующими светодиодами;

– тумблер SA5, который осуществляет выбор направления вращения;

– тумблер SA6 «Разрешение», который управляет подачей управляющих импульсов на тиристоры;

– потенциометр RP1, который обеспечивает уставку задания, в соответствии с положением тумблера SA2, по напряжению якоря или по моменту;

– клеммы $U_{ТП}$, предназначенные для подачи регулируемого выпрямленного напряжения на обмотку якоря двигателя постоянного тока;

– клеммы $U_{ОВ}$, предназначенные для подачи нерегулируемого выпрямленного напряжения на обмотку возбуждения двигателя постоянного тока;

– датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН), предназначенные для коммутации внешних обратных связей с помощью аналоговых регуляторов.

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

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

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

– регулирование скорости;

– регулирование момента.

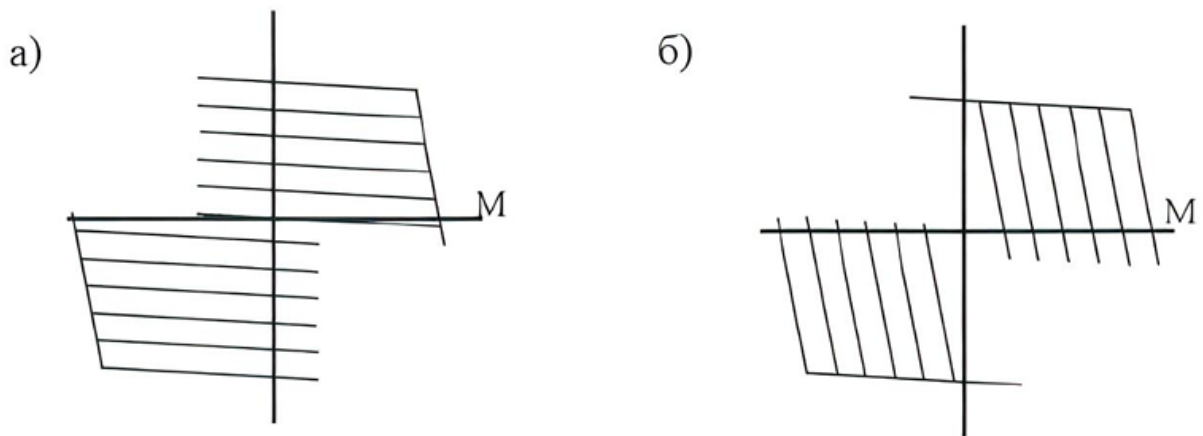


Рис. Б. 2. Механические характеристики ДПТ при работе ТП в режиме НМ:
 а – при регулировании задания по скорости;
 б – при регулировании задания по моменту

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

Режим регулирования скорости:

Для работы преобразователя в режиме регулирования скорости необходимо:

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

Режим регулирования момента:

Для работы преобразователя в режиме регулирования момента необходимо:

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

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Преобразователь частоты Altivar 77

Действия, описываемые в этом приложении, допускается выполнять только с указания преподавателя.

Преобразователь частоты (ПЧ) обеспечивает преобразование переменного напряжения 3 x 380 Вв трехфазное напряжение с регулируемыми значениями напряжения и частоты. Внешний вид модуля приведен на рис. В.1.



Рис. В. 1. Внешний вид преобразователя частоты Altivar 71

Конструкция преобразователя частоты дополнительно оснащена кнопочной панелью расширенного функционала VW3A1101, которая обеспечивает более полное управление преобразователем при его программировании и управлении. На рис. В. 2 представлен общий вид панели с указанием основных элементов и их назначения. Клавиши 3–6 обеспечивают

непосредственное управление электроприводом при активированном управлении с панели.

Функциональные клавиши F1– F4 имеют возможность перепрограммирования назначения. Кнопочная панель может быть отсоединена от преобразователя и работа может производиться со стандартной кнопочной панелью. Внимание! Категорически не рекомендуется отсоединять панель при поданном напряжении питания, это может привести к ее выходу из строя.

