



Уральский  
федеральный  
университет

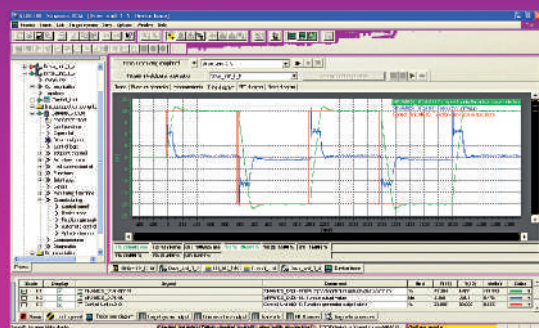
имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

**Ю. В. ПЛОТНИКОВ  
В. Н. ПОЛЯКОВ**

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА (ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ SINAMICS DCM)

Учебно-методическое пособие





Министерство образования и науки Российской Федерации  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

**Ю. В. Плотников, В. Н. Поляков**

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
(преобразователь Sinamics DCM)**

Рекомендовано методическим советом  
Уральского федерального университета  
в качестве учебно-методического пособия для студентов вуза,  
обучающихся по направлению подготовки  
13.03.02 — Электроэнергетика и электротехника

Екатеринбург  
Издательство Уральского университета  
2017

УДК 62-83:621.314.1(075.8)  
ББК 31.291.5я73+31.264.5я73  
ПЗ9

Рецензенты: генеральный директор «ПФ Тяжпромэлектропривод» канд. техн. наук, доц. *В. И. Зеленцов*; начальник научно-инженерного центра «Автоматизированные системы и комплексы» канд. техн. наук, доц. *С. И. Шилин*

Научный редактор — завкафедрой канд. техн. наук, доц. *А. В. Костылев*  
**Плотников, Ю. В.**

ПЗ9 Системы управления электроприводами постоянного тока (преобразователь Sinamics DCM) : учебно-методическое пособие / Ю. В. Плотников, В. Н. Поляков. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 96 с.  
ISBN 978-5-7996-1947-3

Пособие содержит описание принципов построения систем управления электроприводами постоянного тока, программы и указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Системы управления электроприводами».

Настоящее издание соответствует учебному плану направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Электропривод и автоматика» и предназначено для бакалавров всех форм обучения.

Библиогр.: 8 назв. Рис. 55.

УДК 62-83:621.314.1(075.8)  
ББК 31.291.5я73+31.264.5я73

ISBN 978-5-7996-1947-3

© Уральский федеральный  
университет, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

---

Дисциплины «Теория управления электроприводами» и «Наладка и эксплуатация электроприводов» преследуют цель ознакомить студентов с приложением общей теории автоматического управления к построению класса объектов, представляющих собой автоматические системы управления регулируемых электроприводов постоянного тока.

В процессе изучения дисциплины студенты должны ознакомиться с областью применения электроприводов постоянного тока, усвоить принципы построения систем управления, методы синтеза алгоритмов управления и математическое моделирование процессов, а также методику наладки систем управления электроприводов постоянного тока.

Лабораторные занятия по данному курсу имеют целью облегчить студентам понимание физических процессов, протекающих в системах управления электроприводов постоянного тока с тиристорными преобразователями, путем экспериментального исследования статических и динамических характеристик на реальных установках. Во время лабораторных работ студенты изучают оборудование экспериментальных установок, получают практические навыки параметрирования и наладки микропроцессорных систем автоматического управления электроприводов постоянного тока, проводят экспериментальные исследования характеристик электропривода в установившихся и переходных режимах работы с последующим сопоставлением теоретических и экспериментальных результатов.

Лабораторные работы проводятся на стендах, оснащенных тиристорными электроприводами постоянного тока типа Sinamics DC Master фирмы Siemens и специальным оборудованием, позволяющим создавать нагрузку для электропривода. Для параметрирования и визуализации процессов в реальном масштабе времени лабораторные стенды снабжены персональными компьютерами с программным обеспечением Starter.

# РАЗДЕЛ А

---

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СЕРИИ SINAMICS DCM И ПРИНЦИПАХ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ

---

Современные системы управления электроприводов постоянного тока могут включать несколько связанных между собой контуров регулирования и реализуются с помощью специализированного микроконтроллера. Такое построение системы управления приводит к необходимости настройки параметров этих контуров, так как отклонение их от оптимальных настроек может привести к неудовлетворительной работе электропривода в технологическом процессе. Наличие высокопроизводительного микроконтроллера в составе преобразователя дает возможность обеспечить настройку контуров регулирования на заданные показатели качества, а также произвести программирование и реализацию основных функций управления электроприводом, обеспечивающих плавный пуск и торможение двигателя с заданным темпом, изменение направления вращения, стабилизацию скорости, регулирование и ограничение тока (момента) двигателя и другие функции.

### 1.1. Общие сведения о тиристорных преобразователях Sinamics DCM

Тиристорные преобразователи серии Sinamics DCM являются логическим продолжением серии преобразователей Simoreg DC Master [6] фирмы Siemens. Основной идеей обновления линейки тиристорных преобразователей является унификация всех преобразователей фирмы Siemens серии Sinamics.

Общими для этой серии являются следующие принципы:

1) применение модульной конструкции преобразователей, которая наиболее гибко реализована в преобразователях переменного тока

Sinamics S120 и выше. Модульная конструкция преобразователей позволяет более гибко подходить к проектированию систем электропривода, поскольку дает возможность отдельно выбирать элементы силовой части и модули управления с различными датчиками. Но это все в полной мере относится только к электроприводам переменного тока данной серии. В постоянном токе плата управления (CUD) является встроенной, и возможности расширения заключаются в наличии дополнительных слотов на плате, которые позволяют подключить дополнительный модуль управления (слот Advanced CUD) и коммуникационную плату PROFINET (CBE20). Дополнительный модуль управления может понадобиться для реализации сложных алгоритмов управления, таких как позиционные системы, управление моталкой, деление нагрузки между двигателями и др. Преобразователи Sinamics DCM также поддерживают общий для серии Sinamics интерфейс DRIVE-CLiQ, с помощью которого может осуществляться взаимосвязь между компонентами серии, а также производится подключение дополнительных устройств, например, модулей расширения входов выходов (TM15 и TM31) и модулей датчиков;

2) поддержка наиболее распространенных сетевых интерфейсов полевого уровня — PROFIBUS и PROFINET. Интерфейс PROFIBUS [7] является встроенным в основной модуль управления и выведен на разъем X126. Высокоскоростное подключение к сети PROFINET поддерживается с помощью опциональной платы CBE20. Также есть возможности подключения к преобразователям по интерфейсу USS (разъемы X178, X179). Использование промышленных сетей позволяет легко интегрировать преобразователи в общую систему автоматизации участка или предприятия;

3) использование свободно распространяемого программного обеспечения Starter для настройки параметров преобразователей, ввода в эксплуатацию и снятия динамических характеристик электропривода (<https://support.industry.siemens.com/cs/document/26233208/sinamics-micromaster-starter?pnid=13437&lc=en-WW>);

4) применение свободных функциональных блоков (Free functional blocks) [8], которые включают в себя следующие функции:

- логические функциональные блоки (И, ИЛИ, Исключающее ИЛИ, Инверсию);
- вычислительные функциональные блоки (сумматоры, множительные и делительные элементы, вычислители модули и др.);

- таймеры различных видов (формирование импульса, сжатие импульса, задержка включения, задержка выключения, удлинение импульса);
- функциональные блоки записи данных (RS-, D-триггер);
- функциональные блоки коммутации (бинарный, цифровой переключатель);
- регулирующие функциональные блоки (элементы ограничения, фильтры, интегрирующие, дифференцирующие элементы и другие динамические звенья).

Использование этих блоков позволяет существенно расширить функциональность преобразователя. Например, преобразователь при достаточном количестве входов и выходов может взять на себя функции логического контроллера. При необходимости количество входов и выходов можно увеличить за счет использования модулей расширения TM15 и TM31. Использование свободных функциональных блоков позволяет также существенно изменять структуру встроенной системы автоматического управления и даже реализовать свои алгоритмы управления в преобразователях серии Sinamics.

Нужно добавить, что для решения подобных задач у Siemens существует платный пакет Drive Control Chart (DCC), который в работе создает меньше нагрузки на центральный процессор и не имеет ограничений по максимальному числу блоков в программе (максимальное количество свободных блоков равно 52);

5) использование BICO-технологии, которая представляет многобитные и логические сигналы в виде бинекторов и коннекторов. Эта технология также применяется и в других сериях преобразователей Siemens и совместно со свободными функциональными блоками позволяет перестраивать связи системы управления и свободно оперировать различными сигналами. Элементы этой технологии будут рассмотрены далее;

6) использование интерфейса DRIVE-CLiQ для связи между компонентами электропривода и подключения внешних устройств. Интерфейс фирмы Siemens обеспечивает высокую скорость передачи до 100 Мбит/с и предназначен для подключения терминальных модулей TM15 и TM31, а также модулей датчиков.

За исключением этих особенностей, по структуре системы автоматического управления и настройке параметров новая серия Sinamics DCM практически не отличается от преобразователей предыдущего поколения Simoreg DC Master [6]. Так, практически все основные параметры преобразователей совпадают с тем исключением, что в новой серии перед номером параметра записывают цифру 50.

Например, если в преобразователе Simoreg DC Master номинальный ток двигателя задается в параметре P100, то в преобразователе Sinamics DCM в параметре P50100.

Такое соответствие позволяет инженерному персоналу предприятий без особых проблем перейти на новое оборудование.

С точки зрения силовых цепей преобразователь обмотки якоря является двухкомплектным реверсивным тиристорным преобразователем с раздельным управлением. Каждый комплект выпрямителя выполнен по трехфазной мостовой схеме. Может также использоваться однофазная схема выпрямления.

Для обмотки возбуждения используется несимметричный однофазный однокомплектный преобразователь с напряжением питания 380 В. Схема силовых цепей преобразователя упрощенно представлена на рис. А.1. На рисунке первый комплект, обеспечивающий направление тока при условном направлении вперед, реализован на тиристорах VS1–VS6, соответственно второй комплект, обеспечивающий обратное направление тока, — на VS7–VS12.

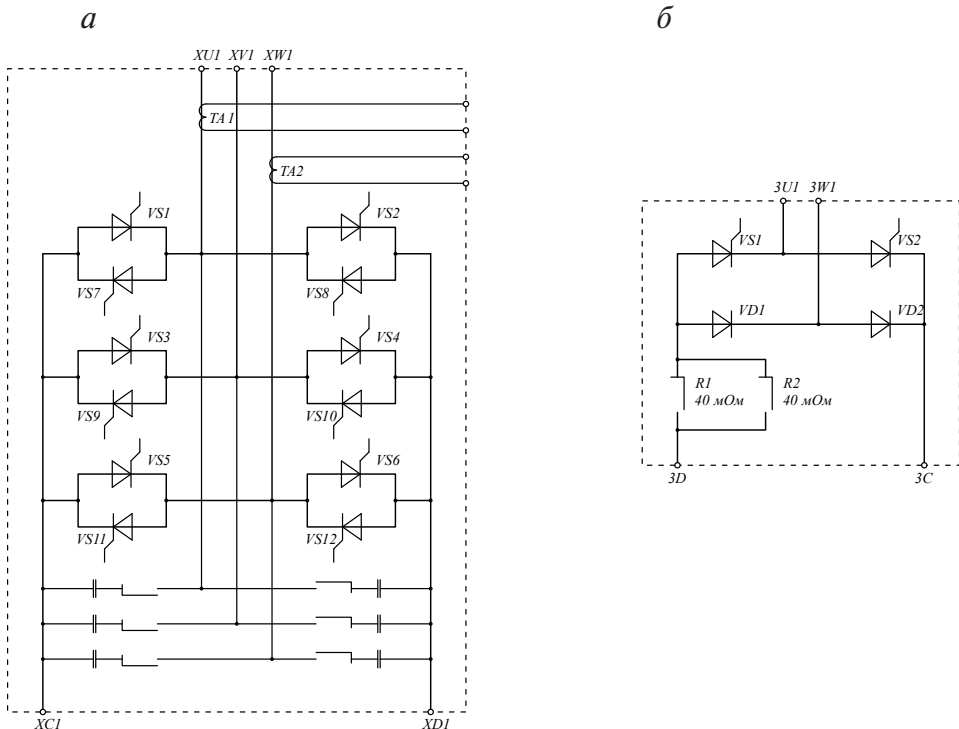


Рис. А.1. Упрощенная схема якорной цепи (а) и цепи возбуждения (б) преобразователя Sinamics DCM

Важно отметить, что схемы силовых цепей могут иметь некоторые отличия в зависимости от мощности преобразователя.

Схема подключения модуля управления представлена на рис. А.2 [3]. На основном блоке управления (CUD) имеется 4 дискретных входа, 4 дискретных выхода, 4 двунаправленных входа-выхода, 4 аналоговых входа и 2 аналоговых выхода.

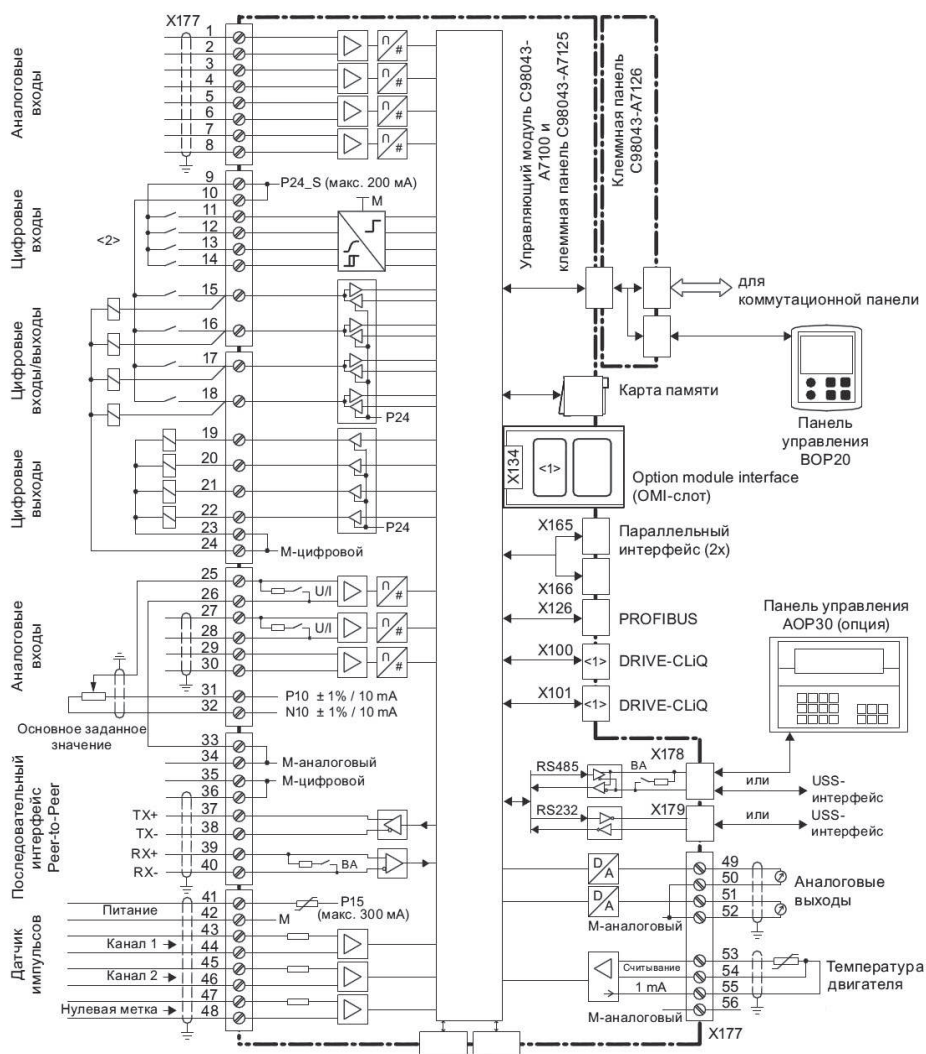


Рис. А.2. Схема подключения платы управления

На преобразователе существуют встроенные клеммы для подключения импульсного датчика скорости (X177, клеммы 41–48) и аналогово-

го тахогенератора с максимальным напряжением 270 В (ХТ1, клеммы 103–104). Датчики тока являются встроенными и подключены через трансформаторы тока (ТА1 и ТА2) на стороне сетевого напряжения.

Плата управления имеет встроенный источник питания с напряжениями ( $\pm 10$ ) В и 24 В, что позволяет упростить управление дискретными и аналоговыми входами. Также на плате имеется разъем для подключения внешнего датчика температуры двигателя для контроля его теплового состояния.

Преобразователи Sinamics DCM также снабжены разъемом для карт памяти стандарта CF, с помощью которых можно сохранять программы и переносить их на другие устройства. На карте памяти может также храниться дополнительное программное обеспечение для расширения функциональных возможностей преобразователя (например, библиотека Drive Control Chart для графического программирования замкнутых систем управления).

## 1.2. Коммуникационная плата PROFINET CBE20

Интерфейс PROFINET объединяет преимущества полевой шины PROFIBUS и промышленного Ethernet и находит все более широкое распространение. С помощью интерфейса можно осуществлять параметрирование и запуск преобразователя в программе Starter, а также использовать преобразователь как ведомое устройства в сети с управлением от логического контроллера. Коммуникация в сети PROFINET осуществляется по широко известному протоколу TCP/IP, который хорошо зарекомендовал себя в сети Интернет.

Преобразователь Sinamics DCM не имеет встроенного интерфейса PROFINET, но его можно получить с использованием коммуникационной платы CBE20, которая вставляется в слот расширения основного блока управления. Внешний вид платы представлен на рис. А.3.

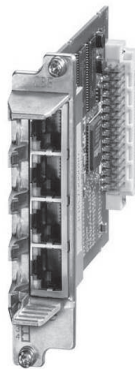


Рис. А.3. Плата связи CBE20

Важно отметить, что если плата связи CBE20 вставлена в соответствующий разъем на модуле CUD, то коммуникация по сети PROFIBUS становится невозможна.

Плата в своем составе имеет четыре разъема RJ45. Каждый разъем снабжен светодиодной индикацией, которая используется для диагностики подключения. Также на плате предусмотрен светодиод Fault, который позволяет диагностировать ошибки в работе [3].

### 1.3. Терминальный модуль TM31

Терминальный модуль TM31 крепится на стандартную DIN-рейку и предназначен для расширения количества аналоговых, дискретных входов и выходов преобразователя.

Внешний вид модуля схематично представлен на рис. А.4.

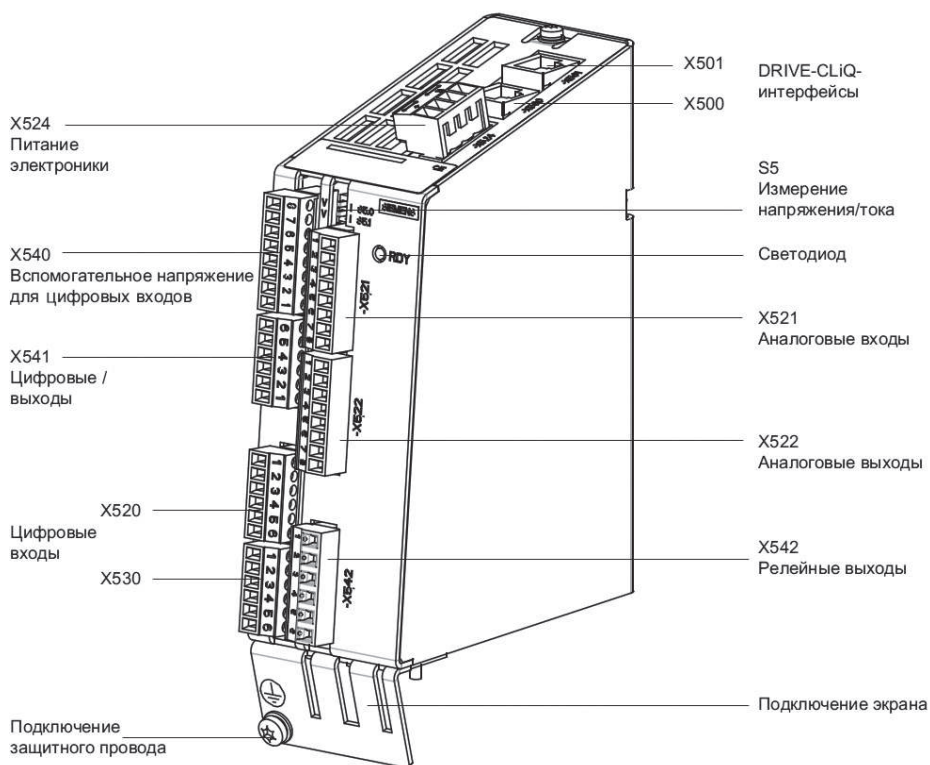


Рис. А.4. Терминальный модуль TM31 [3]

Модуль расширения входов и выходов имеет в своем составе:

- два аналоговых входа;
- два аналоговых выхода;

- восемь дополнительных дискретных входов;
- четыре двунаправленных дискретных входа-выхода;
- два релейных дискретных выхода с максимальным током переключаемой нагрузки 8 А (~230 В).

К преобразователю Sinamics DCM терминальный модуль подключается с помощью интерфейса DRIVE-CLiQ. После его подключения и подачи внешнего питания +24 В на модуль, интерфейс можно добавить как дополнительное устройство в проекте Starter.

Важно отметить, что если модуль TM31 был подключен и настройки проекта Starter сохранены в энергонезависимую память, то при последующем включении стенда необходимо также подключить к преобразователю модуль расширения и подать на него питание, иначе будет выведено сообщение об ошибке **F03590** (модуль не готов).

На модуле предусмотрена светодиодная индикация, позволяющая оценить возможные неисправности.

## 2. НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ SINAMICS DCM

При использовании в электроприводах преобразователя Sinamics DC Master настройка параметров (параметрирование) микропроцессорной системы управления может производиться с использованием базовой панели управления (BOP20 — Basic operator panel), расширенной панели оператора (AOP30 — Advanced operator panel) и персонального компьютера с программным обеспечением Starter.