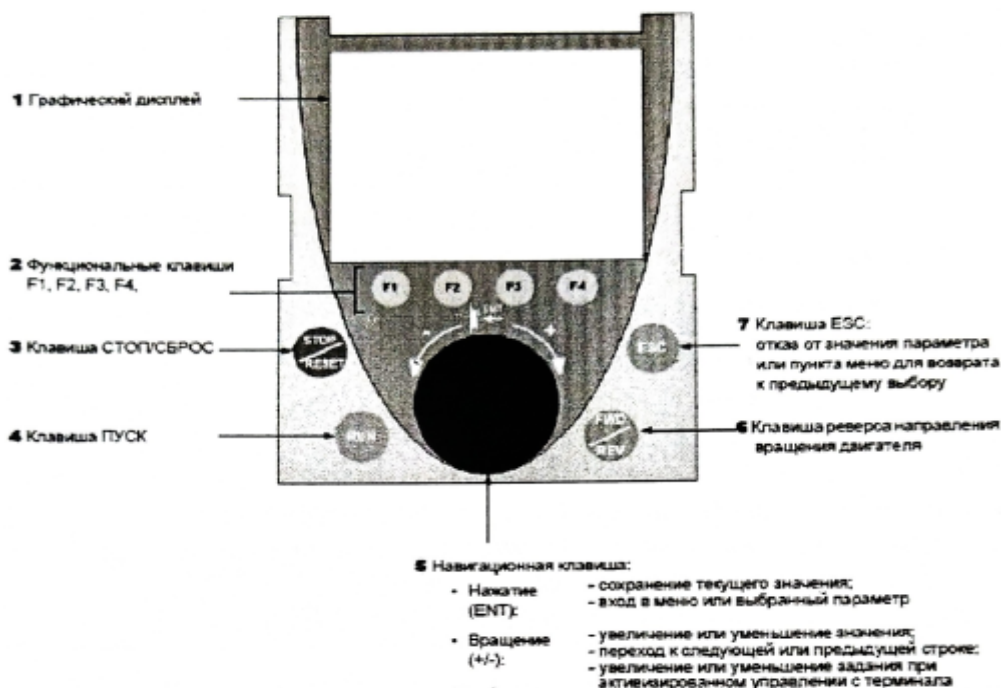


Рис. В. 2. Назначение функциональных клавиш преобразователя

Внешний вид дисплея представлен на рис. В. 3.

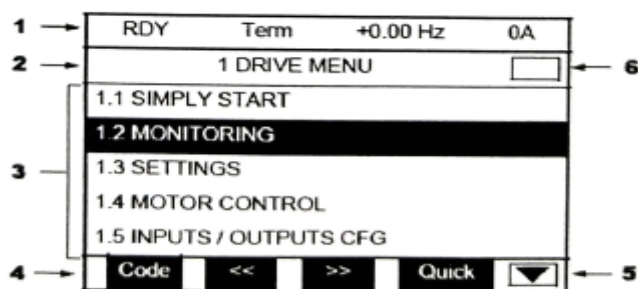


Рис. В. 3. Внешний вид графического дисплея

На рисунке цифрами обозначены:

1. Строка состояния (индикация текущего состояния привода).
2. Строка меню (индикация текущего меню).
3. Рабочее поле (отображение меню, параметров меню и мониторинг параметров).

4. Отображение функций, назначенных программируемым клавишам F1 – F4

5–6. Отображение возможности / невозможности прокрутки меню вверх и вниз соответственно.

Навигация по параметрам преобразователя отображена схемой на рис. В.4.

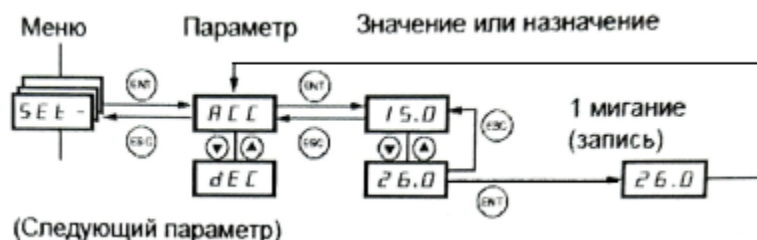


Рис. В. 4. Навигация по параметрам преобразователя

Помимо функций управления и параметрирования кнопочная панель оператора в данном приводе выполняет функции блока памяти. Панель оператора, поставляемая в комплекте с преобразователем частоты, имеет три записанные ячейки памяти, предназначенные для быстрого конфигурирования преобразователя и сброса на заводские настройки. По умолчанию в преобразователе выставлен русский язык меню, что облегчает настройку параметров.