### 2.1. Настройка параметров преобразователя с помощью базовой панели управления

Базовая панель управления (BOP20) поставляется вместе с преобразователем. Она расположена на лицевой стороне преобразователя и состоит из дисплея и шести клавиш для параметрирования и запуска электропривода. С помощью клавиш BOP20 обеспечивается доступ к параметрам системы управления электропривода для конфигурирования ее структуры и настройки параметров. Выбранные номера параметров и значения установленных параметров выводятся на экран

панели управления. Общий вид базовой панели оператора показан на рис. А.5 [3].

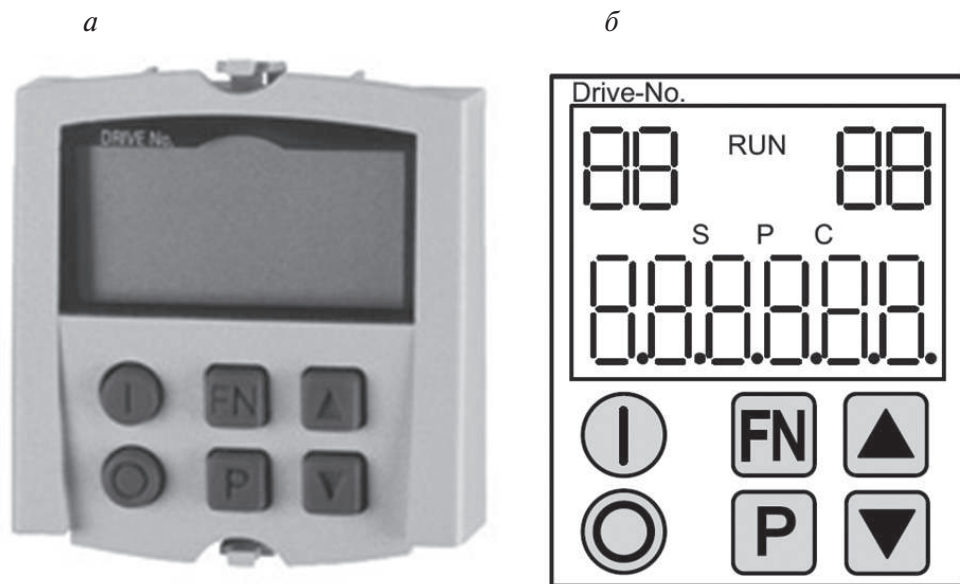


Рис. А.5. Внешний вид (а) и схематичное изображение (б) базовой панели управления BOP20 [3]


Для отображения текущего состояния электропривода, номеров и значений параметров на базовой панели оператора предусмотрен дисплей (рис. А.5, б) с несколькими областями, назначение которых представлено ниже:


- верхнее левое поле — отображается активный объект системы привода. В типовом проекте существует два устройства: коммуникационная плата CBE20 (01), плата системы управления (02);
- Run (верхнее среднее поле) отображается, если один из электроприводов в проекте запущен (бинектор r0899.2);
- верхнее правое поле отображает следующие обозначения:
  - свыше 6 цифр — знаки, которые имеются еще, но находятся вне поля зрения;
  - неисправности — сбой при выборе или индикации других приводов;
  - условное обозначение входов бинекторов и коннекторов (bi, ci);
  - условное обозначение выходов бинекторов и коннекторов (bo, co);

- объект — источник соединения ВІСО с другим объектом системы привода (помимо активированного);
- шестизначное поле в центре отображает номер параметра, индекс параметра и его значение;
- S — загорается, если значение измененного параметра еще не записано в энергонезависимую память (ROM);
- P — загорается при входе в соответствующий параметр.


Дисплей имеет фоновую подсветку, длительность работы которой можно установить в параметре P0007.


Назначение клавиш панели управления следующее.


 Однократное нажатие клавиши позволяет зайти в выбранный параметр или в его индекс. Также она используется для подтверждения значения параметра и выхода из параметра. При нажатии этой кнопки в течение 3 с выполняется функция **Копирование из RAM в ROM**. Индикация S на дисплее ВОР исчезает.

 Клавиша увеличения номера параметра, индекса или значения параметра. Удержание кнопки приводит к ускорению роста значений.

 Клавиша уменьшения номера, индекса или значения параметра.

 Клавиша используется для сброса ошибок преобразователя (квитирование неисправности) и переключения между устройствами в проекте (**Fn + «Вверх»** или **«Вниз»**). Например, для переключения между параметрами платы управления и коммуникационной платы.

 Подача команды на включение привода (устанавливается бинектор r0019.0).

 Подача команды на отключение привода (сбрасываются бинекторные выходы r0019.0, r0019.1 и r0019.2; после отпускания кнопки бинекторные выходы r0019.1 и r0019.2 снова устанавливаются на сигнал «1»). Сигналы бинекторов можно использовать, например, для запуска и остановки нескольких электроприводов.

Коннекторы и бинекторы являются основой ВІСО-структуры (BInnector COnnector), представляющей собой набор правил, на основе которых осуществляется связь между отдельными функциональными блоками в преобразователях фирмы Siemens.

С помощью коннекторов и бинекторов в преобразователях Siemens возможно изменять связи в структуре системы управления. Изменения производятся с помощью установки соответствующих параметров. Описание основных элементов ВІСО-структуры таково.

—► **r53150.4** *Бинектор (бинекторный выход)* — логический дискретный сигнал, который может принимать значения 0 или 1. Используется для передачи логических сигналов как внутри преобразователя, так и для внешних цепей. Форма записи: rXXXXX.Y, где XXXXX — номер бинектора, Y — номер индекса параметра.

—► **r52134** *Коннектор (коннекторный выход)* — 16- или 32-битный сигнал, образованный внутри программы или преобразованный из аналогового в дискретный. Форма записи: rXXXXX, где XXXXX — номер коннектора.

P50695(0)	) В	— <i>Бинекторный вход.</i> В скобках — заводская установка.

P50696	) (0)	.00 .01 .02	— <i>Бинекторный вход с индексной областью</i> осуществляет выбор бинектора с помощью индексированного параметра. В скобках — заводская установка. Такой вход предоставляет возможность выбирать один из подключаемых бинекторов с помощью индекса.

P50607	) (52148)	— <i>Коннекторный вход.</i> В скобках — заводская установка.

P50605	) (52002)	.00 .01 .02 .03 .04	— <i>Коннекторный вход с индексной областью</i> — выбор коннектора с помощью индексированного параметра. В скобках — заводская установка. Этот вход обеспечивает возможность выбирать один из подключаемых коннекторов с помощью индекса.

В технической документации на преобразователь [4] существует специальный раздел с функциональными схемами, в котором систе-

ма управления преобразователем показана с использованием ВІСО-технологии.

Использование ВІСО-технологии совместно со свободными функциональными блоками (Free functional blocks) дает проектировщику гибкий инструмент для построения систем автоматического управления электроприводом.

Среди свободных функциональных блоков можно найти практически все логические функции (И, ИЛИ, НЕ и т. д.), свободные ПИД-регуляторы и другие динамические звенья, таймеры, счетчики, звенья для ограничения переменных, сумматоры, множительные звенья, делители и другие элементы.

На рис. А.6 показано схематичное деление всех параметров преобразователя на две большие группы **Р** и **г** [3]:

- параметры только для чтения (**Р** — параметры для наблюдения);
- параметры, которые можно изменять (**г** — настраиваемые параметры).



Рис. А.6. Типы параметров

Параметры для наблюдения (**г** — «*read*» — «чтение») используются для отображения текущих значений переменных электропривода (аналоговых и бинарных сигналов управления, напряжений, токов в силовых цепях электропривода и т. д.), а также выходов бинекторов и коннекторов.

Параметры для наблюдения предназначены только для чтения и не могут быть изменены. В программе Starter, которая описывается далее, такие параметры выделены желтым цветом (см. рис. А.7).

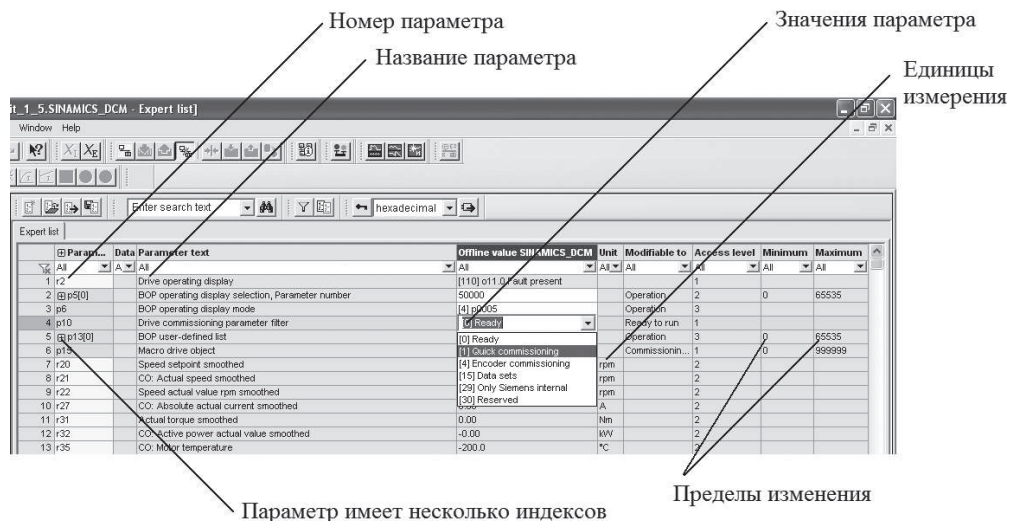


Рис. А.7. Представление параметров в программе Starter

Ниже приведены наиболее важные параметры отображения для преобразователя Sinamics DCM:

r0002 — статус преобразователя (выборочно) — o4.x — ожидание напряжения на якоре; o5.x — ожидание тока возбуждения; o7.x — ожидание команды включения (**o7.0** — работа с дискретных входов; **o7.1** — работа через программу Starter); o11.x — ошибка;

r0020 — заданная частота вращения двигателя (сглаженная), об/мин;  
r0021 — действительная частота вращения двигателя (сглаженная), об/мин;

r0027 — значение тока якоря (сглаженное), А;

r0031 — действительное значение момента (сглаженное), Н·м;

r0060 — заданная частота вращения двигателя до фильтра, об/мин;

r0063 — действительная частота вращения двигателя, об/мин;

r0068 — действительное значение тока якоря, А;

r0080 — действительное значение момента, Н·м;

r50018 — угол управления по якорной цепи, градус;

r50019 — действительное значение тока якоря, % от P50100;

r50020 — заданное значение тока якоря, % от P50100;

- r50021 — значение заданного момента двигателя, %;
- r50035 — действительное значение тока возбуждения, %;
- r50037 — значение ЭДС двигателя, В;
- r50039 — заданное значение ЭДС двигателя, В;
- r50038 — значение напряжения на якоре двигателя, В.

Нужно отметить, что сглаженные значения пропускаются через фильтр с постоянной времени 100 мс и удобны для просмотра переменных в реальном времени, несглаженные значения удобно выводить на экран осциллографа для более точного отображения переменных.

Настраиваемые параметры (P) используются как для отображения, так и для изменения параметров преобразователя, например, номинальных и максимально допустимых значений токов и напряжений в силовых цепях электропривода, коэффициентов усилений регуляторов и т. п. В программе Starter параметрам установки соответствуют зеленый, синий и голубой цвета. Причем синий и голубой цвета используются для выбора бинекторов и коннекторов соответственно.

Кроме того, параметры отображения и параметры индикации могут иметь несколько индексов. Такие параметры называются индексированными — одному номеру параметра можно присвоить несколько значений, которые записываются в разные индексы.

В технической документации индекс параметра отделяется от номера точкой. Например, обозначение параметра P076 означает, что в параметре P076 нужно выбрать первый индекс [1]. По умолчанию значения параметров берутся из нулевого индекса, но индекс можно переключить даже во время работы преобразователя, например, по дискретному входу с использованием слова управления. Это может использоваться, например, для изменения настроек регуляторов во время работы. На рис. А.7 параметры P5 и P13 имеют несколько индексов.

Индексированные параметры в преобразователях Siemens делятся на два типа:


- *CDS — Command Data Set* — в этих параметрах можно задать различные источники команд, которые можно переключать во время работы электропривода;
- *DDS — Drive Data Set* — параметры отвечают за настройки системы автоматического управления и также могут меняться во время работы.

## 2.2. Настройка параметров преобразователя с помощью программного обеспечения Starter

Связь преобразователя с персональным компьютером на лабораторном стенде организована через коммуникационную плату CBE20 с интерфейсом PROFINET.

Перед включением стенда необходимо подключить преобразователь к компьютеру с помощью сетевого перекрестного кабеля. Затем произвести включение преобразователя и только после этого осуществить включение компьютера.

Программа Starter позволяет осуществлять параметрирование преобразователя и снятие осциллограмм переходных процессов в электроприводе Sinamics DCM.

Для начала работы нужно открыть любой существующий проект или создать новый с преобразователем Sinamics DCM. После этого необходимо нажать кнопку обнаружения доступных устройств в сети  (**Accessible nodes**), и на экране монитора появится окно с обнаруженными устройствами.

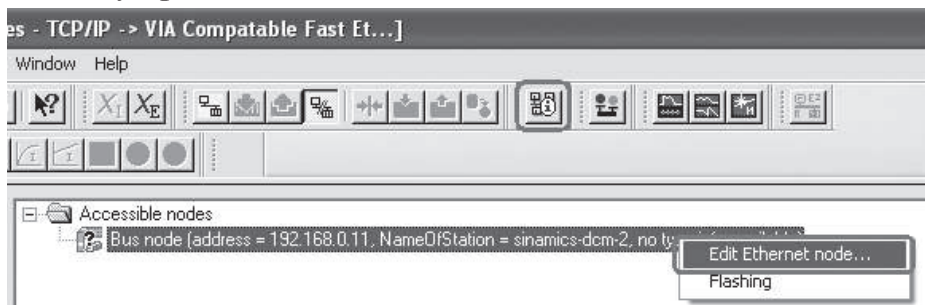


Рис. А.8. Настройка связи между программой Starter и преобразователем

Если никаких устройств в сети не обнаружено, то нужно проверить параметры связи **Set PG/PC Interface** в строке меню **Options**, в частности, выбрать используемый сетевой адаптер и в качестве устройства указать программу STARTER (рис. А.9).

После успешного определения преобразователя как устройства в сети, если слева от него присутствует иконка со знаком вопроса (рис. А.8), необходимо заново прописать адрес и имя устройства в сети (рис. А.10). При этом желательно, чтобы адрес преобразователя лежал в той же подсети, что и адрес компьютера. Иначе при поиске устройств будет выведено сообщение.

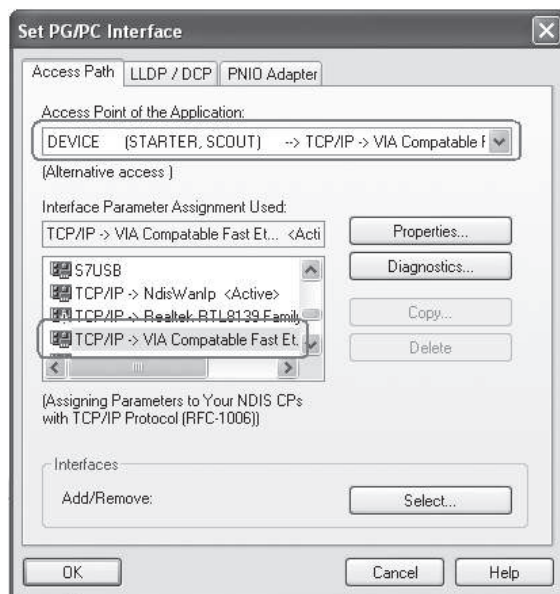


Рис. А.9. Параметры настройки связи с преобразователем через сетевую плату

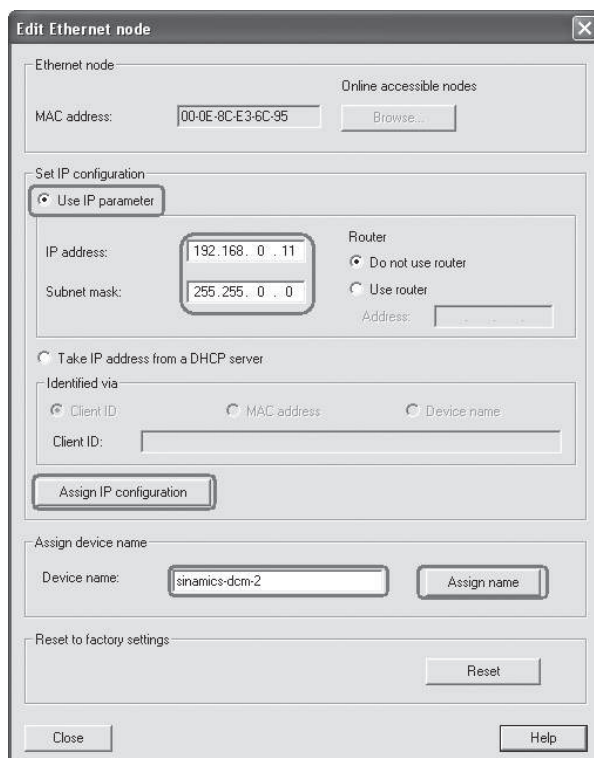


Рис. А.10. Введение сетевого адреса преобразователя и его имени

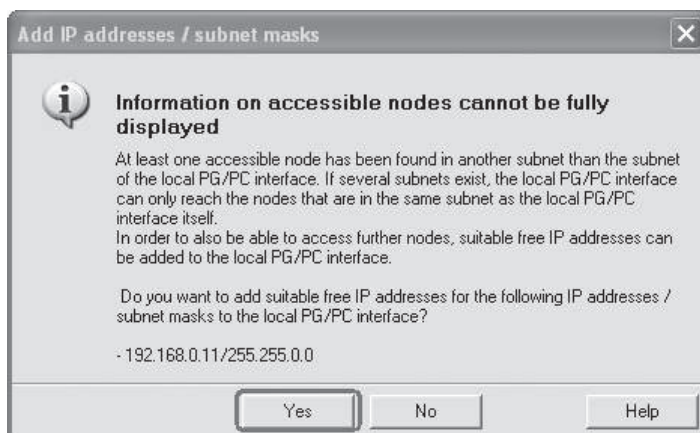


Рис. А.11. Предложение добавить IP-адреса в PG/PC-интерфейс

В таком случае необходимо подтвердить добавление адресов (рис. А.11) и повторить поиск устройств в сети.

После того как назначено имя преобразователя в сети и его адрес, необходимо обновить информацию об устройстве (**Update**), установить галочку напротив преобразователя и нажать кнопку «Принять» (**Accept**) (рис. А.12).

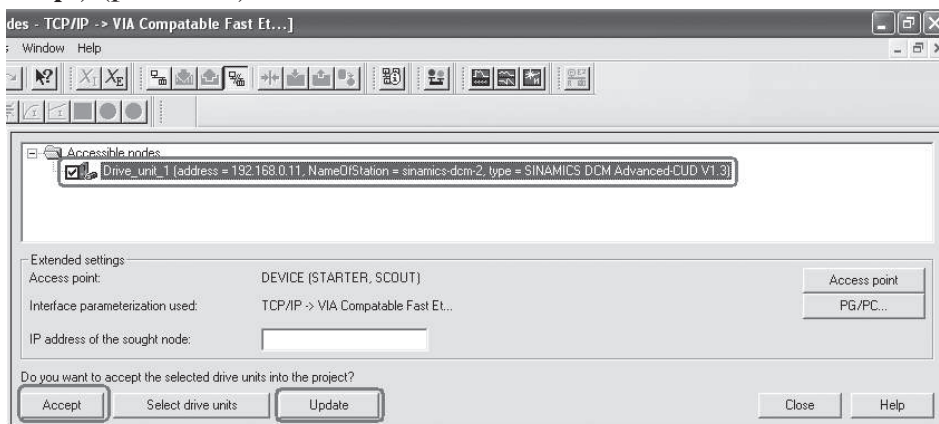


Рис. А.12. Добавление устройства в проект Starter

На данном этапе может появиться окно (рис. А.13), которое предлагает выбрать проект (Unassigned devices), к которому необходимо подключить обнаруженное устройство (Assigned devices).

Подключиться к устройству можно с помощью кнопки **Connect to assigned devices**.

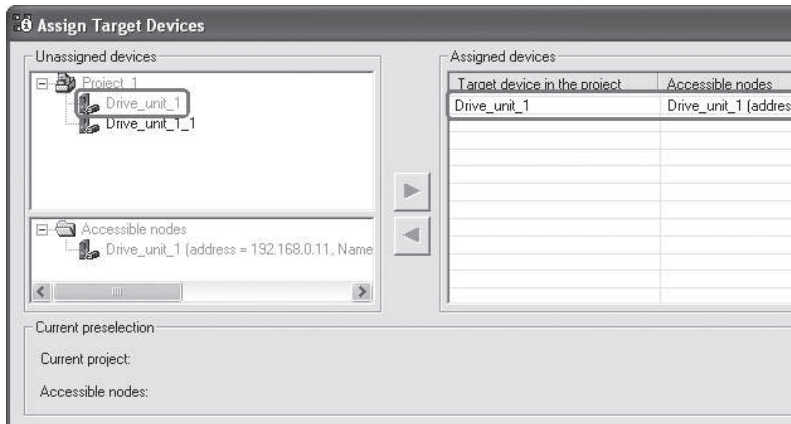


Рис. А.13. Выбор проекта, к которому необходимо подключиться

После подключения к преобразователю обычно возникает окно сравнения проектов, в котором показано, что параметры преобразователя (Online) и проекта Starter (Offline) не совпадают (рис. А.14). Для устранения этого конфликта можно выбрать два варианта:

- загрузить данные из проекта в преобразователь (**Download**);
- загрузить параметры преобразователя в проект (**Load to PG**).

На первоначальном этапе настройки второй вариант является более предпочтительным.