Для доступа к ячейкам памяти необходимо посредством кнопочной панели оператора:

- 1) выбрать меню 3 «Открыть/сохранить»;
- 2) выбрать вкладку «Открыть»;
- 3) выбрать ячейку памяти для конфигурирования нужной системы.

В ячейках памяти представлены следующие системы электропривода:

1. Ячейка № 1 – Скалярное управление скоростью в разомкнутой системе.

2. Ячейка №2 – Векторное управление скоростью в замкнутой системе.

3. Ячейка №3 – Векторное управление моментом в замкнутой схеме.

Третий режим предназначен для работы преобразователя частоты и асинхронного двигателя в режиме нагрузочной машины.

Перед проведением опытов необходимо установить заводские настройки или убедиться, что параметры преобразователя им соответствуют. Структура программирования преобразователя разделена на тематические меню, что упрощает настройку параметров.

Сброс на заводские настройки

Выбрать меню I «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.12 «Заводская настройка», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- FCSI– источник конфигурации (Макроконфигурация);
- FrY– группы параметров (Все);
- GFS– возврат к заводским настройкам (Да).

После проведения процедуры сброса последний параметр вернется в значение «Нет».

Настройка разомкнутого контура регулирования скорости

Выбрать меню 2 «Уровень доступа», в нем выбрать уровень экспертный.

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.4 «Привод», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- bFr– стандартная частота напряжения питания двигателя (50 Гц МЭК);
- nPг– номинальная мощность двигателя;
- Uns– номинальное напряжение двигателя;
- nCг– номинальный ток двигателя;
- Frs– номинальная частота двигателя;
- nSP – номинальная скорость двигателя;
- InSP– дискретность задания скорости;
- PНt– порядок чередования фаз (АВС);
- U0 – нулевой уровень напряжения (0 В);
- Ctt– режим работы привода (UF2 – скалярное управление).

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.5 «Входы – выходы», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- tcc–2/3–проводное управление (2–проводное).

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ». в нем выбрать подменю 1.6 «Управление ЭП», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- Fr1 – выбор источника задания (АП – аналоговый вход №1 – потенциометр на лицевой панели модуля).

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.7 «Прикладные функции», в нем выбрать группу параметров «Задатчик темпа», сконфигурировать следующие параметры:

- bra– адаптация темпа торможения (Нет).

Далее провести процедуру автонастройки с целью определения приводом обмоточных данных статора. Выбрать меню 1 «Меню ПЧ». В нем выбрать подменю 1.4 «Привод», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- tUn – автонастройка (Да).

После проведения процедуры автонастройки последний параметр перейдет в значение «Выполнено».

Настройка замкнутого контура регулирования скорости

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.4 «Привод», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- bFr—стандартная частота напряжения питания двигателя (50 Гц МЭЖ);
- nPr—номинальная мощность двигателя (0,37 кВт);
- Uns—номинальное напряжение двигателя (380 В);
- nCr— номинальный ток двигателя (1.1);
- Frs— номинальная частота двигателя (50 Гц);
- nSP—номинальная скорость двигателя (1370 об/мин);
- InSP— дискретность задания скорости (x 1 об/мин);
- PHr— порядок чередования фаз (ACB);
- EnS— тип импульсного датчика скорости (AABB);
- PGI— число импульсов на оборот импульсного датчика скорости (500);
- Ctt—закон управления двигателя (SVC I— векторное управление).

Далее провести процедуру автонастройки с целью определения приводом обмоточных данных статора. Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.4 «Привод», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- fUn—автоподстройка (Да).

После проведения процедуры автонастройки последний параметр перейдет в значение «Выполнено».

Далее провести процедуру настройки датчика скорости. Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.4 «Привод», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- EnC — проверка датчика (Да).

После этого подать на двигатель задание скорости величиной 5–10% от номинала и дождаться, когда выбранный параметр перейдет в значение «Выполнено».

Для того, чтобы подать задание на скорость двигателю, в модуле ПЧ SA1 перевести в положение скорость, SA2 – в положение вперед и плавно увеличивать скорость двигателя путем поворота ручки RP1.