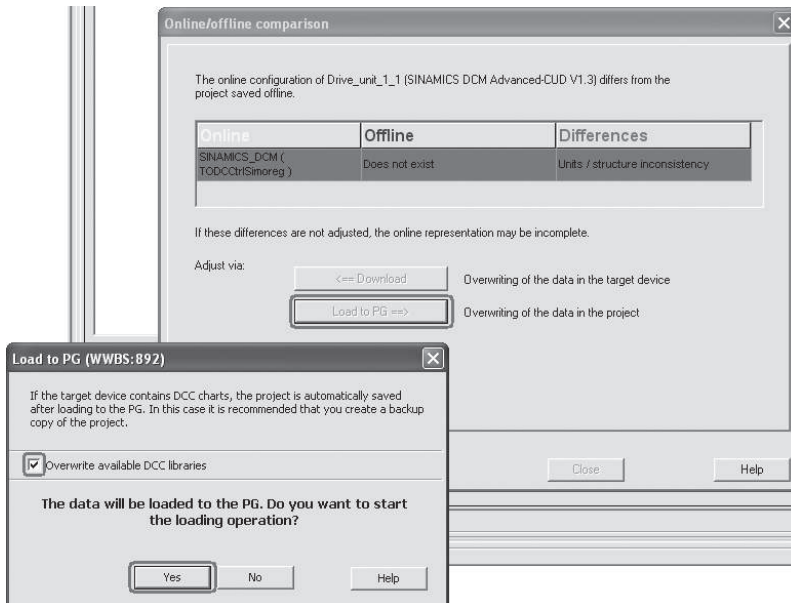


Рис. А.14. Сравнение проектов в преобразователе и программе Starter

После соединения с преобразователем в правом нижнем углу окна появится обозначение **Online Mode** (рис. А.15). В левой части экрана активный проект включает в себя два устройства: коммуникационную плату CBE20 и непосредственно плату управления преобразователем (CUD). Напротив неактивного проекта появляется обозначение с разрывом связи, отмеченное красными цветом, рядом с активным проектом и подключенными устройствами появляется зеленый символ соединения.

Для того чтобы вывести весь список параметров преобразователя, необходимо нажать кнопку **Expert list** в списке слева.

Важно отметить, что коммуникационная плата имеет также свой список параметров (Expert list), который предназначен для настройки ее параметров. Поэтому во время работы не следует путать эти два списка.

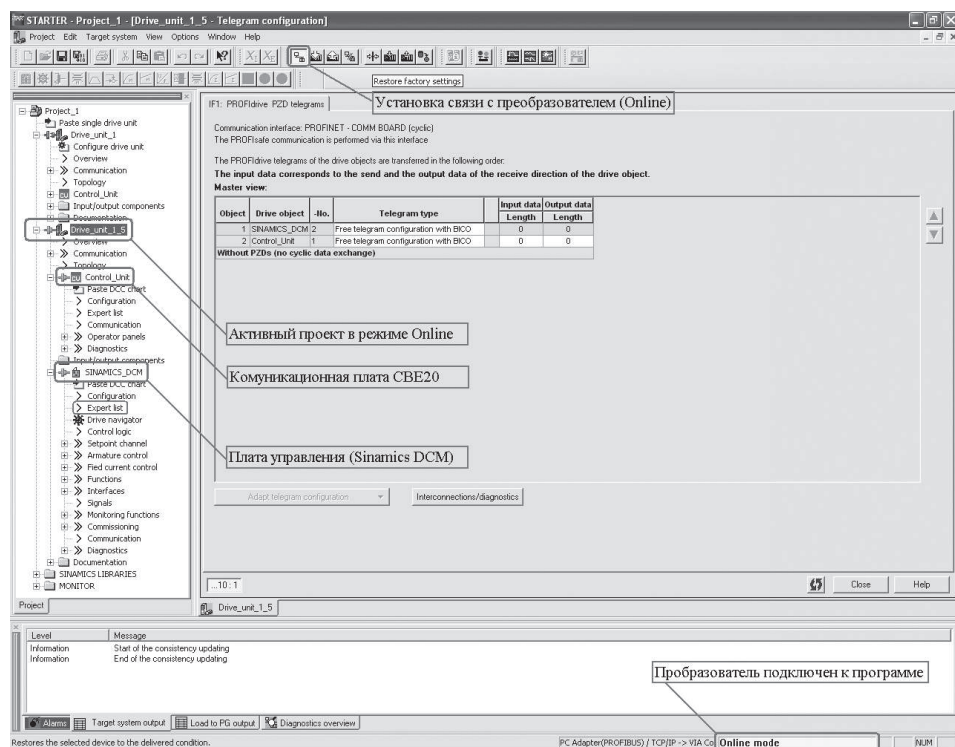


Рис. А.15. Главное окно программы Starter в режиме Online

При разрыве связи с преобразователем, для повторного подключения нужно нажать кнопку **Online** в верхней части экрана либо нажать правой кнопкой на проекте и выбрать **Connect to target device** (рис. А.16).

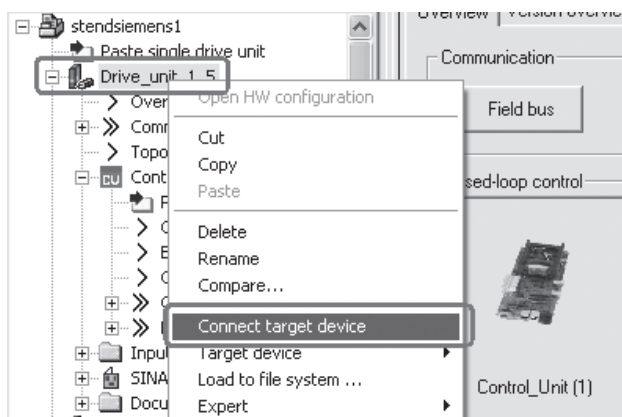


Рис. А.16. Подключение к выбранному проекту Starter

Таким же способом можно отключиться от устройства.

В программе Starter используются функциональные схемы, которые позволяют интуитивно провести настройку электропривода без обращения к технической документации. Так, на рис. А.17 представлена функциональная схема, демонстрирующая канал задания на скорость и задатчик интенсивности.

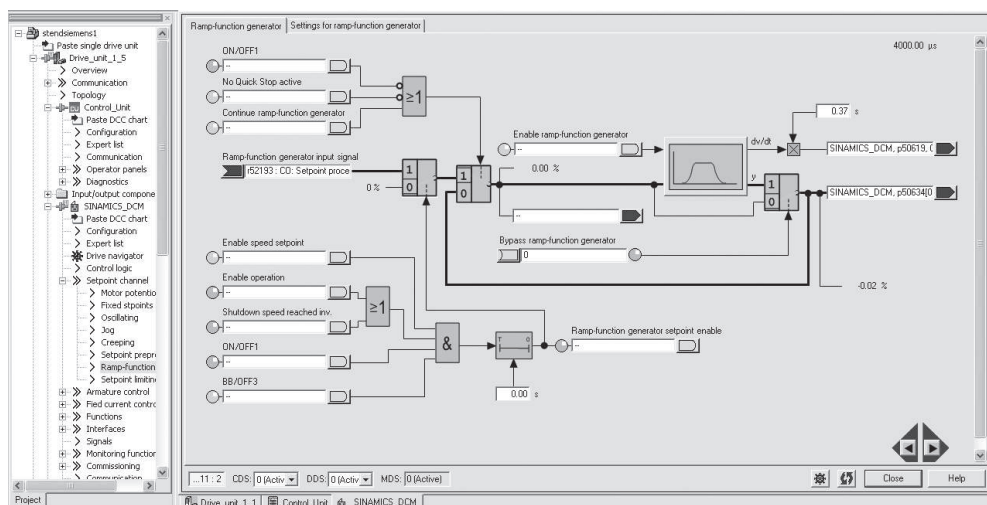


Рис. А.17. Функциональные схемы в программе Starter

В режиме Online на схеме отображается состояние дискретных и аналоговых сигналов. При подаче дискретного сигнала на вход пре-

образователя в программе Starter на функциональной схеме загорается соответствующий светодиод. Также можно в реальном времени увидеть, например, значение сигнала на выходе датчика интенсивности. На рис. А.17 это значение составляет  $-0,02\%$ , что говорит о том, что задание практически отсутствует. Также на схемах используются различные переключатели, логические элементы, множительные звенья и другие элементы, поясняющие работу системы управления.

Связи между различными блоками организованы с помощью коннекторов, которые выделены темно-синим цветом в программе. Подключение логических двоичных сигналов осуществляется с помощью бинекторов, которые обозначены в программе голубым цветом. При необходимости связи между различными элементами могут быть переназначены.

При нажатии на значок датчика интенсивности появится окно с его параметрами (рис. А.18), в котором можно задать время разгона и торможения электропривода, а также параметры сглаживания кривой разгона.

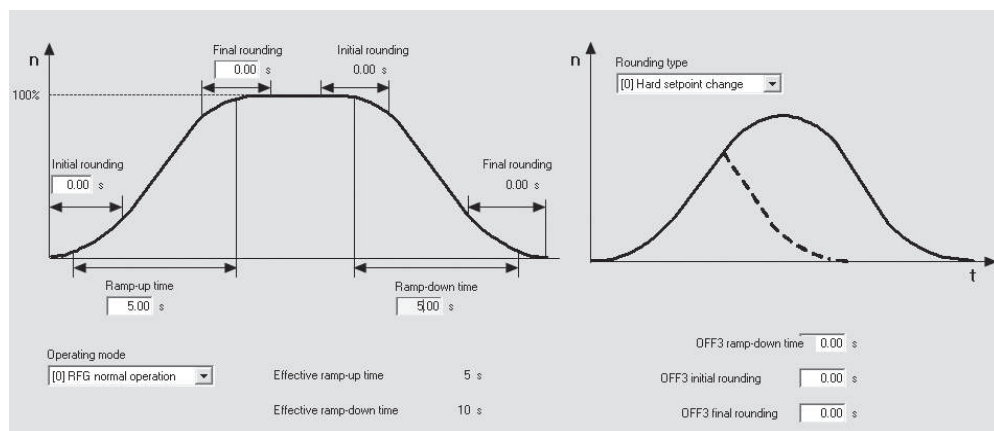


Рис. А.18. Окно настройки параметров датчика интенсивности

Аналогичные схемы существуют и для других важных элементов системы автоматического управления, например, для регуляторов тока и скорости.

Для запуска двигателя через программу предусмотрена специальная панель управления (**Control panel**), которая располагается во вкладке **Commission** (рис. А.19).

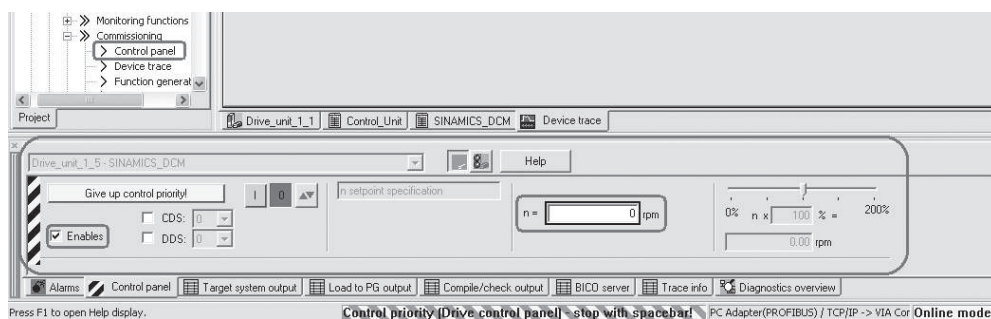


Рис. А.19. Панель для запуска электропривода через программу Starter

Для начала управления электроприводом через программу необходимо нажать клавишу **Assume control priority** и согласиться с предупреждением об опасности работы через программу. После этого подается команда на разрешение работы путем установки галочки **Enables**. Затем можно задавать скорость двигателя в оборотах в минуту и производить запуск и остановку электропривода с помощью кнопок **Пуск** и **Стоп** . Для реверса электропривода необходимо задать отрицательное значение скорости.

Важно отметить, что, в отличие от преобразователя Simoreg DC Master [6], для управления электроприводом через программу в преобразователе Sinamics DCM не нужно устанавливать какие-либо дополнительные параметры.

### 2.3. Методика снятия осциллограмм переходных процессов с помощью программы Starter

Для преобразователей Sinamics DCM в программе Starter предусмотрена возможность снятия осциллограмм переходных процессов в электроприводе. Для перехода в режим снятия осциллограмм необходимо нажать кнопку **Trace**. После этого в программе Starter откроется соответствующая вкладка (рис. А.20).

Перед запуском осциллографа необходимо выбрать переменные для отображения на экране (рис. А.21). Основные переменные, которые можно вывести на экран осциллографа, были представлены на с. 16–17.

После выбора переменных необходимо выбрать режим записи осциллограмм (Meas. value acquisition) (рис. А.20).

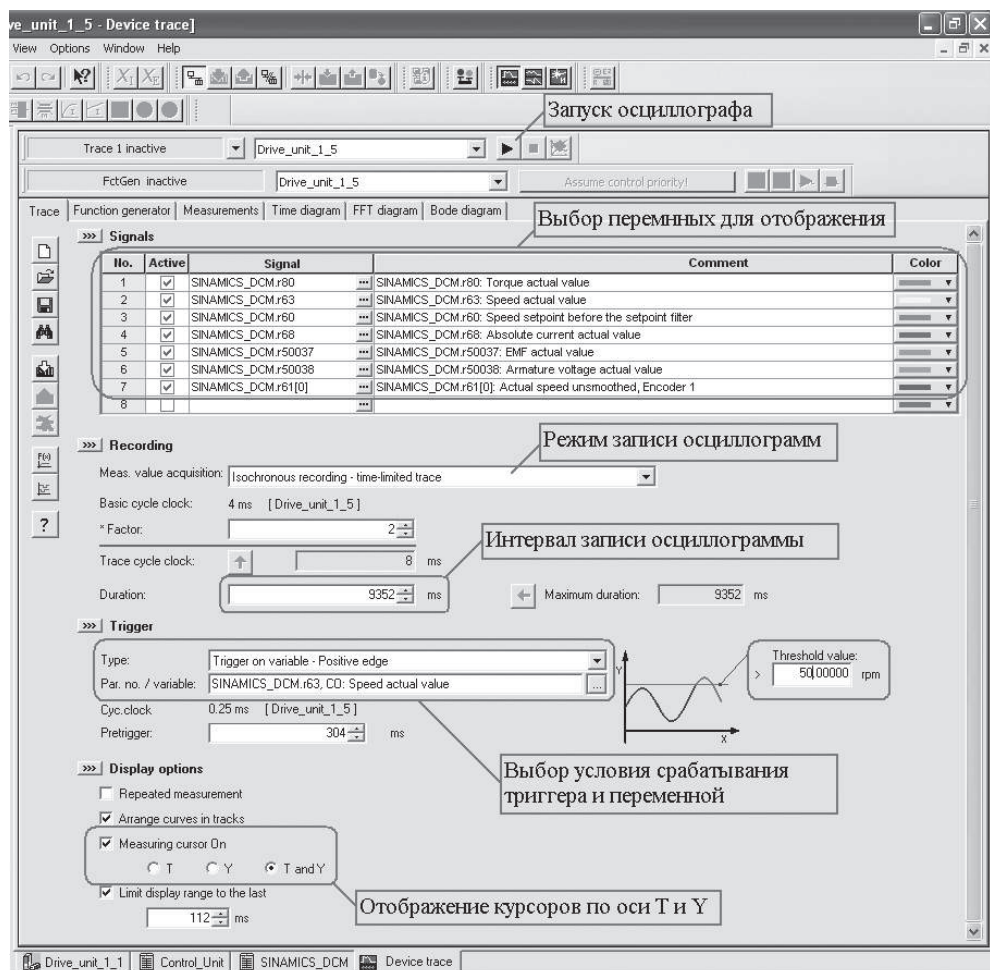


Рис. А.20. Настройка параметров осциллографа в программе Starter

Наиболее удобным на практике является ограниченный по времени изохронный режим записи (**Isochronous recording — time-limited trace**), который при срабатывании условия записывает переходный процесс и останавливается. Продолжительность записи переходного процесса задается в поле Duration. Продолжительность записи зависит от количества выбранных переменных и может также регулироваться с помощью множителя Factor. Увеличение множителя удлиняет продолжительность записи осциллограммы, но укорачивает шаг между измерениями — Trace cycle clock.

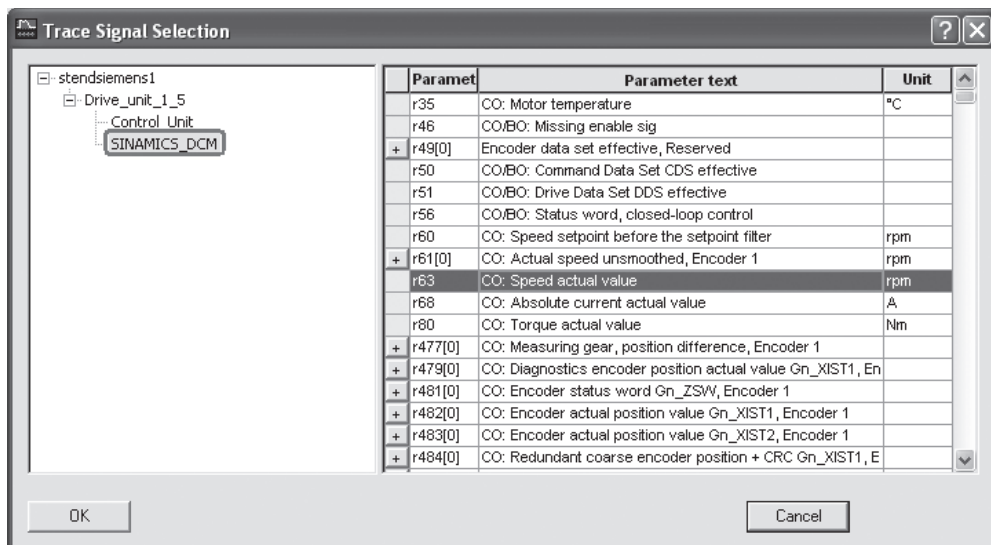


Рис. А.21. Выбор переменных для осциллографа

На следующем этапе выбирается условие (**Trigger**), при выполнении которого начинается запись осциллограммы. В примере, представленном на рис. А.20, в качестве условия выбран режим **Trigger on variable — Positive edge**, который инициирует запись осциллограммы при превышении значения выбранной переменной (Par. no./variable) заданного порогового значения (Threshold value). В поле Pretrigger устанавливается время, которое будет записано до срабатывания условия. Существуют также другие условия записи осциллограмм, например можно задать условие, что если переменная меньше порогового значения или значение переменной находится внутри заданного диапазона, то начинается процесс записи осциллограммы.

В области **Display options** можно вывести отображение курсоров (**Measuring cursors On**) по вертикальной и горизонтальной осям, а также выровнять переменные на графиках.

На рис. А.22 представлен график переходного процесса разгона электропривода от датчика интенсивности, который соответствует установкам, представленным на рис. А.20.

Момент срабатывания триггера показан вертикальной линией (красной), и на рисунке видно, что в момент начала записи скорость двигателя превысила значение 50 об/мин, как и было установлено в настройках. При этом продолжительность небольшого промежутка времени до красной линии и соответствует установке Pretrigger на 304 мс.

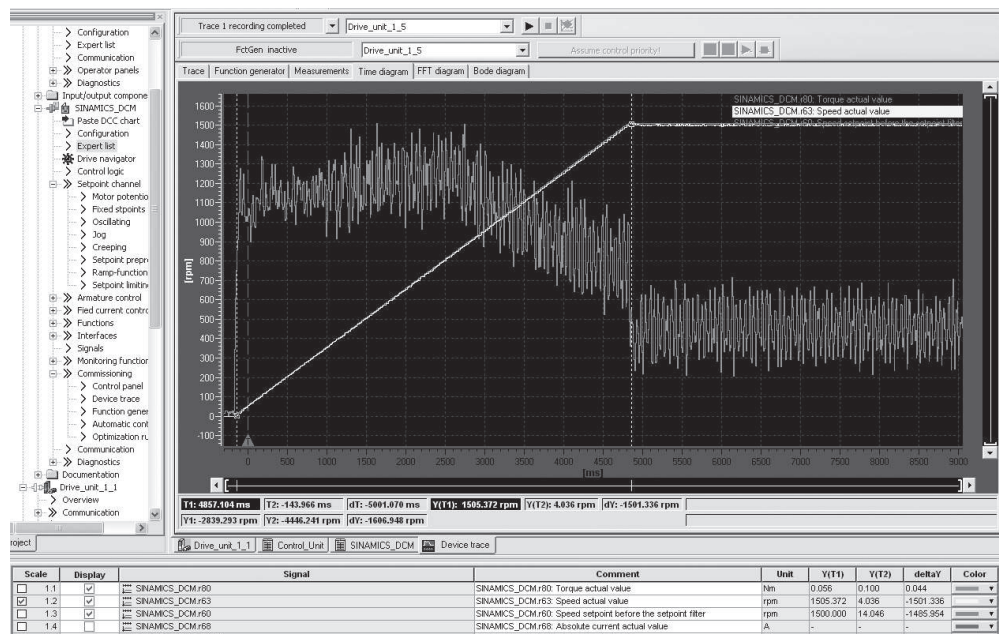


Рис. А.22. Графики переходных процессов в программе Starter

На графиках переходных процессов также показаны вертикальные курсоры, с помощью которых можно легко определить время переходного процесса (5001 мс), поскольку разность по времени между курсорами отображается в поле **dT** нижней части осциллограммы. Также в нижней части экрана отображаются координаты каждого из курсоров для выбранной переменной и разница по амплитуде **dY**.

Важно отметить, что масштаб по оси ординат отображается только для выделенной переменной, поэтому для оценки значений другой переменной необходимо ее выбрать в верхней правой части экрана.

В нижней части экрана присутствует область (см. рис. А.22), которая позволяет настроить внешний вид и цвета графиков переходных процессов и отключить лишние переменные.

Помимо широких функциональных возможностей по записи осциллограмм, в преобразователях серии Sinamics предусмотрен также генератор различных функций, который является удобным отладочным инструментом.