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.6 «Управление ЭП», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- Fr1— Канал задания 1 (AI1 аналоговый вход RP1 – потенциометр на лицевой панели модуля).

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.7 «Прикладные функции», в нем выбрать группу параметров «Задатчик темпа», сконфигурировать следующие параметры:

- bra— адаптация темпа торможения (Нет).

Далее произвести оптимизацию настроек привода. Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.4 «Привод», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- UFr–IR-компенсация (25%);
- SLP – компенсация скольжения (50%);
- Idr– ток намагничивания (0,9 А);
- Ctt– закон управления двигателем (FVC– векторное управление).

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.3 «Настройка», в нем выставить следующие параметры (в скобках представлены требуемые значения параметров):

- SPG – коэффициент передачи (20%);
- Sit– постоянная времени (40%).

Настройка контура регулирования момента

Настроить параметры замкнутого контура регулирования скорости, затем выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.7 «Прикладные функции», в нем выбрать группу параметров «Управление моментом», сконфигурировать следующие параметры:

- tss – переключение скорость/момент (L13 – переключение по сигналу тумблера скорость/момент на лицевой панели модуля);
- trI – канал задания момента (AI1 – задание с потенциометра на лицевой панели модуля);
- tsd – сигнал задания момента (LI2 – переключение по сигналу тумблера назад на лицевой панели модуля);
- trt – коэффициент момента (60%);
- tst –остановка в режиме управления моментом (выбег);
- dbp – зона нечувствительности + (60 Гц);
- dbn –зона нечувствительности – (60 Гц).

Выбрать меню 1 «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.8 «Управление при неисправностях», в нем выбрать группу параметров «Неисправность датчика», сконфигурировать следующие параметры:

- Sdd– контроль обратного вращения (Нет).

Выбрать меню I «Меню ПЧ», в нем выбрать подменю 1.8 «Управление при неисправностях», в нем выбрать группу параметров «Сброс неисправности», сконфигурировать следующие параметры:

- InH– назначение сброса неисправностей (L14). Для установки параметра несколько секунд непрерывно держать нажатой кнопку ENT.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Программное обеспечение SoMove

Программное обеспечение SoMove предназначено для настройки и управления оборудованием фирмы SchneiderElectric посредством персонального компьютера (или ноутбука).

Для начала работы убедитесь, что преобразователь частоты подключен к ноутбуку специализированным кабелем, и на преобразователь частоты подано напряжение питания. Программа допускает работу при отсутствии соединения с приводом, однако для управления в режиме реального времени требуется соединение.

При запуске программы отображается стартовый экран настройки (рис. Г. 1).