Попасть в интерфейс настройки генератора сигналов можно через вкладку **Function generator** в окне осциллографа (рис. А.23).

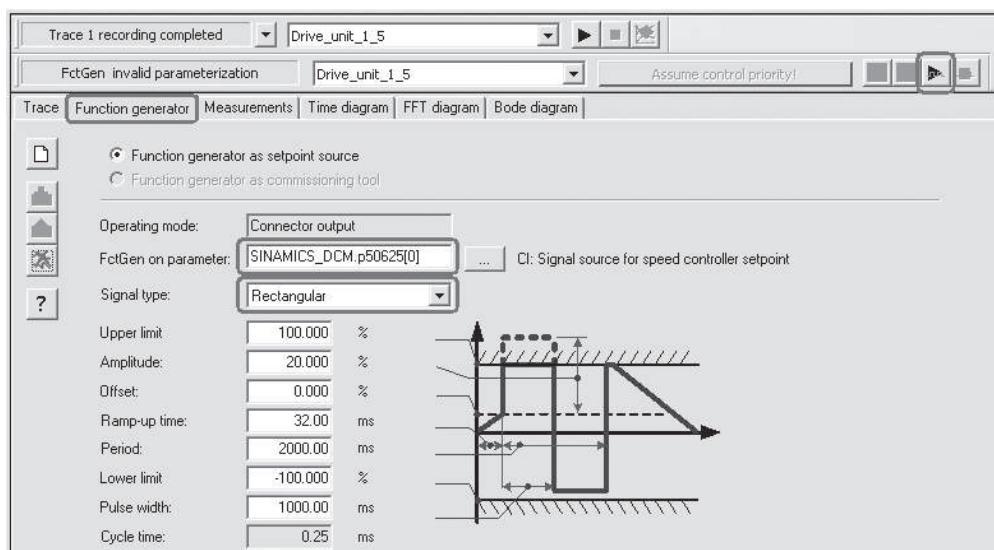



Рис. А.23. Настройка генератора сигналов в преобразователе Sinamics DCM

Генератор сигналов предназначен для формирования периодических сигналов различной формы, таких как прямоугольный, пилообразный, синусоидальный и др. Такие сигналы используются в качестве задающих при настройке внешних контуров системы управления и позволяют оценить реакцию контура на внешние управляющие воздействия.

Запуск генератора сигналов осуществляется с помощью кнопки  в верхней части экрана. Перед запуском необходимо выбрать вид сигнала (Signal type) и подключить генератор к входу соответствующего контура (FctGen on parameter) через входной коннектор. Для исследования процессов в контуре скорости необходимо выбрать входной коннектор **p50625 [0]** или другой.

Важно отметить, что при использовании генератора сигналов разрывается цепь канала задания на скорость и в нее включается генератор, во время загрузки параметров генератора в преобразователь возникает предупреждение (рис. А.24). Необходимо подтвердить изменение. После экспериментов можно вернуться в исходное состояние путем установки параметра **p50625 = 52170**.

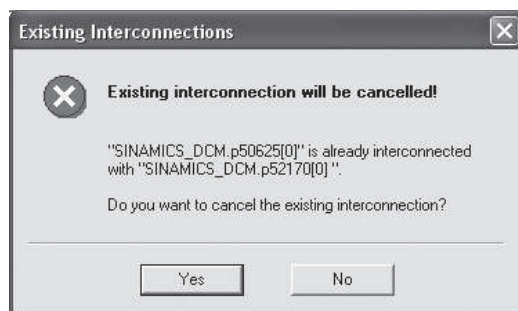


Рис. А.24. Предупреждение при загрузке параметров генератора сигналов в преобразователь

Параметры генератора сигналов схематично представлены на диаграмме в программе Starter, и сложностей с их настройкой обычно не возникает. Для вывода сигнала генератора на экран осциллографа можно использовать параметр **r4828**.

Во время работы необходимо помнить, что нельзя подавать на систему высокие уровни ступенчатых сигналов без установки ограничений по току и моменту двигателя.

При запуске электропривода от генератора сигналов появляется еще одно предупреждение (рис. А.25) о том, что электропривод будет вращаться и желательно предусмотреть аппаратный способ остановки на случай зависания компьютера.

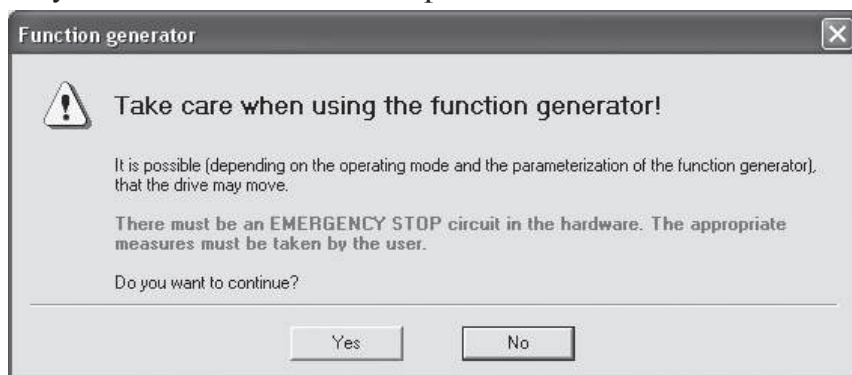


Рис. А.25. Предупреждение при запуске электропривода от генератора сигналов

На рис. А.26 схематично представлены графики переходных процессов в контуре скорости при работе от генератора прямоугольной формы. На рисунке задание на скорость двигателя имеет вид прямоуголь-

ника с амплитудой 20 % от номинальной скорости двигателя, скорость двигателя имеет показатели качества близкие к типовым.

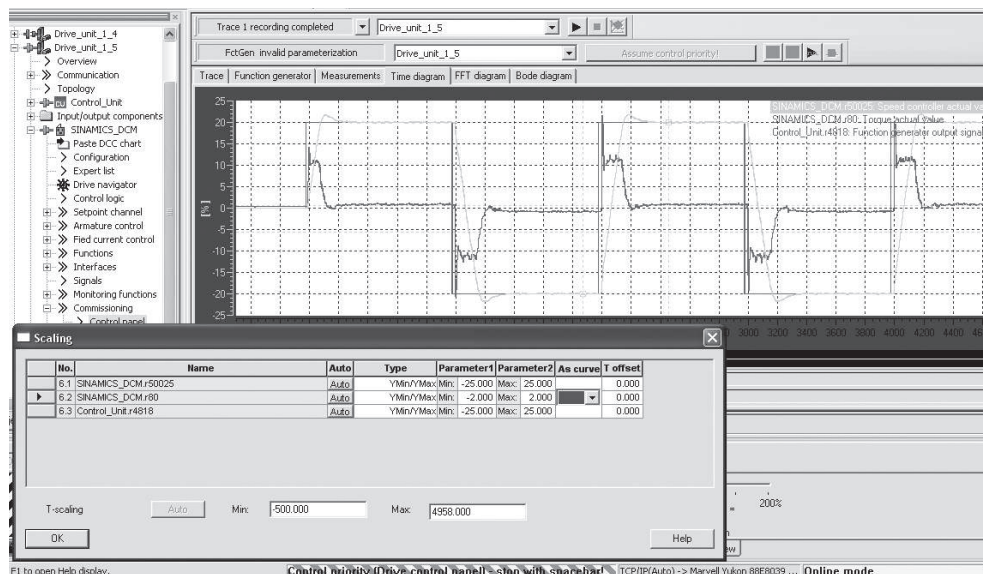


Рис. А.26. Реакция САР скорости на ступенчатое управляющее воздействие

Эти графики переходных процессов можно использовать для настройки контура скорости на модульный оптимум.

Важно отметить, что для настройки масштабов графиков по вертикальной оси нужно вызвать контекстное меню с помощью правой кнопки мыши и выбрать пункт меню **Scaling**. Для отображения скорости и задания на скорость в одинаковых масштабах нужно выбрать одинаковые максимальные и минимальные значения по оси ординат.

## 2.4. Подключение периферийных устройств в программе Starter (модуль TM31)

Для подключения платы связи CBE20 к проекту Starter нет необходимости выполнять какие-либо дополнительные действия, поскольку плата определяется и автоматически добавляется в проект.

Поэтому рассмотрим подключение внешних устройств на примере терминального модуля TM31, который подключается к преобразователю по интерфейсу DRIVE-CLiQ с помощью сетевого провода.

Для подключения необходимо использовать разъем X500 на терминальном модуле и X100 на процессорной плате преобразователя. Для доступа к разъему X100 необходимо снимать центральную крыш-

ку преобразователя, при этом желательно это делать при выключенном напряжении. Разъем X100 расположен за платой связи (рис. А.27).

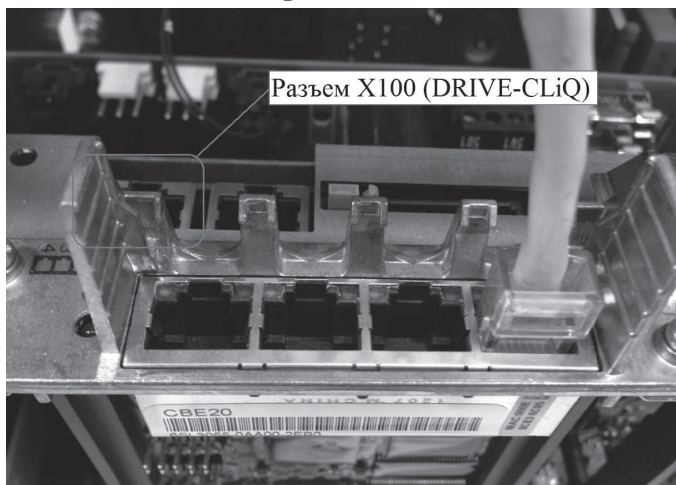


Рис. А.27. Расположение разъема X100 интерфейса DRIVE-CLiQ

Для того чтобы добавить модуль расширения входов-выходов в проект Starter, необходимо перейти в режим **Offline** и нажать правой кнопкой мыши на пункте **Input/Output component** (рис. А.28). В контекстном меню выбрать вставку нового объекта (**Paste new object**) и выбрать **Input/output component**.

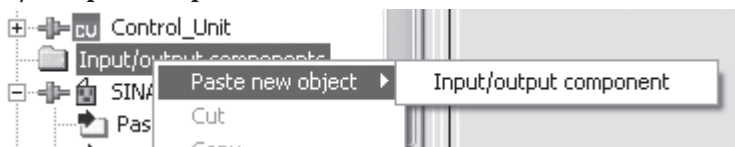


Рис. А.28. Добавление модуля расширения в проект

На следующем этапе необходимо выбрать тип модуля расширения TM31 и подтвердить выбор (рис. А.29).

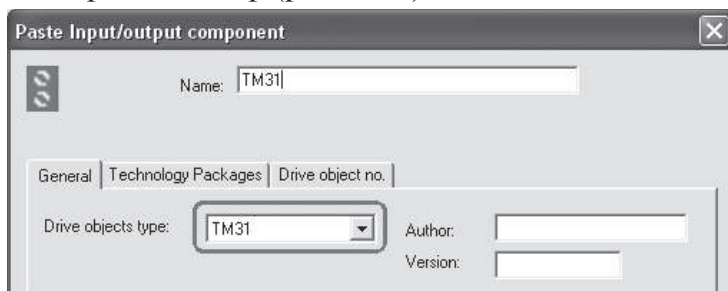



Рис. А.29. Выбор типа модуля расширения

Процесс добавления модуля завершен. После этого необходимо перейти в режим Online и загрузить проект в преобразователь с помощью кнопки .

Далее желательно протестировать модуль. Для этого можно воспользоваться диаграммой аналоговых либо дискретных входов и, переключая тумблеры на стенде, убедиться, что загораются соответствующие светодиоды в программе Starter (рис. А.30).

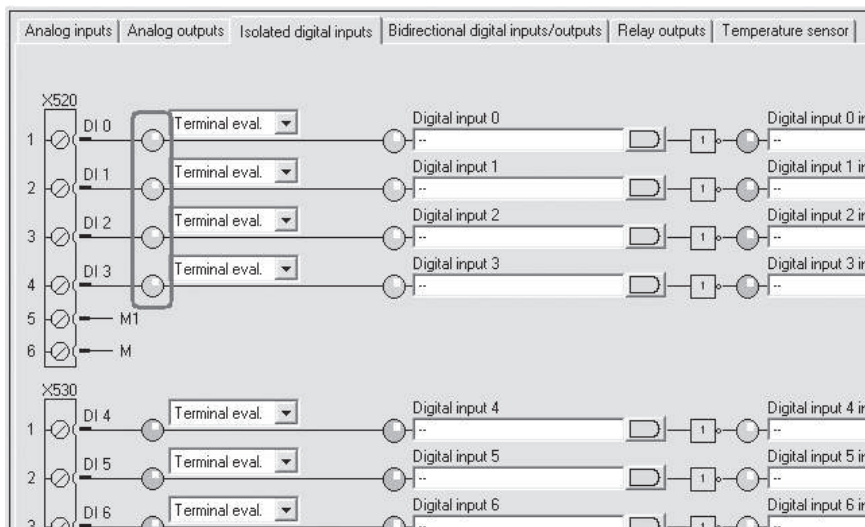


Рис. А.30. Индикация дискретных входов модуля TM31

Модуль расширения позволяет реализовать на нем различные логические функции и может использоваться в качестве замены логического контроллера.

### 3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТИПОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

#### 3.1. Функциональная схема системы управления преобразователя Sinamics DCM

Упрощенная функциональная схема системы управления, которая реализована в преобразователе Sinamics DCM, представлена на рис.А.31 [4, лист 1720].

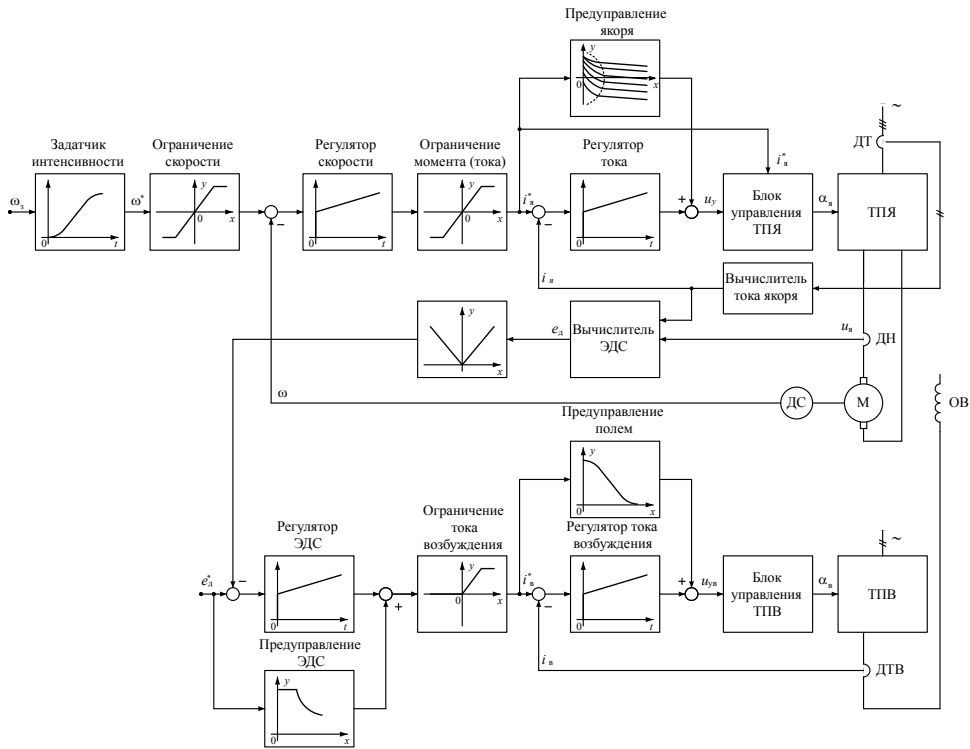


Рис. А.31. Функциональная схема системы управления преобразователя Sinamics

В основе построения системы управления лежит принцип подчиненного регулирования координат [1], [2], [4]. Система имеет два зависимых канала управления по цепи якоря с реверсивным тиристорным преобразователем ТПЯ и по цепи возбуждения с преобразователем ТПВ. За счет наличия двух каналов управления в преобразователе реализована двухзонная система регулирования скорости, которая в первой зоне регулирует скорость двигателя за счет изменения напряжения на якоре при постоянстве магнитного потока, а во второй зоне повышение скорости производится путем ослабления магнитного потока при постоянстве ЭДС.

Для управления скоростью через напряжение якорной цепи используется двухконтурная система автоматического регулирования. Система регулирования скорости имеет внутренний контур регулирования тока якоря с пропорционально-интегральным регулятором, который подчинен внешнему контуру регулирования скорости. Сигнал обратной свя-

зи по току якоря поступает через измерительные трансформаторы тока (ДТ), которые установлены на входе преобразователя. Сигнал обратной связи по скорости может поступать с аналогового тахогенератора или импульсного датчика скорости (ДС). По умолчанию преобразователь Sinamics реализует двукратную систему регулирования скорости с пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором скорости. Но при необходимости можно реализовать и однократно-интегрирующую систему регулирования скорости с пропорциональным регулятором.

Ограничение тока якоря и момента обеспечивается звеном, установленным на выходе регулятора скорости. Перед регулятором скорости устанавливается нелинейный элемент, который ограничивает задание на скорость, что приведет к ограничению фактической скорости двигателя. Сигнал задания для системы регулирования скорости формируется задатчиком интенсивности, на вход которого поступает задающее воздействие.

Управление напряжением возбуждения осуществляется с помощью зависимой двухконтурной системы автоматического регулирования возбуждения. Внутренним контуром системы регулирования возбуждения является контур тока возбуждения с пропорционально-интегральным регулятором. Сигнал обратной связи по току возбуждения поступает с датчика тока (ДТВ), установленного в цепи обмотки возбуждения (ОВ).

Внешний контур системы регулирования возбуждения представляет собой контур регулирования ЭДС с пропорционально-интегральным регулятором. Сигнал обратной связи поступает с вычислителя ЭДС, на который подаются сигналы тока и напряжения якоря.

Рассмотрим более подробно наиболее важные элементы системы регулирования скорости преобразователя Sinamics, начиная с внутреннего контура. Для этого используем функциональные схемы, которые приводятся в технической документации [4].

### 3.2. Узел управления тиристорами

Функциональная схема узла, который отвечает за управление тиристорами в якорной цепи, представлена на рис. А.32. Здесь и далее в скобках в обозначении схем указывается номер листа в официальной документации [4]. На вход узла поступает сигнал с выхода регулятора тока (коннектор r52102), который представляет собой аналог напряжения управления преобразователем.

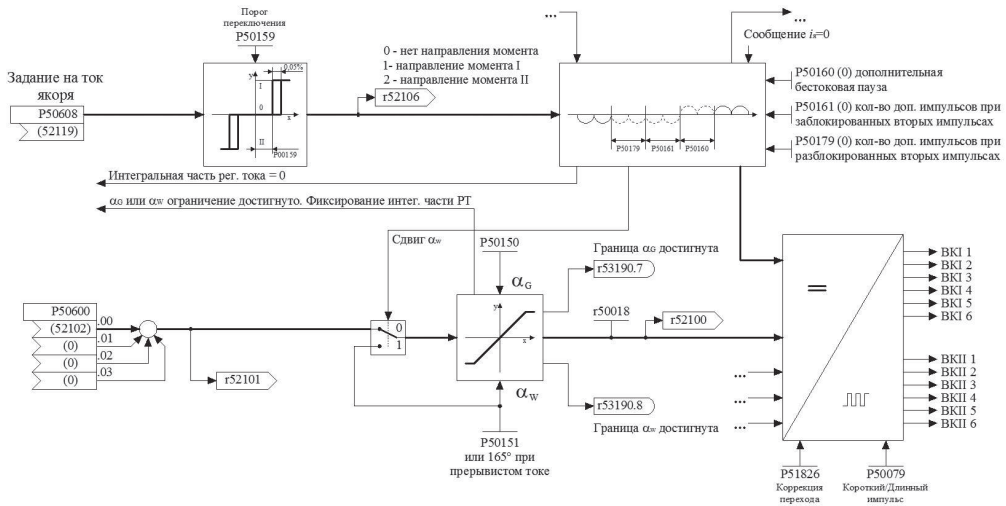


Рис. А.32. Функциональная схема узла управления комплектами преобразователя (6860)

Далее этот сигнал поступает на звено ограничения максимального и минимального углов управления. Величину ограничений можно изменять в параметрах P50150 и P50151. Перед звеном ограничения установлен переключатель, который используется для изменения нижней уставки при переходе преобразователя в режим прерывистого тока. При выходе угла на ограничение, значение одного из бинекторов (r53190.7 или r53190.8) установится равным единице. Величину угла управления после ограничения в градусах можно посмотреть в параметре r50018 или вывести на осциллограф с помощью коннектора r52100.

Переключение между вентильными комплектами BK I и BK II производится по сигналу задания тока якоря r52119, который подается со входа регулятора тока. Затем сигнал поступает на нелинейный элемент (с характеристикой близкой к релейной), где на выходе формируется сигнал о направлении момента r52106. После блока, в котором формируется бестоковая пауза, сигнал поступает в систему импульсно-фазового управления (СИФУ).

### 3.3. Регулятор тока якоря

Функциональная схема регулятора тока якоря изображена на рис. А.33. В системе автоматического регулирования тока якоря используется пропорционально-интегральный регулятор тока, передаточная функция которого записывается в следующем виде:

$$R_i(p) = k_{\text{рт}} \frac{T_{\text{рт}} p + 1}{T_{\text{рт}} p},$$

где  $k_{\text{рт}}$ ,  $T_{\text{рт}}$  — пропорциональный и интегральный коэффициенты регулятора тока, задаются в параметрах P50155 и P50156 соответственно. Отметим, что через параметры P50175 и P50176 коэффициенты регулятора можно менять в процессе работы электропривода в функции каких-либо переменных. Отключить пропорциональную либо интегральную составляющую регулятора можно с помощью параметров P50164 и P50154.