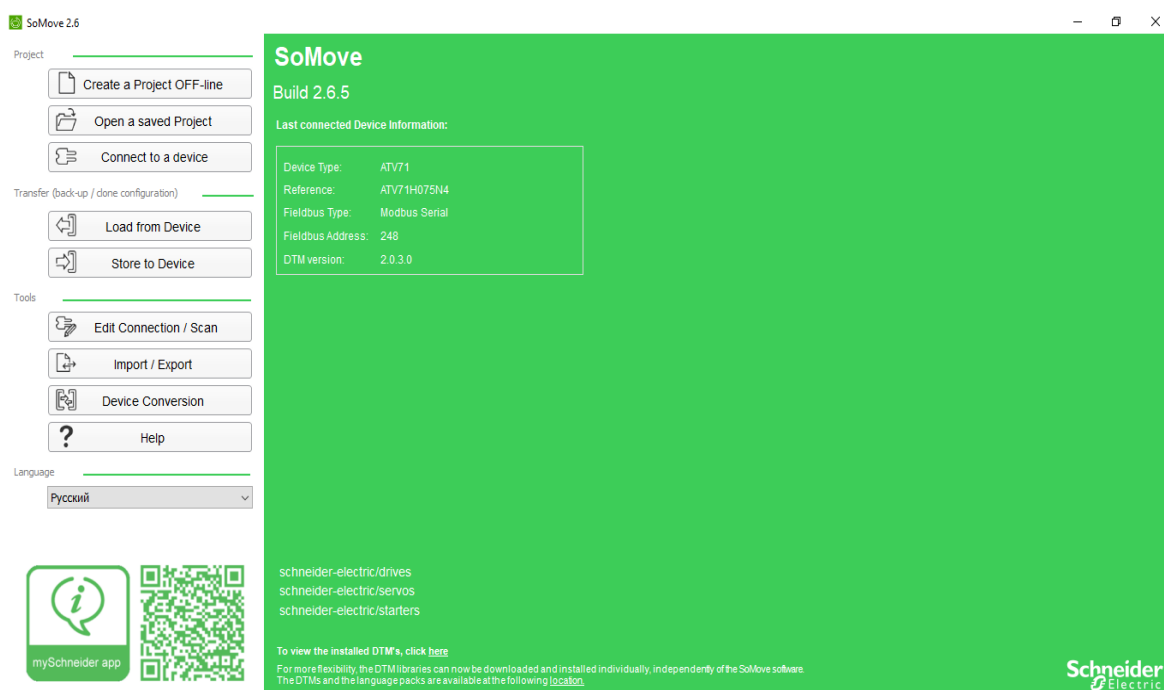


Рис. Г. 1. Стартовый экран программы

Для организации коммуникационной связи между преобразователем частоты и ноутбуком выбрать в левой части экрана команду EditConnection. После нажатия команды откроется окно коммуникации, в котором можно выбрать предустановленное устройство (как показано на рисунке) или же настроить параметры коммуникации, сети конфигурация подключения ПЧ изменилась. Для связи преобразователя с ноутбуком по умолчанию используется связь по протоколу ModbusSerial. Для доступа к расширенным настройкам конфигурации подключения необходимо выбрать значок настройки, расположенный в правом верхнем углу экрана. Для быстрого подключения к преобразователю достаточно дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на значок предустановленного преобразователя.

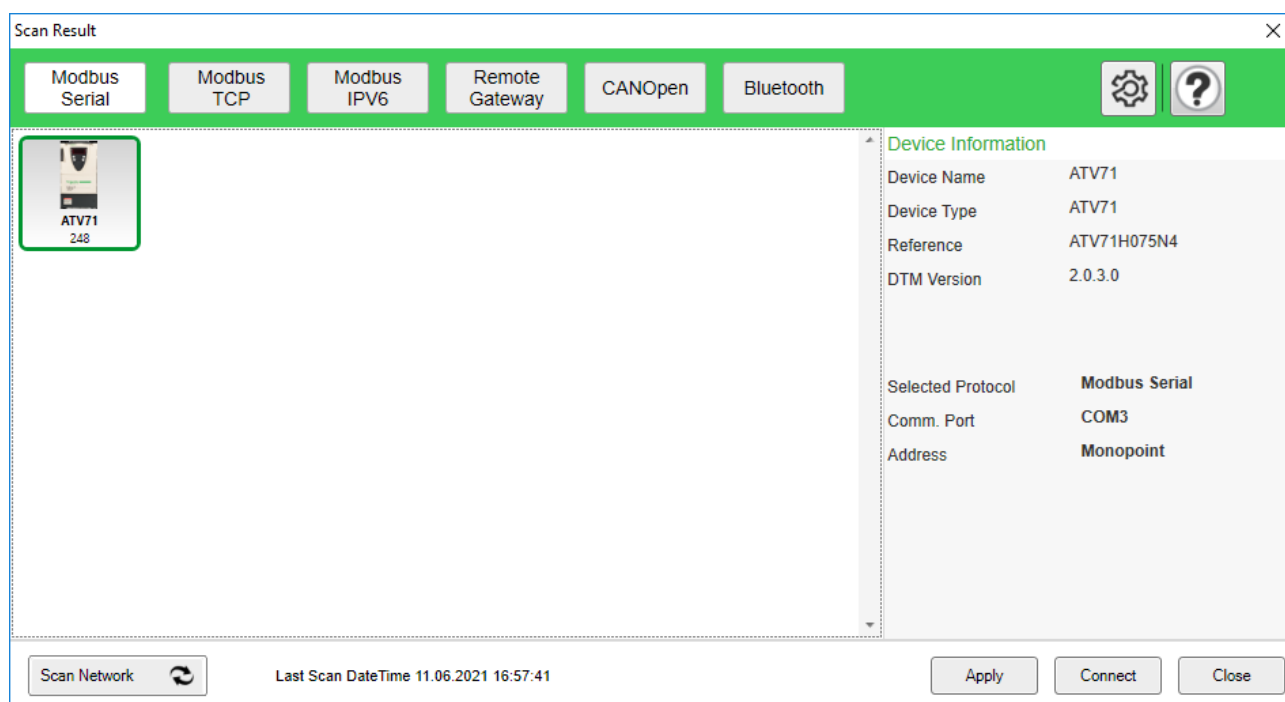


Рис. Г. 2. Экран выбора коммуникационного устройства

После запуска быстрого подключения преобразователя к ноутбуку запустится процедура инициализации. При инициализации может появиться окно предупреждения о незнакомом подключении, в этом случае необходимо нажать комбинацию клавиш АН+F. После завершения загрузки пользователь получает доступ к основному меню программы. Работа в режиме реального времени отображается оранжевой полосой над вкладками меню и формулировкой «data age synchronized».

Основной экран управления программы имеет 6 вкладок:

1. Mydevice (краткие сведения о используемом преобразователе частоты).
2. Operate (панель оператора для мониторинга и переключения активных параметров).
3. Parameters (полный перечень параметров привода, распределенных в соответствии с меню).
4. Errorsdetection(журнал неисправностей).
5. Monitoring (наблюдение за основными параметрами в режиме реального времени).
6. Scope (цифровой осциллограф);
7. Applications (прикладные функции).

Работа в меню «Мониторинг»

Работа в данном меню полезна при оперативном определении состояния входов-выходов преобразователя, а также для наблюдения переменных в режиме реального времени. Для работы с этими функциями необходимо открыть одноименную вкладку меню в программном обеспечении. Для отображения переменных в реальном времени пользователю в перечне слева предлагается

выбрать один из желаемых сигналов. После выбора сигнала левой кнопкой мыши курсор необходимо перевести в серую рабочую область, при этом курсор изменит форму и станет в виде перекрестия. При нажатии левой кнопкой мыши по серой области в указанной точке появится измерительный прибор, отображающий выбранную ранее величину. В выпадающем меню измерительного прибора можно выбрать его тип: стрелочный или цифровой. Настроенный экран мониторинга показан на рис. Г. 3.