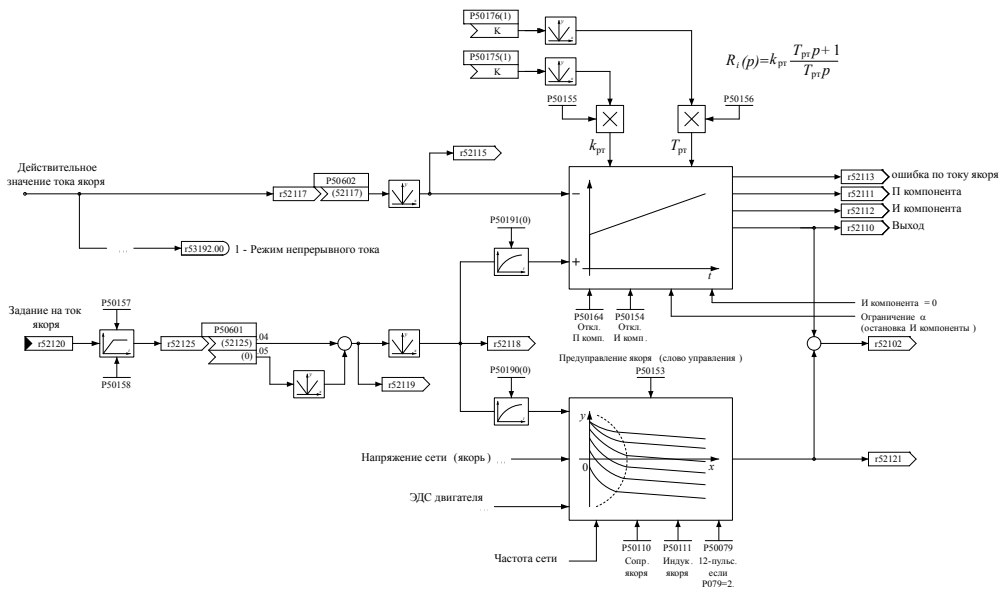


Рис. А.33. Функциональная схема регулятора тока якоря (6855, 6845) [4]

Важно отметить, что процесс настройки параметров регулятора тока не требует от проектировщика проводить расчеты параметров объекта управления, поскольку все параметры двигателя определяются в ходе автоматической настройки контура тока. Для того чтобы провести процедуру автонастройки контура тока, нужно установить параметр P00051 = 25.

Первой особенностью контура тока в преобразователе Sinamics является то, что в нем отсутствует фильтр на выходе регулятора тока (или в канале задания и обратной связи), который в традиционных системах подчиненного регулирования задает полосу пропускания системы

автоматического регулирования тока. В канале задания на ток якоря присутствуют фильтры, постоянные времени которых задаются параметрами P50190 и P50191, но их значения по умолчанию равны нулю (значения в скобках на рис. А.33).

Второй важной особенностью построения контура тока является наличие блока предупреждения. Блок предназначен для повышения быстродействия системы регулирования тока в режиме прерывистых токов. По умолчанию предупреждение тока якоря включено, но его можно отключить с помощью параметра P50153.

Третья особенность контура тока заключается в том, что ведется регулирование модуля тока якоря, а смена направления тока или момента осуществляется в узле управления ключами (см. рис. А.32), на который поступает сигнал задания на ток якоря со знаком через коннектор r52119.

На вход регулятора подается сигнал задания на ток якоря после ограничения, который затем поступает на задатчик интенсивности. Задатчик интенсивности в контуре тока может использоваться для снижения производной тока якоря в процессе работы электропривода до допустимого значения для данного двигателя. Для включения задатчика нужно установить значение параметра P50157 в 1 и задать постоянную времени задатчика (температура выходного сигнала) в параметре P50158. Сигнал обратной связи поступает с трансформаторов тока, которые установлены на стороне трехфазного напряжения. Затем сигналы токов поступают на выпрямитель и измерительный шунт, к которому подключается 10-битный аналого-цифровой преобразователь.

Выход регулятора тока (r52110) суммируется с параллельно подключенным блоком предупреждения (r52121) и через коннектор **r52102** подается на узел управления тиристорами (см. рис. А.32, А.33).

### 3.4. Ограничение тока якоря

Перед регулятором тока устанавливается блок ограничения задания на ток якоря, функциональная схема которого представлена на рис. А.34 [4]. Согласно принципам ограничения переменных, в системах подчиненного регулирования ограничение задания на ток позволяет ограничить действительное значение тока якоря и тем самым защитить двигатель от перегрузки [2].



Аналогично происходит формирование нижней границы тока якоря, за исключением случая, когда используется однокомплектный преобразователь. Для него нижняя граница автоматически устанавливается на ноль.

Отследить выход тока на ограничение можно с помощью параметров r53151 [0...2].

### 3.5. Ограничение момента двигателя

Перед ограничением тока якоря установлен отдельный блок ограничения момента двигателя. Упрощенная функциональная схема блока показана на рис. А.35.

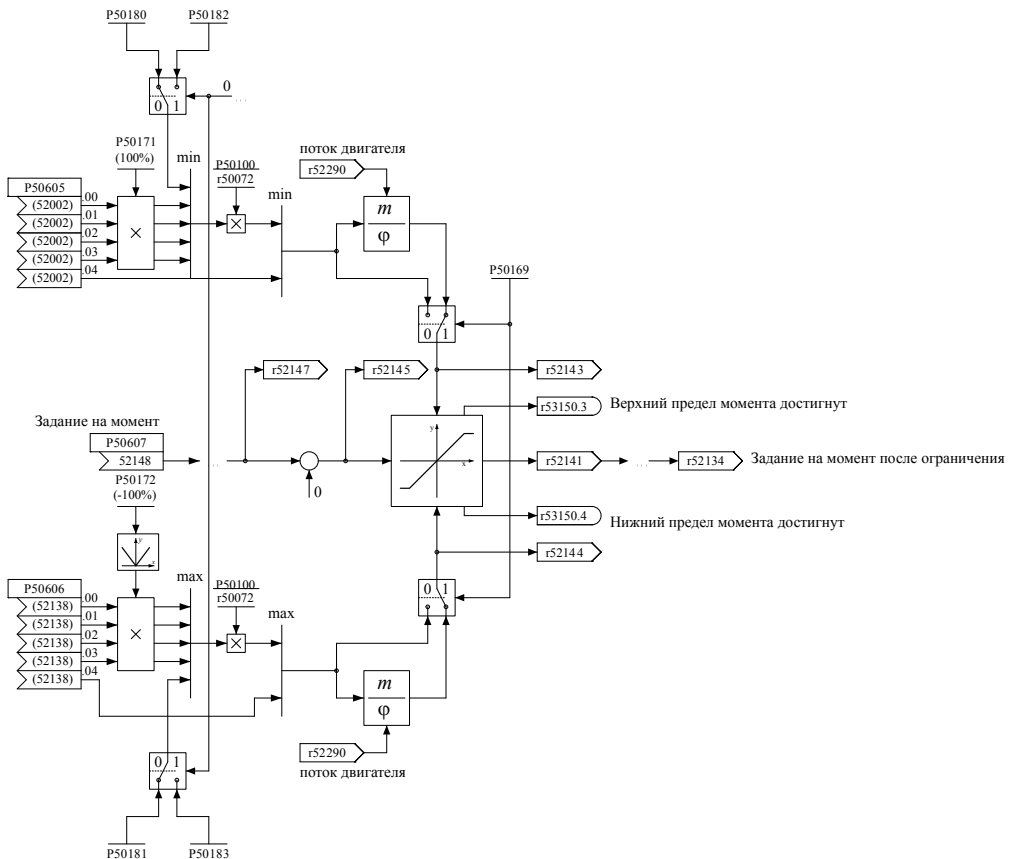


Рис. А.35. Блок ограничения момента (6825, 6830)

Отдельное ограничение по моменту целесообразно устанавливать в двухзонных системах автоматического регулирования, где линейная связь между моментом и током якоря нарушается во второй зоне регулирования. Принцип ограничения момента аналогичен ограничению тока якоря. Максимальное и минимальное значения моментов задаются в параметрах P50180 и P50181. Причем, как видно из рис. А.35, блок ограничения момента учитывает и ограничение по току, то есть он выбирает для положительной уставки минимальное значение из уставок по току P50171 и моменту P50180.

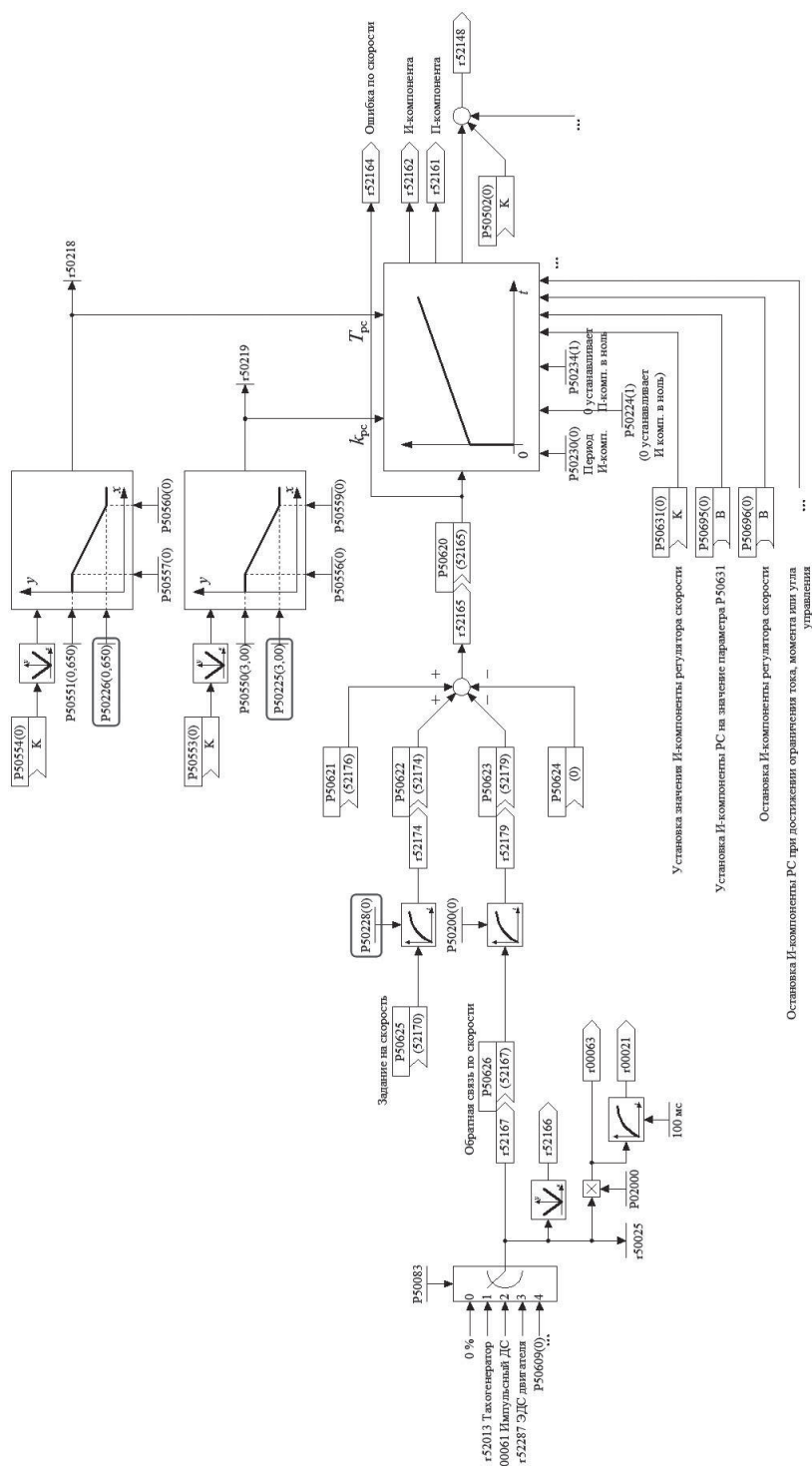
При помощи параметра P50169 осуществляется переключение между каналами ограничения момента и тока якоря. Для двухзонных систем регулирования целесообразно устанавливать значение этого параметра в единицу.

На вход звена ограничения момента поступает сигнал с выхода регулятора скорости через коннектор r52148.

### 3.6. Регулятор скорости

Упрощенная функциональная схема регулятора скорости представлена на рис. А.36 [4]. По умолчанию в процессе автонастройки регулятора скорости ( $P50051 = 26$ ) преобразователь автоматически настраивает параметры ПИ регулятора скорости.

*Для настройки двукратно интегрирующей САР скорости* [2] необходимо задать желаемое быстродействие системы в процентах с помощью параметра P50236 и провести процедуру автонастройки САР скорости, установив  $P50051 = 26$ . Коэффициент усиления P50225 и постоянная времени регулятора скорости P50226 определяются автоматически. Так же как и для регулятора тока, параметры регулятора скорости можно подстраивать во время работы электропривода в функции различных переменных через параметры P50553 и P50554. Так, например, в системах двухзонного регулирования коэффициент усиления регулятора скорости во второй зоне должен изменяться в функции магнитного потока. Это позволит обеспечить оптимальные процессы в контуре скорости во всем диапазоне изменения магнитного потока. В канале задания на скорость для двукратно интегрирующей системы устанавливается фильтр. Постоянная времени фильтра определяется автоматически во время автонастройки и отображается в параметре P50228.



Для настройки однократно интегрирующей САР скорости [2] нужно задать желаемое быстродействие в параметре P50236 и провести процедуру автонастройки САР скорости ( $P50051 = 26$ ) и затем отключить интегральную составляющую регулятора, установив значение параметра  $P50224 = 0$ . После этого нужно отключить фильтр в канале задания на скорость на входе САР  $P50228 = 0$ .

При использовании пропорционального регулятора скорости в системе возникает статическая ошибка. Если эта ошибка во время работы будет превышать 3 %, то на дисплее преобразователя отобразится ошибка F60031. Для того чтобы отключить это сообщение, нужно установить значение параметра  $P50388 = 30\%$  или больше.

Сигнал обратной связи по скорости может поступать с различных источников:

- тахогенератора постоянного тока ( $P50083=1$ );
- импульсного датчика скорости ( $P50083=2$ );
- сигнала вычислителя ЭДС двигателя ( $P50083=3$ ).

Выбор канала обратной связи осуществляется в параметре P50083. Для уменьшения влияния пульсаций датчика скорости в канале обратной связи по скорости предусматривается установка фильтра (по умолчанию этот фильтр отключен), постоянная времени которого задается в параметре P50200.

### 3.7. Задатчик интенсивности

Задатчик интенсивности устанавливается на входе регулятора скорости и служит для ограничения момента в переходных режимах и формирования требуемого времени разгона электропривода. Реализация задатчика интенсивности в преобразователе Sinamics DCM представлена на рис. А.37 [4].

Темп задатчика интенсивности задается через время разгона и торможения в параметрах P50303 и P50304. Для некоторых производственных механизмов требуется так называемая S-образная кривая разгона, которая в теории реализуется задатчиком интенсивности второго порядка [2]. В этом случае, помимо ограничения производной скорости (ускорения), во время переходного процесса будет также ограничен рывок (вторая производная скорости). Для реализации такого переходного процесса нужно задать отличные от нуля значения параметров P50305 и P50306.

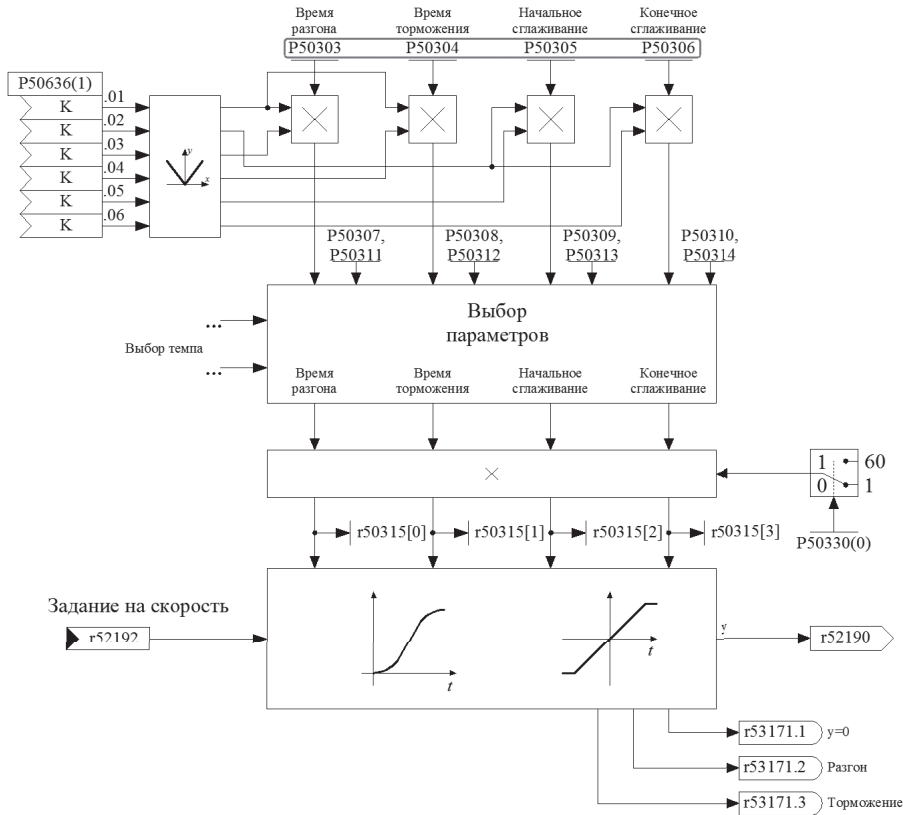


Рис. А.37. Функциональная схема задатчика интенсивности (3150, 3152) [4]

Темп задатчика интенсивности можно изменять в процессе работы, например, параметром P50636.

По умолчанию время разгона и торможения задается в секундах, но это можно изменить параметром P50330, который умножает время в секундах на 60 и таким образом переводит время в минуты.

Команда экстренного торможения OFF3 имеет свой собственный темп, который задается в параметре P50296.

С помощью бинекторов B0207, B0208 и B0209 можно определить состояние задатчика интенсивности.

### 3.8. Аналоговые входы

По умолчанию сигналы задания на скорость и обратная связь по скорости в лабораторной установке поступают с аналоговых входов. Схематичное представление аналоговых входов в преобразователе Sinamics DC Master представлено на рис. А.38.

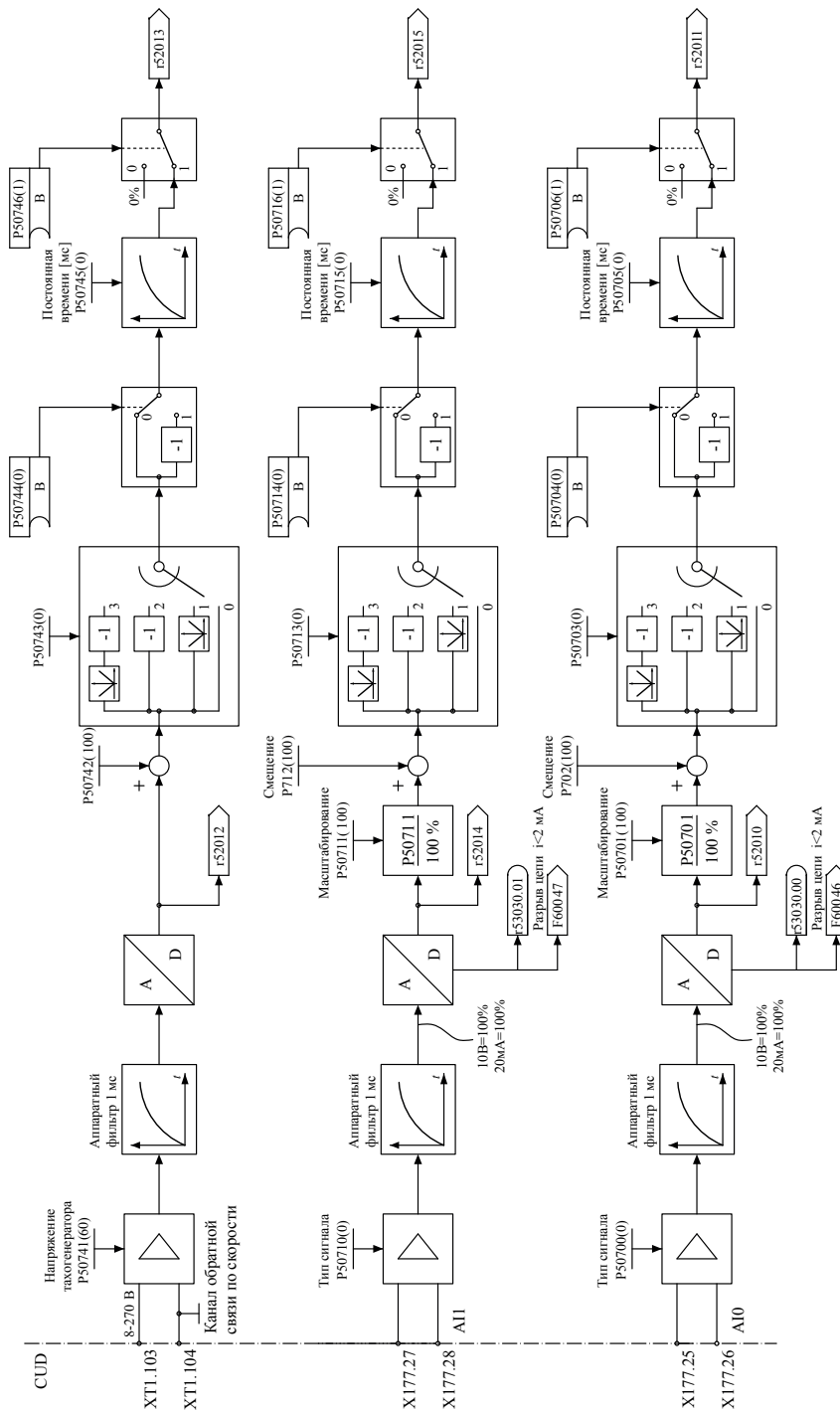


Рис. А.38. Аналоговые входы (2075, 2080)

Сигнал задания на скорость в преобразователе поступает на клеммы 25 и 26 разъема X177. В параметре P50700 выбирается тип аналогового входа: ток (от  $-20$  до  $20$  мА) или напряжение (от  $-10$  до  $10$  В). После этого сигнал поступает на аппаратный фильтр с постоянной времени  $1$  мс и после этого проходит через аналого-цифровой преобразователь. На следующем этапе можно масштабировать сигнал с помощью параметра P50701 и задать смещение в параметре P50702. Параметр P50703 отвечает за выделение модуля сигнала и смену его полярности. В параметре P50704 задается бинектор, под действием которого входной сигнал будет инвертироваться. Для установки фильтра в канал аналогового входа нужно задать его постоянную в параметре P50705. С помощью параметра P50706 можно отключить аналоговый вход даже во время работы преобразователя. Коннектор r52011 после всех преобразований поступает на вход задатчика интенсивности через некоторые дополнительные элементы, которые не показаны на схемах.

Аналогично производятся настройки второго аналогового входа, который подключается к клеммам 27, 28.

Сигнал с аналогового датчика скорости подается на клеммы 103, 104 и отличается тем, что диапазон входного напряжения находится в пределах от  $8$  до  $270$  В.

Нужно отметить, что в методических указаниях рассмотрены лишь основные блоки системы управления, общие представления о которых необходимы для проведения лабораторных работ. За более подробной информацией нужно обращаться к технической документации на преобразователь Sinamics DCM [4].

## РАЗДЕЛ Б

---

### 1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

---

Лабораторный стенд представляет собой полупроводниковый электропривод постоянного тока с устройством нагрузки двигателя. На рис. Б.1 приведена принципиальная электрическая схема силовой части электропривода, в состав которого входят двигатель (М1) постоянного тока независимого возбуждения и полупроводниковый преобразователь постоянного тока (Sinamics) для питания обмоток якоря и обмотки возбуждения (L2).

Преобразователь обмотки якоря является двухкомплектным тиристорным выпрямителем с отдельным управлением. Каждый комплект выпрямителя выполнен по трехфазной мостовой схеме. На входе выпрямителя установлены токоограничивающие реакторы (L1). Преобразователь обмотки якоря получает питание от трехфазной сети переменного тока с напряжением 380 В. Напряжение питания на тиристорный преобразователь якорной цепи подается через автомат QF1 и контактор K1.

Для обмотки возбуждения используется несимметричный однофазный однокомплектный преобразователь с напряжением питания 380 В. Так же как и для якорной цепи, подача напряжения на схему выпрямления осуществляется последовательным включением автомата QF1 и контактора K1.

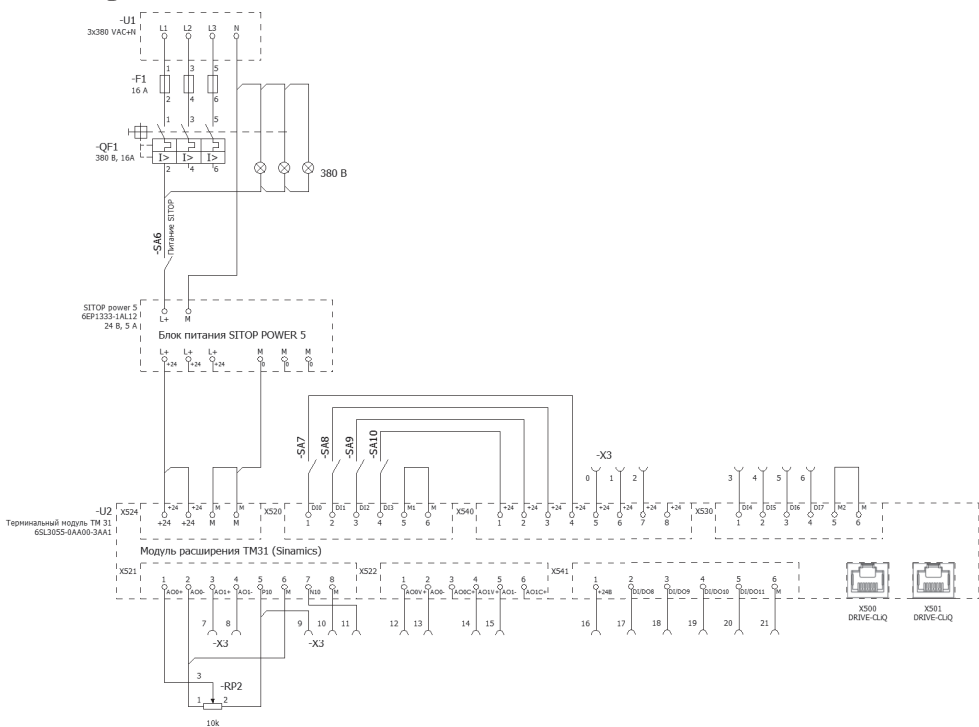
Цепи системы управления электропривода питаются от сети переменного тока с напряжением 380 В. Напряжение подается контактором K2.



Управление режимами электропривода может осуществляться с помощью базовой панели управления по дискретным входам, к которым подключены тумблеры SA2 (Пуск/Стоп), SA3 (Разрешение работы). Переключатели SA1 и SA4 поступают на дискретные входы преобразователя DI0 и DI3 и могут использоваться для реализации дополнительных функций. Задание на скорость двигателя подается с помощью потенциометра RP1, а также через последовательный интерфейс или сетевой интерфейс от компьютера. Тумблером SA5 (Вперед/Назад) производится переключение полярности задания скорости.

Лабораторный стенд снабжен контрольно-измерительными приборами, которые смонтированы в верхней части средней панели: PA1 — ток якоря ДПТ, PA2 — ток возбуждения ДПТ, PF1 — частота вращения. Для снятия переходных процессов по скорости двигателя на гнезда 3 и 4 колодки X1 выведен сигнал с тахогенератора постоянного тока.

На лабораторном стенде 7 расположен терминальный модуль TM31 для расширения количества входов и выходов преобразователей Sinamics. Принципиальная схема подключения модуля представлена на рис. Б.2.



Подача питания на модуль осуществляется с помощью блока питания SITOP POWER 5, который питается от напряжения 220 В через автомат QF1 и выдает на своем выходе напряжение 24 В. Максимальная нагрузка на блок питания SITOP не должна превышать 5 А. На лицевой панели стенда установлен потенциометр RP2, который подключен к аналоговому входу AI0 модуля расширения TM31. Сигнал с потенциометра можно отследить в программе Starter с помощью коннектора r04055 [0] [4, лист 9566]. Также на центральной панели стенда установлены переключатели SA7—SA10, которые подключены к дискретным входам модуля расширения DI0—DI3 соответственно. Логические сигналы, которые поступают от этих переключателей, можно использовать в программе с помощью бинекторов r04022.0—r04022.3 [4, лист 9550]. Остальные входы и выходы терминального модуля выведены на клеммы, которые позволяют подключить к модулю внешние устройства, например, логический контроллер. Разъем X500 предназначен для подключения к преобразователям Sinamics через интерфейс DRIVE-CLiQ.

Данные преобразователя постоянного тока Sinamics DC Master (заказной номер 6RA8013-6DV62):

Номинальная мощность .....	6,3 кВт
Номинальное напряжение питающей сети по цепи якоря .....	3х400 В
Номинальное выпрямленное напряжение якоря .....	420 В
Номинальный входной ток в цепи якоря .....	12,5 А
Номинальный выпрямленный ток якоря .....	15 А
Перегрузка по выпрямленному току якоря .....	180 %
Номинальное напряжение питающей сети возбуждения .....	2х400 В
Номинальное выпрямленное напряжение возбуждения .....	325 В
Номинальный выпрямленный ток возбуждения .....	3 А
Режим работы реверсивный .....	4Q

Данные двигателя постоянного тока 2 ПБ100 ГУХЛ4:

Номинальная мощность .....	0,75 кВт
Номинальная частота вращения .....	1500 об/мин
Номинальное напряжение якоря .....	220 В
Номинальный ток якоря .....	4,5 А
Номинальное напряжение возбуждения .....	220 В
Номинальный ток возбуждения .....	0,29 А
КПД .....	0,72
Момент инерции .....	0,054 кг·м <sup>2</sup>

Данные терминального модуля ТМ31 (заказной номер 6SL3055-0AA00—3AA1):

Количество аналоговых входов .....	2
Количество аналоговых выходов.....	2
Количество дискретных входов.....	8
Количество двунаправленных входов-выходов.....	4
Количество релейных дискретных выходов .....	2
Подключение датчика температуры.....	1
Интерфейс DRIVE-CLiQ.....	2

Паспортные данные тахогенератора ТП80-20-0,2УХЛ4:

Крутизна характеристики .....	0,02 В/(об/мин)
Максимальная частота вращения.....	3000 об/мин

## 1.1. Нагрузочное устройство

Нагрузочное устройство предназначено для создания момента сопротивления на валу двигателя. Нагрузка на лабораторных стендах 7 и 8 создается частотно-регулируемыми электроприводами АВВ и Siemens. Описание работы с преобразователями частоты в режиме нагрузочной машины описаны в соответствующих руководствах.

### 1.2. Порядок включения стенда

Включение преобразователя Sinamics DCM производится в следующей последовательности:

- 1) на лицевой панели повернуть ручку потенциометра **RP1 (Задание скорости)** против часовой стрелки до упора. Это положение потенциометра соответствует нулевому значению напряжения на его выходах;
- 2) установить переключатели задания режимов электропривода **SA1—SA5** в нижнее положение;
- 3) с помощью автомата **QF1** подать на стенд напряжение (~**380 В**) переменного тока;
- 4) для включения преобразователя нажать последовательно кнопки контакторов **Цепи управления (K2)** и **Пуск преобразователя (K1)**.

Включение терминального модуля ТМ31 производится в следующей последовательности:

- 1) на лицевой панели повернуть ручку потенциометра **RP2** против часовой стрелки до упора. Это положение потенциометра соответствует нулевому значению напряжения на его выходах;

2) установить переключатели задания режимов электропривода **SA7–SA10** в нижнее положение;

3) с помощью автомата **QF1** подать на стенд напряжение (**~380 В**) переменного тока;

4) для включения модуля расширения переключить тумблер **SA6** в верхнее положение.

Включение нагрузочного устройства производится в последовательности, которая описана в руководствах на соответствующие преобразователи частоты.

## 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

---

### Лабораторная работа № 1

#### ПАРАМЕТРИРОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА SINAMICS DCM

Цель работы — изучить принципы настройки параметров микропроцессорной системы автоматического регулирования электропривода постоянного тока.

*Программа лабораторной работы*

Лабораторная работа включает в себя следующие этапы:

1) изучение принципа настройки параметров преобразователя Sinamics DC Master. Проверка работы электропривода;

2) изучение принципов снятия переходных процессов в программе Starter. Снятие осциллограмм переходных процессов;

3) оформление отчета.

*Последовательность настройки параметров преобразователя SINAMICS DC MASTER*

Перед началом лабораторной работы необходимо включить питание преобразователя. Нагрузочная машина в лабораторной работе № 1 не используется, поэтому подавать напряжение на нагрузочную машину необязательно.

После включения электропитания системы управления преобразователя, панель PMU будет находиться в режиме индикации существующего состояния преобразователя (например, **07.0** или **07.1**) или на дисплей будут выведены сообщения об ошибках.


Настройку параметров преобразователя можно проводить либо с панели управления, либо с персонального компьютера.

В программе Starter существует два способа настройки параметров. Для ввода в эксплуатацию обычно используется более простой способ с помощью мастера настройки. Второй способ заключается в «ручном» вводе параметров в программе Starter (Expert list). Второй способ используется для более точной настройки электропривода для конкретных применений.

#### *Настройка параметров преобразователя с помощью мастера настройки*

Сброс параметров преобразователя на заводские установки и настройка уровня доступа

Необходимо запустить программу Starter, создать новый или открыть любой существующий проект и установить связь с преобразователем (см. подгл. 2.2).

Если установка параметров выполняется впервые после получения преобразователя с завода-изготовителя или неизвестно исходное состояние преобразователя, то полезно установить все параметры в исходное (заводское) состояние. С этой целью следует установить курсор мыши на активном проекте и нажать кнопку  на панели инструментов в верхней части экрана. При этом произойдет сброс всех параметров преобразователя в состояние, соответствующее исходным заводским настройкам преобразователя.

Важно отметить, что после сброса преобразователя на заводские установки произойдет обрыв связи с программой Starter, поскольку параметры коммуникационной платы CBE20 также будут сброшены в исходное состояние. После этого нужно повторить настройку параметров сетевого подключения и повторно установить связь с преобразователем.

#### Параметрирование преобразователя с помощью мастера настройки

Для введения преобразователя постоянного тока Sinamics DCM в эксплуатацию удобнее всего воспользоваться мастером настройки параметров, который запускается кнопкой **Configure DDC...** из вкладки Configuration в программе Starter.

Процедура настройки преобразователя с помощью мастера может производиться только в режиме **Offline**, поэтому перед запуском мастера настройки нужно отключиться от преобразователя, иначе будет выведено соответствующее предупреждение.

На первом этапе настройки параметров предлагается указать, что в проекте используется коммуникационная плата CBE20 (рис. Б.3). Остальные параметры на этой вкладке можно оставить без изменений, поскольку они относятся к циклической передаче данных между ПЛК и преобразователем, что не рассматривается в данной работе.

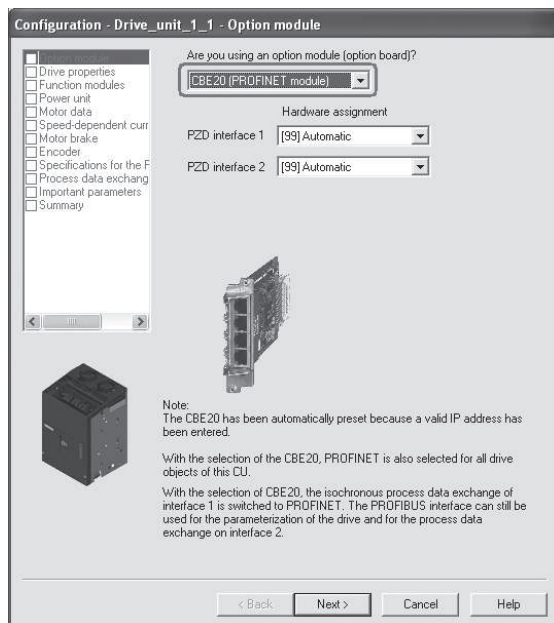


Рис. Б.3. Установка параметров коммуникационной платы CBE20

Затем задается имя объекта в программе Starter. При необходимости можно указать автора проекта и добавить комментарий (рис. Б.4).

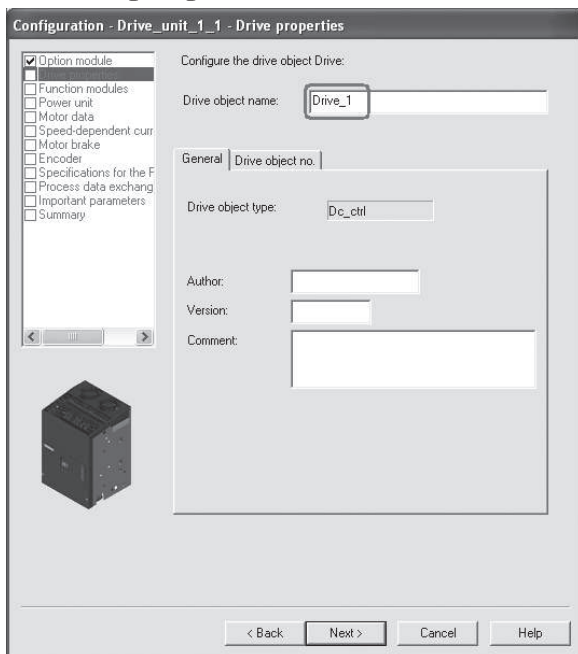


Рис. Б.4. Задание имени объекта в программе Starter

На следующем этапе можно добавить в проект технологический регулятор и свободные функциональные блоки (рис. Б.5) [8], но на данном этапе в этом нет необходимости, поскольку данные блоки в работе не используются.

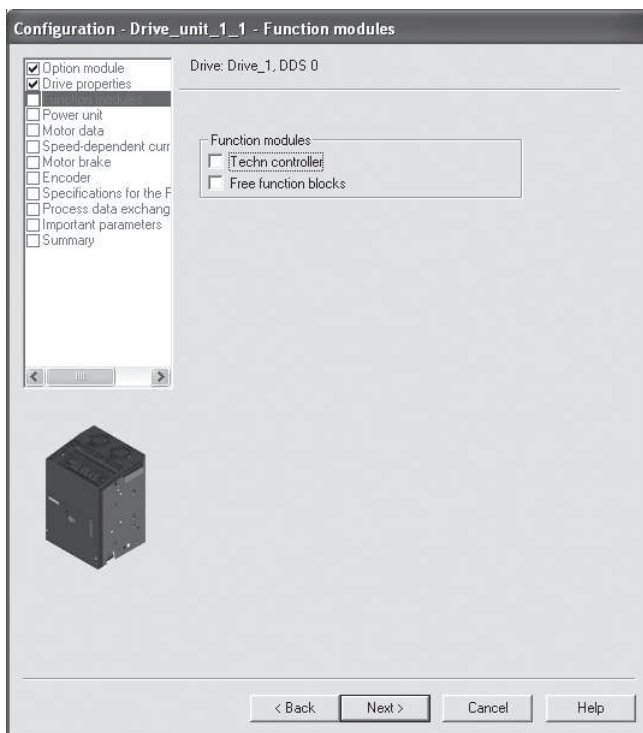


Рис. Б.5. Добавление в проект технологического регулятора и свободных функциональных блоков

Далее выбирается силовая часть преобразователя из списка (рис. Б.6). Необходимо выбрать соответствующий преобразователь исходя из его номинального тока и напряжения или заказного номера, который написан на корпусе преобразователя.

Можно упростить задачу поиска, если выбрать конкретное питающее напряжение и задать диапазон мощностей на вкладках выше.

Для преобразователя, установленного на стенде, питающее напряжение составляет 400 В и номинальный выходной ток 15 А.

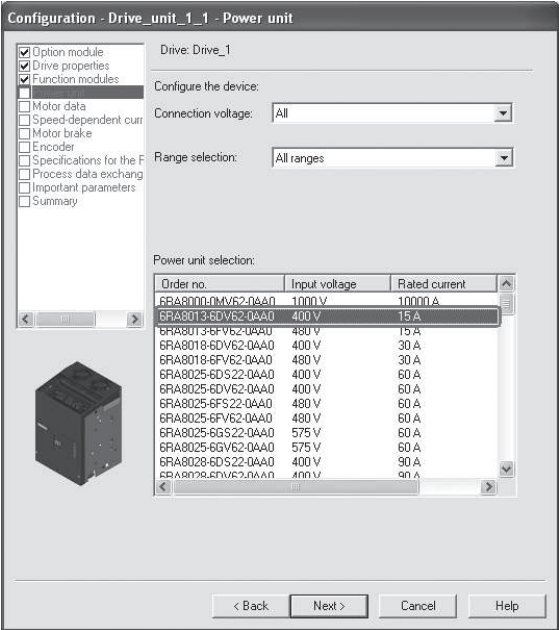


Рис. Б.6. Выбор силовой части преобразователя Sinamics DCM

На рис. Б.7 показан следующий шаг мастера настройки, на котором задаются основные номинальные параметры двигателя. В левой части вкладки приведены номера параметров, для которых задаются значения.

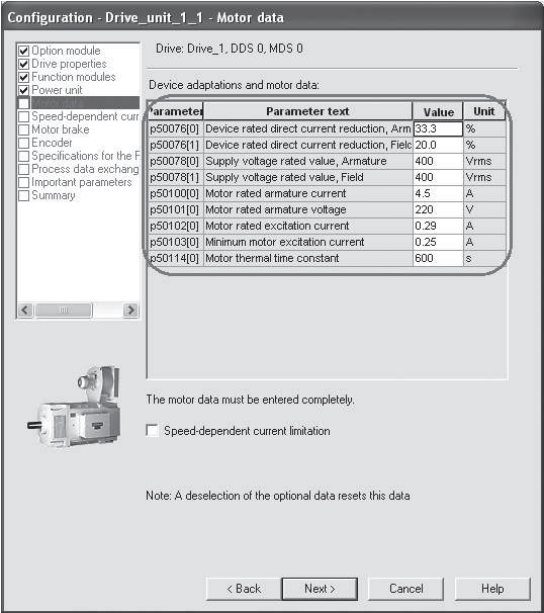


Рис. Б.7. Установка номинальных данных двигателя

В поле **Parameter text** приводится название параметра на английском языке. В поле **Value** устанавливаются значения параметров в соответствии с номинальными данными двигателя. Справа, в поле **Unit**, приводятся единицы измерения для каждого параметра.

Подробное описание параметров с расшифровкой их названий будет представлено далее.

На следующем шаге нужно задать параметры механического тормоза, который отсутствует на лабораторном стенде (рис. Б.8).

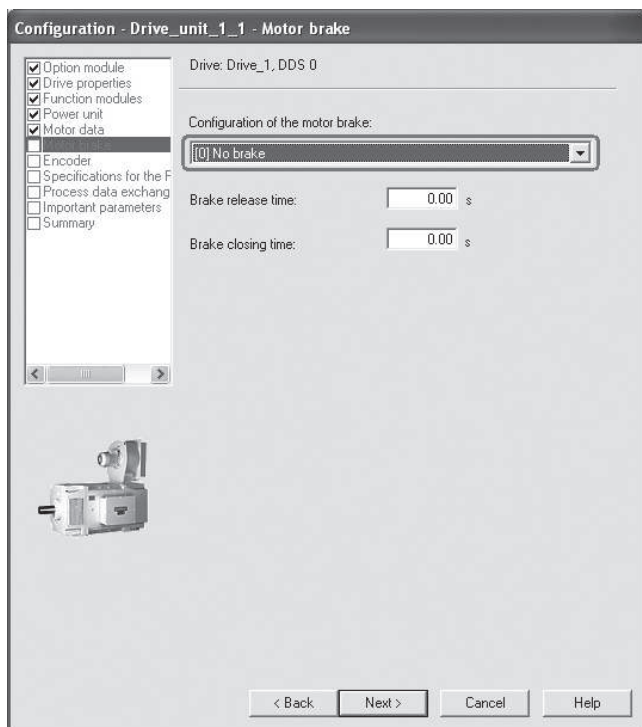


Рис. Б.8. Параметры механического тормоза

Затем устанавливаются параметры датчика скорости вращения (рис. Б.9). На этой вкладке в поле **Encoder name** задается имя датчика скорости. Можно выбрать из списка стандартный датчик скорости фирмы Siemens или вручную задать параметры импульсного датчика скорости.