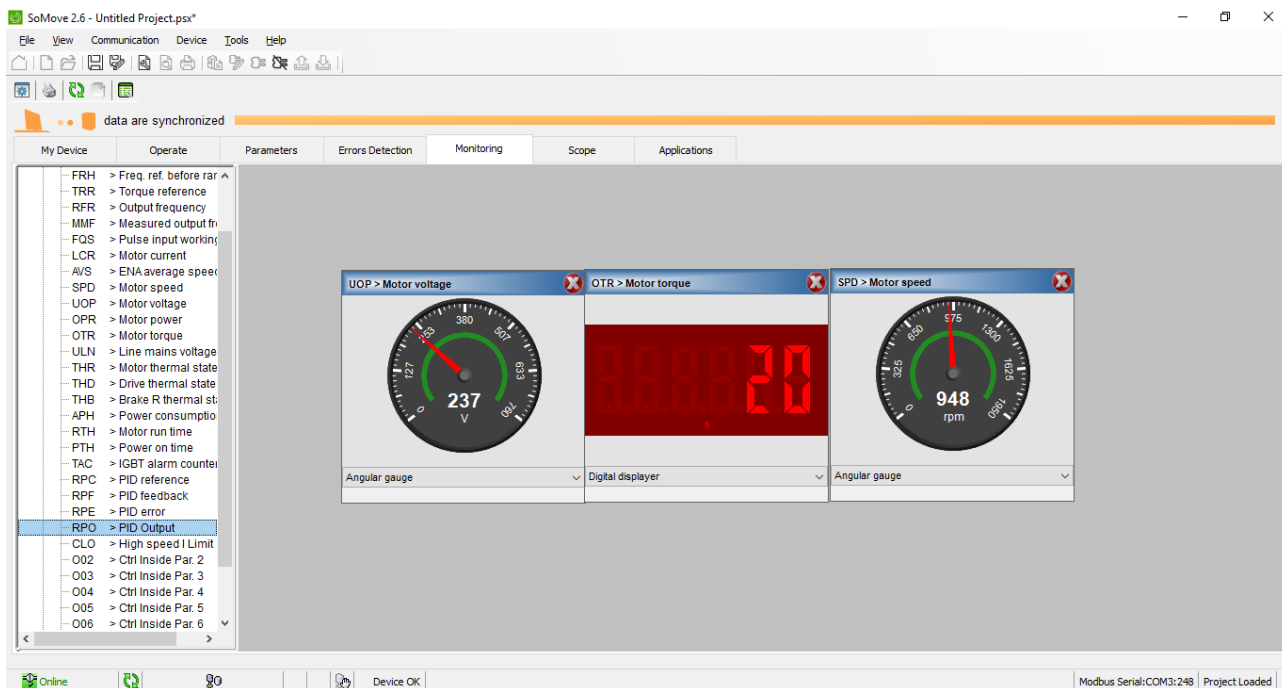


Рис. Г.3. Экран отображения переменных электропривода в реальном времени

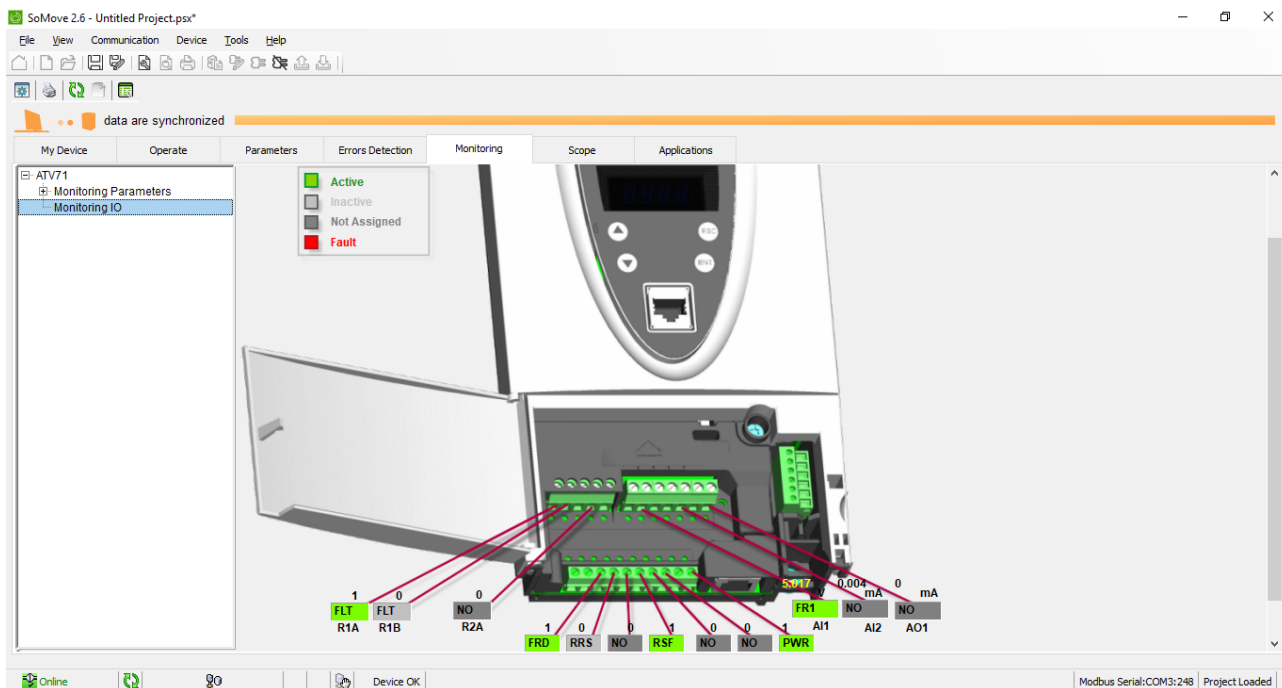


Рис. Г. 4.Экран отображения состояния входов-выходов в реальном времени

Помимо отображения координат электропривода данное меню имеет возможность наблюдать за состоянием цифровых входов-выходов. Для перехода рабочей области в данный режим необходимо в списке в левой стороне экрана выбрать самую нижнюю вкладку «Monitoring I/O». При этом рабочая область должна перейти в конфигурацию, представленную на рис. Г. 4.