Поскольку на стенде используется аналоговый тахогенератор, постольку в поле выбора сигнала обратной связи нужно указать **[1] Analog**

**tachometer** и задать номинальное число оборотов датчика **1500 об/мин.** Удобнее задать именно номинальное значение скорости двигателя, а не номинальное значение скорости тахогенератора, поскольку это значение является базисным для вычисления скорости в относительных единицах (параметр P2000).

В поле **Tacho voltage at maximum speed** необходимо установить значение напряжения, которое соответствует скорости 1500 об/мин. Для тахогенератора на стенде это значение составляет **30 В.**

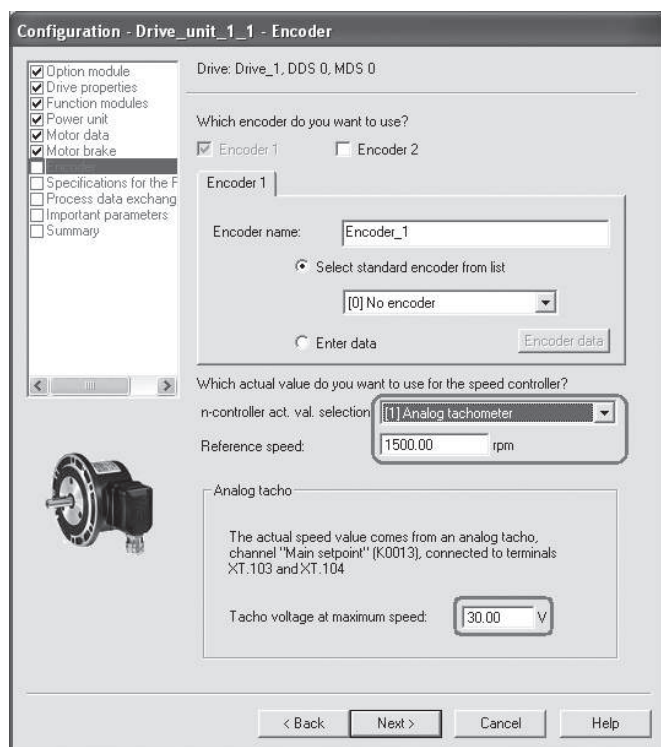


Рис. Б.9. Установка параметров датчика скорости

На следующей вкладке нужно деактивировать режим ослабления поля **Field weakening — [0] De-activated**, тем самым установив однозонную систему автоматического регулирования (рис. Б.10).

На рис. Б.11 показан процесс выбора телеграммы для управления электроприводом Sinamics DCM по сети PROFINET. Эти параметры не используются в работе — можно выбирать любые значения.

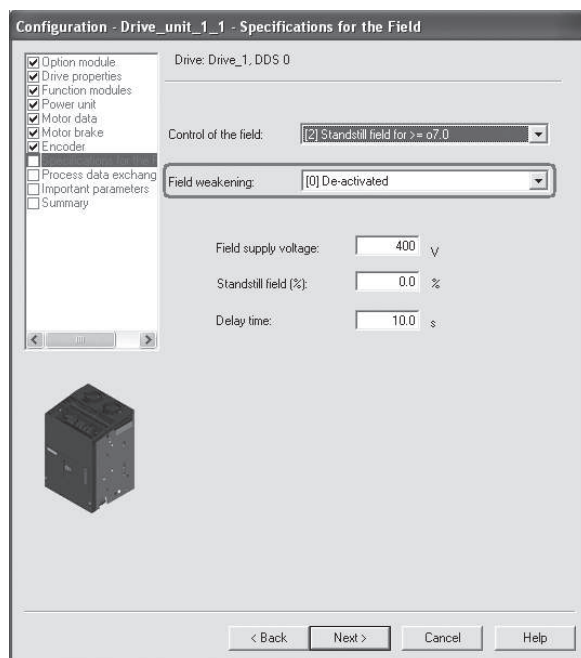


Рис. Б.10. Выбор режима работы системы управления полем возбуждения

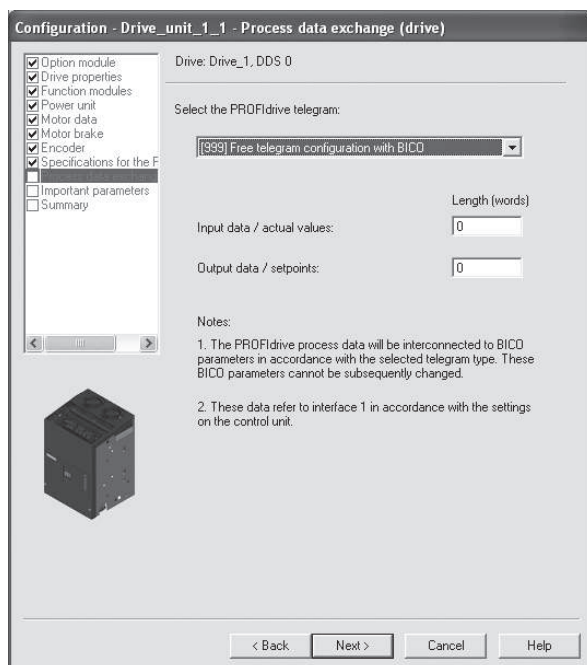


Рис. Б.11. Выбор телеграммы для управления электроприводом по сети PROFINET

На вкладке «Важные параметры» в процентах задаются положительные и отрицательные уровни ограничений по току (**Current limit**) и моменту (**Torque limit**) двигателя, а также время разгона (**Ramp-up time**) и торможения (**Ramp-down time**) (рис. Б.12).

Установка не нулевых значений в параметрах **Initial rounding** и **Final rounding** приводит к сглаживанию кривой разгона и по факту соответствует использованию задатчика интенсивности второго порядка на входе системы регулирования скорости.

На этапе ввода электропривода в эксплуатацию значения ограничений по току и моменту устанавливаются на 150 %. Время разгона и торможения выбирается равным 5 с, начальное и конечное сглаживание отключаются. Влияние сглаживания на процессы в электроприводе будет рассматриваться далее.

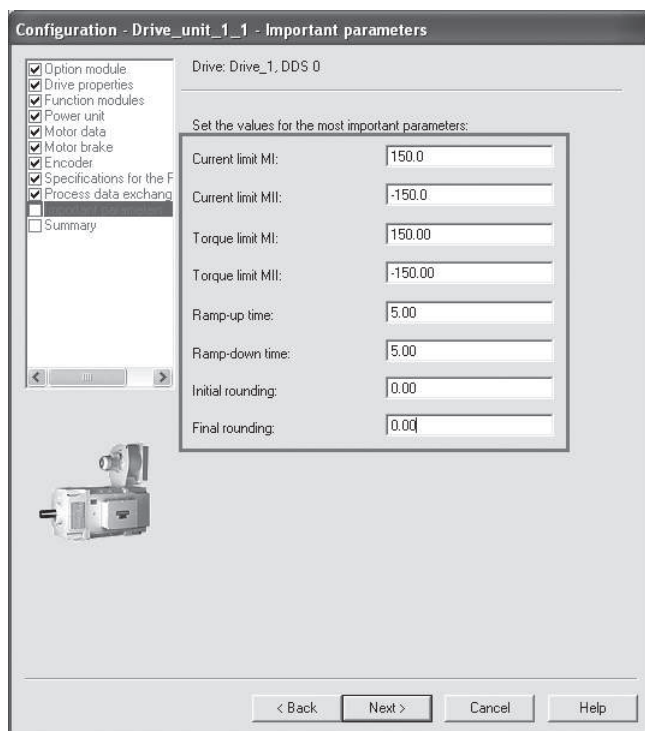


Рис. Б.12. Важные параметры системы управления

На заключительном этапе на вкладке **Summary** приводится итоговая информация о всех выбранных параметрах (рис. Б.13).

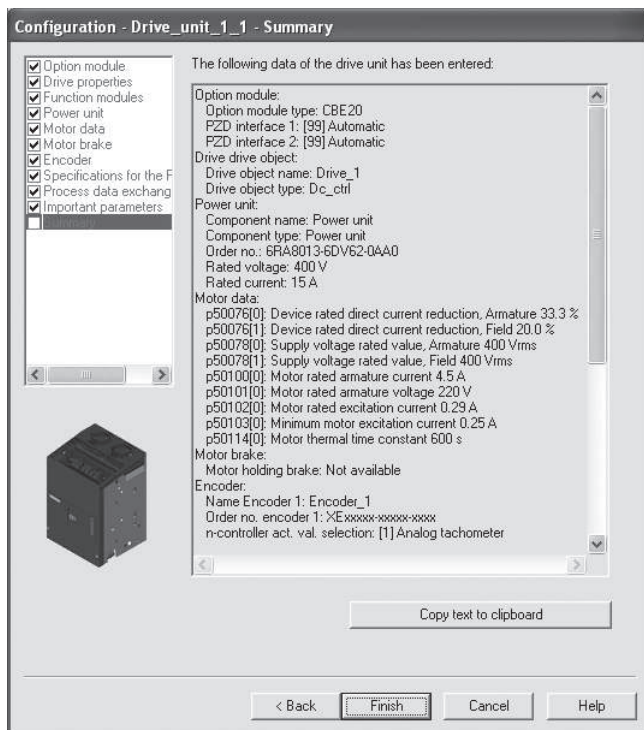



Рис. Б.13. Заключительный этап настройки привода

После нажатия кнопки **Finish** процесс настройки основных параметров можно считать завершенным. Затем необходимо подключиться к преобразователю и загрузить в него установленные параметры с помощью клавиши  (Download CPU/drive unit to target device). Однако на этом процесс параметрирования не заканчивается, поскольку нужно найти параметры регуляторов тока и скорости, которые определяются в процессе автоматической идентификации.

Если процесс идентификации не будет произведен, то электропривод будет работать со значениями, рассчитанными на основе номинальных данных двигателя.

### Настройка параметров регулятора тока

Параметры регулятора тока определяются в процессе автоматической настройки контура тока. Процедура идентификации параметров контура тока производится в следующей последовательности.

1. Убедитесь, что преобразователь находится в ожидании команды включения, т. е. имеет место отображение состояния **07.0** или **07.1** — **Готовность к включению**.

2. Установите параметр **P50051 = 25**, выбирая режим идентификации параметров контуров регулирования токов якоря и возбуждения двигателя. После установки преобразователь Sinamics DCM на несколько секунд переключается в состояние управления **07.4**, а затем возвращается в состояние **07.0** или **07.1** и ожидает ввода команд **Разрешение работы** и **Пуск**.

3. Переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск**. После автоматического входа преобразователя в рабочее состояние **<01.0 — Работа** начинается процесс идентификации параметров контуров регулирования токов якоря и возбуждения двигателя. Процесс идентификации отражается на дисплее панели управления PMU миганием двухзначных чисел, отделенных друг от друга чертой.

**Внимание!** Если указанные команды не будут поданы в течение 30 с, состояние ожидания этих команд прекратится и появится сообщение об ошибке **F60052!**

Продолжительность идентификации составляет порядка 20 с. В это время автоматически устанавливаются следующие параметры:

- P50110 Сопротивление якоря;
- P50111 Индуктивность якоря;
- P51591 Коэффициент нелинейности индуктивности якоря;
- P51592 Индуктивность коммутации якоря;
- P50155 П-усиление регулятора тока якоря;
- P50156 Постоянная времени интегрирования регулятора тока якоря;
- P51594 Поглощающая индуктивность в 12-пульсном режиме;
- P51595 Коэффициент понижения поглощающей индуктивности;
- P51596 Сопротивление всасыванию в 12-пульсном режиме.

В конце процесса оптимизации привод переходит в рабочее состояние **08.0**, и параметр P50051 вернется в исходное состояние P50051 = 0, и ток возбуждения двигателя упадет до нуля. После этого возвратите **SA2** и **SA3** в исходное состояние.

Основные параметры контура регулирования тока соответствуют заводской настройке и определяются в процессе идентификации преобразователя. Дополнительно для ограничения производной тока якоря устанавливаются:

**P50157 = 1** [Включение задатчика интенсивности в канал задания тока якоря] — обеспечивает подключение между выходом регулятора скорости и входов контура регулирования тока задатчика интенсивности;

**P50158 = 0,01 с** [Время нарастания выходного сигнала задатчика интенсивности] — задает время нарастания сигнала задания тока якоря, равное 0,01 с.

Настройка параметров регулятора скорости

Параметры регулятора скорости настраиваются в процессе автонастройки, которая производится в следующей последовательности.

Установите параметр **P50051 = 26**, выбирая режим идентификации параметров контура регулирования скорости. Для этого переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск**. Процесс идентификации также будет отражаться на дисплее панели управления PMU миганием двухзначных чисел, отделенных друг от друга чертой.

Во время идентификации скорость двигателя достигает 20 % от максимальной скорости. Продолжительность идентификации составляет порядка 20 с. При этом автоматически устанавливаются параметры (см. рис. А.36 со с. 42):

- P50225 П-усиление регулятора скорости;
- P50226 Постоянная времени интегрирования регулятора скорости;
- P50228 Постоянная времени сглаживания заданного значения скорости;
- P50540 Время разгона регулятора скорости.

Важно отметить, что в процессе оптимизации регулятора скорости учитывает только фильтр в канале обратной связи P50200 и в канале задания на скорость двигателя P50745. Остальные фильтры не учитываются. Кроме того, процесс оптимизации регулятора скорости всегда устанавливает P50228 (фильтрация заданного значения скорости) на 0.

По окончании идентификации контура регулирования скорости на дисплее высвечивается параметр P50051 = 0. После окончания идентификации возвратите **SA2** и **SA3** в исходное состояние.

**Примечание.** Автоматическая идентификация параметров контуров регулирования тока и скорости обеспечивает приемлемые, но не оптимальные динамические показатели качества. При необходимости возможна ручная оптимизация регуляторов с применением генератора сигналов и снятия переходных процессов переменных электропривода при тестовых управляющих воздействиях.

Повлиять на быстродействие системы регулирования скорости помимо ручного изменения параметров регулятора можно с помощью параметра P50236, который задает степень динамики. После его измене-

ния необходимо заново проводить процедуру автонастройки контура скорости, чтобы изменения вступили в силу.


На этом процесс параметрирования привода заканчивается. Далее произведите пуск электропривода, для чего нужно перевести переключатели **SA3** и **SA2** в верхнее положение и потенциометром **RP1** установить частоту вращения **1000 об/мин**. Затем переключателем **SA5** осуществите реверс и переключателем **SA2** — торможение двигателя.

При необходимости можно производить запуск электропривода и задание скорости через программу Starter, как было показано в подгл. 2.2.

*Настройка параметров преобразователя с использование списка параметров (Expert list)*

В этом разделе приводится процесс «ручной» настройки параметров электропривода с помощью комплектной панели управления либо с использованием полного списка параметров (**Expert list**) в программе Starter. В разделе приводятся подробные пояснения к параметрам, которые были заданы в процессе настройки с помощью мастера.

Сброс параметров преобразователя на заводские установки и настройка уровня доступа

Для сброса параметров преобразователя так же, как и в случае настройки параметров через мастер, необходимо нажать клавишу  или воспользоваться контекстным меню (рис. Б.14).

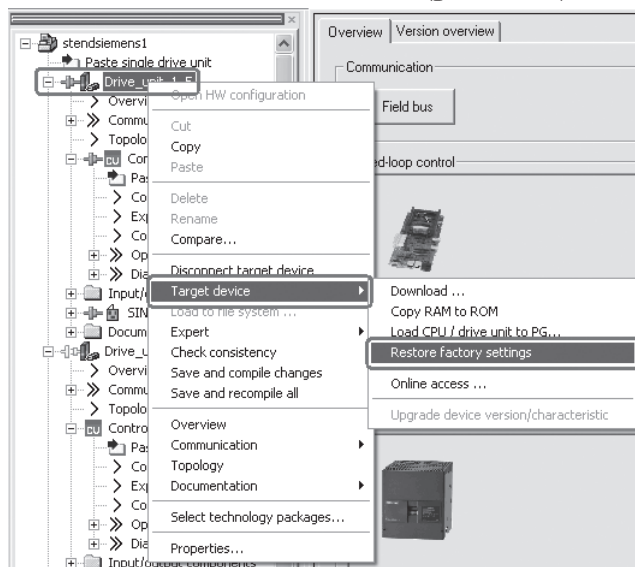


Рис. Б.14. Сброс параметров на заводские установки с помощью контекстного меню

На подключенном проекте нужно нажать правую кнопку мыши и выбрать **Target device** и **Restore factory setting**. Также сброс на заводские настройки может быть произведен с помощью одноименной клавиши на верхней панели .

Установка данных преобразователя

Установите **P50076. [0] = 33,3 %** [Уменьшение расчетной величины постоянного тока преобразователя по цепи якоря], обеспечивая разрешение 33,3 % номинальной нагрузки тиристорного преобразователя по выпрямленному току якоря двигателя.

Установите **P50076. [1] = 20 %** [Уменьшение расчетной силы постоянного тока преобразователя по цепи возбуждения], обеспечивая разрешение 20 % номинальной нагрузки тиристорного преобразователя по выпрямленному току обмотки возбуждения двигателя.

**Примечание.** Для соответствия преобразователей, мощность которых завышена по отношению к мощности двигателя, могут быть установлены более низкие стандартные значения указанных параметров, %: 10; 20; 33,3; 40; 50; 60; 66,6; 70; 80; 90.

Установите **P50078. [0] = 400 В** [Напряжение на входе преобразователя по цепи якоря], фиксируя номинальное напряжение питания тиристорного преобразователя по якорной цепи.

Установите **P50078. [1] = 400 В** [Напряжение на входе преобразователя по цепи возбуждения], фиксируя номинальное напряжение питания тиристорного преобразователя по цепи возбуждения.

Установка номинальных данных двигателя постоянного тока

Установите **P50100 = 4,5 А** [Номинальный ток якоря двигателя], фиксируя номинальный ток якоря двигателя 4,5 А.

Установите **P50101 = 220 В** [Номинальное напряжение якоря], фиксируя номинальное напряжение якоря двигателя в 220 В.

Установите **P50102 = 0,29 А** [Номинальный ток возбуждения двигателя], фиксируя номинальный ток обмотки возбуждения двигателя в 0,29 А.

Установите **P50103 = 0,25 А** [Минимальный ток возбуждения двигателя], фиксируя минимальный ток обмотки возбуждения двигателя в 0,25 А. Максимальное значение параметра P50103 должно быть менее  $0,5 \cdot P50102$  для возможности оптимизации контура регулирования тока возбуждения при работе двигателя с ослабленным потоком (при идентификации электропривода при установке P50051 = 27).

### Установка параметров датчика скорости

Установите **P50083 = 1** [Выбор текущего значения частоты вращения], подтверждая этим подключение выходных цепей аналогового датчика (тахогенератора) к входным клеммам ХТ1.103 и ХТ1.104 преобразователя (см. рис. А.38 на с. 45 и Б.1 на с. 48). Выходной сигнал аналогового датчика скорости отображается в параметре r52013.

Установите **P50741 = 30 В** [Напряжение на выходе тахогенератора, соответствующее номинальной скорости двигателя], фиксируя значение выходного напряжения тахогенератора при максимальной (в данной работе совпадает с номинальной) скорости двигателя **P50108 = 1500** об/мин равным  $U_{\text{ТГ}} = K_{\text{ТГ}} n_{\text{max}} = 0,02 \cdot 1500 = 30$  В. Предельное значение параметра P50741 составляет ( $\pm 270$ ) В.

Установите **P50743 = 0** [Выбор знака сигнала обратной связи по скорости (см. рис. 38)], разрешая этим прохождение сигнала обратной связи по скорости двигателя с различными знаками (заводская настройка). Для нереверсивного электропривода необходимо установить **P50743 = 1**, обеспечивая выделение модуля сигнала обратной связи по скорости двигателя.

При необходимости изменения знака обратной связи по скорости двигателя, параметр P50743 должен быть переведен в состояние **P50743 = 2**.

### Установка параметров ограничения тока якоря и момента двигателя

Установите **P50109 = 0** [Установка ограничения тока в функции скорости], фиксируя запрет установки зависимости ограничения тока двигателя от его скорости (см. рис. А.34 на с. 39). При этом параметры P50104–P50108, определяющие функциональную зависимость ограничения тока двигателя от его скорости, соответствуют заводской настройке.

Установите **P50171 = 150 %** [Уровень ограничения тока преобразователя при положительном моменте двигателя], выбрав тем самым ограничение тока якоря при положительном моменте, равное 150 % от P50100, то есть  $1,5 I_{\text{я.ном}}$ . Значение параметра P50171 выбирается исходя из допустимых значений токов якоря и преобразователя.

Установите **P50172 = -150 %** [Уровень ограничения тока преобразователя при отрицательном моменте двигателя], выбрав тем самым ограничение тока якоря при отрицательном моменте, равное -150 % от P50100, то есть  $-1,5 I_{\text{я.ном}}$ .

Установите **P50169 = 1** [Выбор характера ограничения момента в зависимости от потока], выбрав тем самым структуру управления электроприводом с ограничением момента двигателя в функции магнитного потока (заводская настройка). При постоянном потоке двигателя ограничение по моменту будет соответствовать ограничению по току двигателя (см. рис. А.35).