Работа в меню «Осциллограф»

Данная вкладка меню позволяет пользоваться встроенной функцией осциллографа при исследовании характеристик электропривода. Внешний вид меню показан на рис. Г. 5. По умолчанию осциллограф настроен в режим срабатывания по уровню (триггеру). Записываемый сигнал и источник триггера выбираются в функциональных меню, расположенных в левой части экрана.

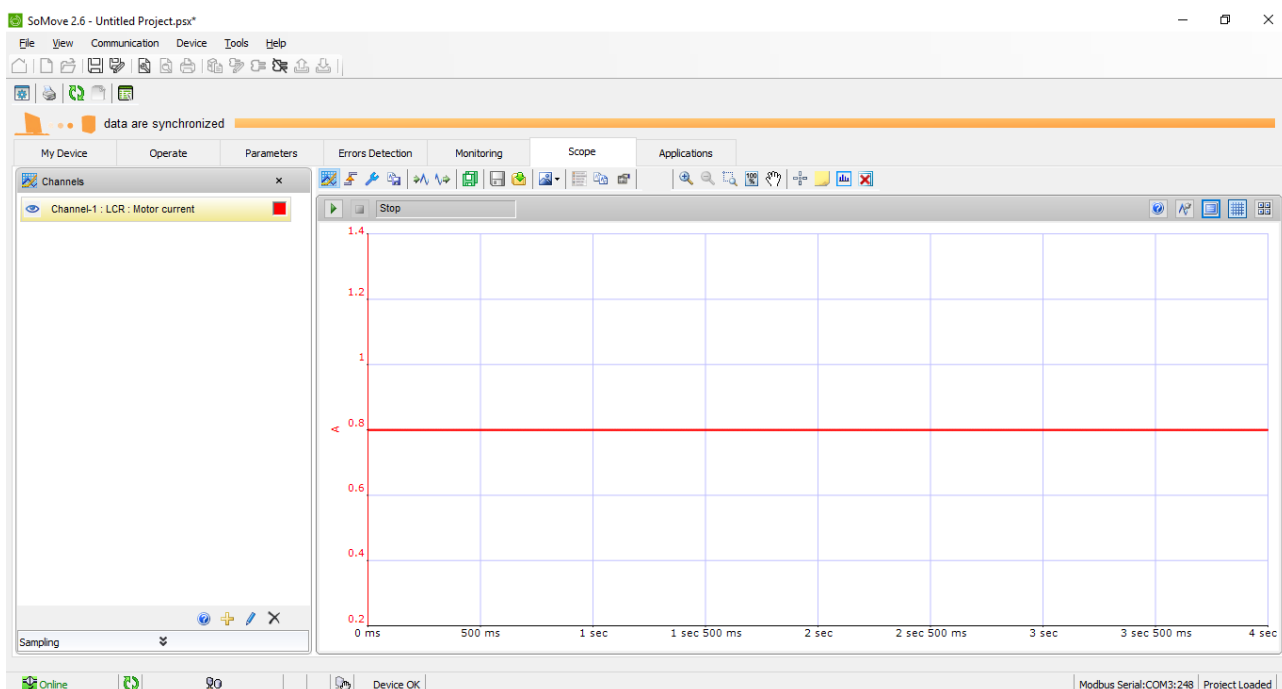


Рис. Г. 5. Экран меню осциллограф

Для перевода осциллографа в режим самописца необходимо в командной строке выбрать вкладку Device—Oscilloscope—Scopetype—Slowscope. В данном режиме доступны четыре канала для записи данных. Для изменения записываемой величины необходимо выбрать один из каналов в списке слева щелчком левой кнопки мыши, при этом канал начинает подсвечиваться. После этого нажать кнопку редактирования каналов (маленький значок карандаша под списком каналов) и выбрать необходимый сигнал из предложенного списка.

Запуск осциллографа осуществляется кнопкой StartTrace, расположенной сверху рабочей области. Если триггер не задан, кнопкой ForceTrigger можно запустить немедленную запись сигнала. Для улучшения вида кривых выбрать вкладку Device – Oscilloscope – FFTConfiguration. Выбрать максимальное число точек 1024.