Установите **P50180 = 150 %** [Уровень ограничения положительного момента двигателя], выбрав тем самым ограничение положительного момента, равное 150 % от номинального момента, то есть  $1,5 M_{\text{ном}}$ . Ограничение значения P50180 выбирается исходя из допустимых значений тока и момента двигателя (указываются в паспортных данных двигателя либо выбираются по технологическим требованиям).

Установите **P50181 = -150 %** [Уровень ограничения отрицательного момента двигателя], выбрав тем самым ограничение отрицательного момента, равное -150 % от номинального момента, т. е.  $-1,5 M_{\text{ном}}$ .

Установка тепловой защиты двигателя

Установите **P50114 = 600 секунд** [Тепловая постоянная времени двигателя], фиксируя значение эквивалентной тепловой постоянной времени двигателя, например, для серии 1GH при  $I = 1,7 I_{\text{я.ном}}$ , равное 10 минутам (заводская настройка).

Установка параметров задатчика интенсивности

Основные параметры контура регулирования скорости соответствуют заводской настройке и определяются в процессе идентификации преобразователя. Дополнительно для ограничения темпа задания скорости двигателя и соответственно уменьшения динамических нагрузок на привод устанавливаются:

- **P50303 = 5 с** [Время разгона 1], обеспечивая разгон двигателя от нуля до номинальной скорости;
- **P50304 = P50303** [Время торможения 1], обеспечивая торможение двигателя от номинального значения до состояния покоя;
- **P50305 = 0** [Начальное сглаживание 1], обеспечивая начальное ограничение темпа разгона двигателя (закругление темпа) для ограничения рывков в электроприводе, с;
- **P50306 = 0** [Конечное сглаживание 1], обеспечивая начальное ограничение темпа торможения двигателя (закругление темпа) для ограничения рывков в электроприводе, с.

### Настройка параметров регулятора тока

Процедура идентификации параметров контура тока производится в следующей последовательности.

Установите параметр **P50051 = 25**, выбирая режим идентификации параметров контуров регулирования токов якоря и возбуждения двигателя.

Переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск**.

Команды на включение должны быть поданы в течение 30 с, иначе преобразователь перейдет в состояние ошибки **F60052**.

После завершения процесса идентификации нужно вернуть переключатели **SA2** и **SA3** в исходное состояние.

Дополнительно для ограничения производной тока якоря устанавливаются:

- **P50157 = 1** [Включение задатчика интенсивности в канал задания тока якоря];
- **P50158 = 0,01 с** [Время нарастания выходного сигнала задатчика интенсивности].

### Настройка параметров регулятора скорости

Процедура автонастройки параметров регулятора скорости также была подробно рассмотрена в предыдущем пункте и производится в следующей последовательности.

Установите параметр **P50051 = 26**, выбирая режим идентификации параметров контура регулирования скорости. Для этого переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск**.

Команды на включение должны быть поданы в течение 30 с, иначе преобразователь перейдет в состояние ошибки **F60052**.

После окончания идентификации возвратите **SA2** и **SA3** в исходное состояние.

На этом процесс параметрирования привода заканчивается. Далее нужно проверить работу электропривода, для чего нужно перевести переключатели **SA3** и **SA2** в верхнее положение и потенциометром **RP1** установить частоту вращения **1000 об/мин**. Затем осуществить переключателем **SA5** реверс и переключателем **SA2** торможение двигателя.

### *Снятие осциллограмм переходных процессов*

После настройки осциллографа в программе Starter нужно снять осциллограммы следующих процессов (на экран осциллографа выводить момент, задание на скорость и действительную скорость двигателя).

Переходные процессы пуска электропривода до **1000 об/мин** от датчика интенсивности при времени разгона и торможения **P50303 = P50304 = 2 с** и **P50303 = P50304 = 1 с**.

Переходный процесс реверса электропривода со скорости **1500 об/мин** до скорости **–1500 об/мин** при времени разгона и торможения **P50303 = P50304 = 1 с**.

Снять осциллограммы переходных процессов пуска электропривода до **1500 об/мин** при времени разгона и торможения **P50303 = P50304 = 2 с** и начальном и конечном сглаживании **P50305 = P50306 = 1 с**.

Переходный процесс реверса со скорости **1500 об/мин** до скорости **–1500 об/мин** при времени разгона и торможения **P303 = P304 = 1 с** и сглаживании **P305 = P306 = 1 с**.

#### *Самостоятельные задания (повышенной сложности)*

1. Настроить преобразователь и терминальный модуль ТМ31 таким образом, чтобы сигнал задания на скорость и команды включения поступали с потенциометра **RP2** (см. рис. А.40 со с. 50) и переключателей **SA7**, **SA8**. На практике такой подход может использоваться для организации местного управления. Нужно отметить, что для выполнения этого задания может понадобится техническая документация на преобразователь [4]. В отчете привести параметры для решения этой задачи.

2. Реализовать следующий режим работы электропривода (фиксированная уставка): при включении тумблера **SA7** электропривод разгоняется до **20 %**, при последующем включении **SA8** — до **40 %**, при включении **SA9** — до **60 %** и при включении **SA10** — до **80 %** от номинальной скорости.

3. Реализовать режим работы, в котором при включении тумблера, например **SA7**, время разгона электропривода изменяется с **5 до 2 с** [4, лист 3150]. Задание на скорость и команды на запуск электропривода организовать с потенциометра **RP1** и тумблеров **SA3**, **SA2**.

4. Реализовать «толчковый режим» [4, листы 2580, 3125] работы электропривода (Jog), который работает следующим образом. При включении тумблера **SA7** электропривод разгоняется и работает на скорости **10 %** от номинальной. При выключении тумблера электропривод останавливается. При этом основное задание на скорость и команды на запуск электропривода по-прежнему поступают с потенциометра **RP1** и тумблеров **SA3**, **SA2**.

*Контрольные вопросы*

1. Какое оборудование входит в состав лабораторного стенда?
2. Какие типы параметров используются при работе с преобразователем Sinamics DCM?
3. С помощью каких устройств можно осуществить настройку параметров преобразователя Sinamics DCM?
4. Для чего используется сброс параметров на заводские настройки?
5. От чего зависят и каким образом выбираются на практике значения перегрузки по току P50170-P50171 и по моменту P50180-P50181 двигателя?
6. Поясните назначение параметров P50157, P50158 и P50305, P50306.
7. Какие параметры двигателя и регулирующей части электропривода определяются при автоматической настройке контура тока якоря и контура скорости?
8. Для чего на практике может использоваться «толчковый режим» работы электропривода?
9. Укажите преимущества и недостатки системы ТП-Д по сравнению с частотно-регулируемым электроприводом (системой ПЧ-АД).
10. Для каких механизмов может использоваться электропривод постоянного тока на основе тиристорного преобразователя Sinamics DC Master?

*Оформление отчета*

В отчете необходимо осветить следующие позиции:

- 1) указать цель лабораторной работы;
- 2) дать краткое описание лабораторного стенда. Привести в отчете электрическую принципиальную схему силовых цепей преобразователя;
- 3) привести краткое описание последовательности параметрирования электропривода;
- 4) построить осциллограммы переходных процессов;
- 5) привести параметры для решения самостоятельных заданий;
- 6) ответить на контрольные вопросы.

## Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА ЯКОРЯ

Цель работы — изучить динамические характеристики САР тока якоря тиристорного электропривода постоянного тока.


*Программа лабораторной работы*

Лабораторной работа по исследованию системы автоматического регулирования тока якоря включает следующие этапы:

- 1) изучение принципа построения системы автоматического регулирования (САР) тока якоря;
- 2) настройку параметров САР тока якоря;
- 3) снятие переходных процессов в контуре тока якоря при заторможенном двигателе; оценку влияния предупреждения на процессы в контуре тока;
- 4) оценку влияния задатчика интенсивности в цепи задания тока якоря на переходные процессы;
- 5) снятие переходных процессов тока якоря и задания на ток якоря при формировании задания на скорость электропривода от задатчика интенсивности, оценку влияния ЭДС вращения двигателя на процессы в контуре тока;
- 6) оформление отчета.

*Настройка параметров преобразователя для исследования САР тока якоря*

Для исследования контура тока якоря в преобразователе Sinamics необходимо выполнить следующие действия.

Нажмите клавишу  для сброса параметров преобразователя на заводские установки. Можно также воспользоваться контекстным меню (см. рис. Б.14 на с. 64).

**P50076. [0] = 33,3 %** [Уменьшение расчетной величины постоянного тока преобразователя по цепи якоря] обеспечивает разрешение 33,3 % от номинальной нагрузки тиристорного преобразователя по выпрямленному току якоря двигателя.

**P50076. [1] = 20 %** [Уменьшение расчетной величины постоянного тока преобразователя по цепи возбуждения] обеспечивает разрешение 20 % от номинальной нагрузки тиристорного преобразователя по выпрямленному току обмотки возбуждения двигателя.

**P50078. [0] = 400 В** [Напряжение питания для цепи якоря] фиксирует номинальное напряжение питания тиристорного преобразовате-

ля по якорной цепи.

**P50078. [1] = 400 В** [Напряжение питания для цепи возбуждения] фиксирует номинальное напряжение питания тиристорного преобразователя по цепи возбуждения.

**P081 = 0** [Включение режима ослабления поля] обеспечивает управление электроприводом при постоянном магнитном потоке двигателя (заводская установка).

**P50100 = 4,5 А** [Номинальный ток якоря двигателя] устанавливает номинальный ток якоря двигателя 4,5 А.

**P50101 = 220 В** [Номинальное напряжение якоря] фиксирует номинальное напряжение якоря двигателя в 220 В.

**P50102 = 0,29 А** [Номинальный ток возбуждения двигателя] фиксирует значение номинального тока обмотки возбуждения двигателя в 0,29 А.

**P50103 = 0,25 А** [Минимальный ток возбуждения двигателя] фиксирует значение минимального тока обмотки возбуждения двигателя в 0,25 А.

**P50083 = 1** [Выбор текущего значения частоты вращения]. Этим параметром подтверждается подключение выходных цепей аналогового датчика (тахогенератора) к входным клеммам ХТ1.103 и ХТ1.104 преобразователя.

**P50741 = 30 В** [Напряжение на выходе тахогенератора, соответствующее номинальной скорости двигателя] фиксирует значение выходного напряжения тахогенератора при базовой скорости двигателя **P2000 = 1500** об/мин в  $0,02 \cdot 1500 = 30$  В. Предельное значение **P50741 =  $(\pm 270)$  В**.

**P50743 = 0** [Выбор знака сигнала обратной связи по скорости (см. рис. А.38 со с. 45)] разрешает этим прохождением сигнала обратной связи по скорости двигателя с различными знаками (заводская настройка). Для неререверсивного электропривода необходимо установить **P50743 = 1**, обеспечивая выделение модуля сигнала обратной связи по скорости двигателя.

При необходимости изменения знака обратной связи по скорости двигателя параметр **P50743** должен быть переведен в состояние **P50743 = 2**.

**P50157 = 0** [Включение задатчика интенсивности в канал задания тока якоря] обеспечивает отключение задатчика интенсивности на входе контура тока якоря.

**P50169 = 1** [Выбор характера ограничения момента в зависимости от потока] — выбирается структура управления электроприводом с ограничением момента двигателя в функции его магнитного потока (заводская настройка). При постоянном потоке двигателя ограничение по моменту будет соответствовать ограничению по току двигателя.

**P50171 = 100 %** [Уровень ограничения тока преобразователя при положительном моменте двигателя]. В этом случае ограничение тока якоря при положительном моменте равно 100 % от P100, т. е.  $1I_{\text{я.ном}}$ .

**P50172 = 0 %** [Уровень ограничения тока преобразователя при отрицательном моменте двигателя]. В этом случае ограничение тока якоря при отрицательном моменте равно 0 % от P50100.

Установите параметр **P50051 = 25**, выбирая режим идентификации параметров контура регулирования тока якоря и возбуждения двигателя. После установки преобразователь Sinamics на несколько секунд переключается в состояние управления 07.4, а затем возвращается в состояние 07.0 или 07.1 и ожидает ввода команд **Разрешение работы** и **Пуск**. Мигание десятичной точки на индикаторе состояния управления на панели PMU указывает на готовность преобразователя к идентификации параметров и необходимости ввода команд **Разрешение работы** и **Пуск**.

Переключателями **SA3** и **SA2** подать команды **Разрешение работы** и **Пуск**. После автоматического входа преобразователя в рабочее состояние <01.0 — Работа> начинается процесс идентификации параметров систем автоматического регулирования токов якоря и возбуждения двигателя. Процесс идентификации отражается на дисплее панели управления PMU миганием двухзначных чисел, отделенных друг от друга чертой.

После завершения идентификации нужно вернуть переключатели **Пуск** и **Разрешение работы** в исходное состояние.

Установите параметр **P50051 = 26**, выбирая режим идентификации параметров САР скорости. Для этого переключателями **SA3** и **SA2** подаются команды **Разрешение работы** и **Пуск**. Процесс идентификации также будет отражаться на дисплее панели управления PMU миганием двухзначных чисел, отделенных друг от друга чертой. Во время идентификации скорость двигателя достигает 20 % от максимальной скорости. Продолжительность идентификации не менее 6 с.

Чтобы разомкнуть контур регулирования скорости и оставить только контур тока с ограничением задания на ток, нужно установить па-

параметр **P50601. [2] = r52011** (задание на ток поступает с потенциометра RP1) или **P50601. [2] = r52401** (задание в этом случае задается в процентах в программе Starter через параметр **P50401**). В этом случае сигнал задания на ток якоря будет поступать с аналогового входа (см. рис. А.33 на с. 37, А.34 на с. 39, А.38 на с. 45).

Для исследования системы регулирования тока якоря удобно, чтобы команды «Разрешение работы» и «Пуск» подавались с тумблеров **SA3** и **SA2** соответственно. При необходимости можно производить запуск с помощью панели управления Starter (**Control Panel**).

Режим заторможенного вала двигателя может быть получен путем отключения возбуждения в параметре **P50082 = 0**. Вернуть возбуждение в исходное состояние можно установкой параметра **P50082 = 2**.

Для устранения ошибки **F60031**, которая возникает при работе преобразователя в режиме поддержания заданного тока с разомкнутым контуром скорости, можно установить значение параметра **P50388 = 100 %** — допустимая ошибка по угловой скорости.

На этом процесс параметрирования преобразователя Sinamics DCM можно считать завершенным.

*Исследование системы автоматического регулирования тока якоря*

### *Проверка работоспособности САР тока*

Внимание! Проведение дальнейших экспериментов требует высокой квалификации пользователя, поскольку любые ошибки в ходе проведения эксперимента могут привести к повреждению электротехнического оборудования!

Для проверки работы электропривода нужно задать значение задания на ток якоря **20 %** от номинального (либо с помощью потенциометра, либо в программе Starter) и перевести переключатели **SA3** и **SA2** в верхнее положение. Снять осциллограмму переходного процесса. На экран осциллографа здесь и в последующих опытах выводить задание на ток якоря и действительное значение тока якоря. При этом необходимо контролировать значение тока якоря по прибору **РА3**. Двигатель при этом не должен вращаться!

Если эксперимент прошел успешно, то можно увеличить значение задания на ток до **50 %** и повторить опыт. После этого можно переходить к исследованию процессов в САР тока.

### *Оценка влияния предуправления на процессы в САР тока*

Снять осциллограммы переходных процессов в САР тока при заторможенном вале двигателя. Для этого установить задание на ток якоря,

равное **50 %**, и произвести запуск электропривода. На экран осциллографа выводить задание на ток якоря и действительное значение тока якоря (см. данные на с. 16–17).

Отключить звено предупреждения тока якоря с помощью установки параметра **P50153 = 0** (см. рис. А.33 на с. 37). Повторить эксперимент и оценить влияние предупреждения на процессы в контуре тока.

#### *Оценка влияния задатчика интенсивности на процессы в САР тока*

Включить предупреждение в контуре тока **P50153 = 1** и снять переходный процесс по току якоря без установки задатчика интенсивности **P50157 = 0** и **P50158 = 0**. Задание на ток якоря установить на уровне **50 %**.

Активировать задатчик интенсивности на входе САР тока **P50157 = 1** и снять переходные процессы по току якоря для двух значений постоянных времени задатчика интенсивности **P50158 = 0,5 с** и **P50158 = 1 с**. Значение задания на ток якоря установить, как в предыдущем эксперименте, **50 %**. Оценить влияние задатчика интенсивности на процессы в контуре тока.

#### *Оценка влияния ЭДС вращения двигателя на процессы в САР тока*

Отключить задатчик интенсивности на входе САР тока якоря **P50157 = 0**.

Замкнуть контур регулирования скорости с помощью установки параметров **P50601. [2] = r52134**. При этом задание на скорость можно подавать либо с потенциометра RP1, либо с персонального компьютера.

Установить время разгона и торможения **P50303 = P50304 = 1 с** и повторить процедуру автонастройки регулятора скорости **P50051 = 26**, подавая команды «Разрешение работы» и «Пуск» с помощью тумблеров SA3 и SA2.

Снять осциллограмму пуска электропривода при задании на скорость **100 %** от номинальной. На экран осциллографа вывести скорость, задание на ток якоря и действительное значение тока якоря. По величине ошибки по току якоря оценить эффективность компенсации ЭДС вращения двигателя в преобразователе Sinamics DCM.

#### *Контрольные вопросы*

1. Какой тип регулятора тока используется в преобразователе Sinamics DCM и как производится настройка его параметров?
2. Как влияет предупреждение тока якоря на процессы в САР тока и в каких случаях его необходимо использовать?

3. Для чего предназначен задатчик интенсивности на входе САР тока якоря, в каких случаях его необходимо использовать и как он влияет на процессы в САР тока?

4. Как выбирается постоянная времени задатчика Р50158 интенсивности в САР тока?

5. Каким образом задается быстродействие системы регулирования тока и с помощью каких параметров его можно изменить?

6. Каким образом в преобразователе осуществляется смена полярности тока якоря, если регулируется абсолютное значение тока якоря?

7. Каким образом в преобразователе Sinamics осуществляется компенсация влияния ЭДС вращения и насколько она эффективна?

8. Какая переменная формируется на выходе регулятора тока?

*Содержание отчета*

Отчет должен включать в себя следующие позиции:

- 1) название и цель лабораторной работы;
- 2) функциональную схему САР тока якоря;
- 3) графики осциллограмм переходных процессов в контуре тока с анализом полученных результатов;
- 4) выводы по проделанной работе;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

## Лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОНТУРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

Цель работы — изучить статические и динамические характеристики однократно и двукратно интегрирующей систем регулирования скорости тиристорного электропривода постоянного тока.


### *Программа лабораторной работы*

Лабораторной работа по исследованию двухконтурных систем автоматического регулирования скорости включает следующие этапы:

- 1) изучение принципа построения типовой структуры системы автоматического регулирования скорости электропривода постоянного тока;
- 2) настройку параметров двухконтурной САР скорости электропривода постоянного тока;
- 3) снятие механических характеристик электропривода с двухконтурной САР скорости;
- 4) снятие осциллограмм переходных процессов при ступенчатом задании управляющего и возмущающего воздействий;
- 5) снятие осциллограмм переходных процессов электропривода с датчиком интенсивности;
- 6) оформление отчета.

*Задание структуры и параметрирование двухконтурной системы подчиненного регулирования скорости*

Для задания структуры и параметров двухконтурной системы подчиненного регулирования необходимо выполнить следующие действия:

- 1) нажмите клавишу  для сброса параметров преобразователя на заводские установки;
- 2) установите **P50076. [0] = 33,3%** [Уменьшение расчетной силы постоянного тока преобразователя по цепи якоря];
- 3) установите **P50076. [1] = 20 %** [Уменьшение расчетной силы постоянного тока преобразователя по цепи возбуждения];
- 4) установите **P50078. [0] = 400 В** [Снижение номинального напряжения питания преобразователя] (по цепи якоря двигателя);
- 5) установите **P50078. [1] = 400 В** [Снижение номинального напряжения питания преобразователя] (по цепи возбуждения);
- 6) установите **P50081 = 0** [Включение режима ослабления поля]. Работа электропривода с постоянным магнитным потоком;

7) установите **P50100 = 4,5 А** [Номинальный ток якоря двигателя];  
8) установите **P50101 = 220 В** [Номинальное напряжение якоря];  
9) установите **P50102 = 0,29 А** [Номинальный ток возбуждения двигателя];

10) установите **P50103 = 0,25 А** [Минимальный ток возбуждения двигателя];

11) установите **P50109 = 0** [Установка ограничения тока в функции скорости] — запрет установки зависимости ограничения тока двигателя от его скорости;

12) установите **P50114 = 10 минутам** [Тепловая постоянная времени двигателя];

13) установите **P50083 = 1** [Выбор истинного значения скорости], (сигнал с тахогенератора);

14) установите **P50741 = 30** [Напряжение на выходе тахогенератора, соответствующее номинальной скорости двигателя] и значение базовой скорости двигателя **P2000 = 1500 об/мин**;

15) установите **P50743 = 0** [Выбор знака сигнала обратной связи по скорости] — разрешает прохождение сигнала обратной связи по скорости двигателя с различными знаками;

16) **P50157 = 1** [Включение задатчика интенсивности в канал задания тока якоря] — подключение между выходом регулятора скорости и входом контура регулирования тока задатчика интенсивности;

17) **P50158 = 0,01 с** [Время нарастания выходного сигнала задатчика интенсивности];

18) **P50169 = 1** [Выбор характера ограничения момента в зависимости от потока] — структура управления электроприводом с ограничением момента двигателя в функции его магнитного потока;

19) установите **P50171 = 100 %** [Уровень ограничения тока преобразователя при положительном моменте двигателя];

20) установите **P50172 = -100 %** [Уровень ограничения тока преобразователя при отрицательном моменте двигателя];

21) установите **P50180 = 100 %** [Уровень ограничения положительного момента двигателя];

22) установите **P50181 = -100 %** [Уровень ограничения отрицательного момента двигателя];

23) **P50303 = 5 с** [Время разгона];

24) **P50304 = P303** [Время торможения];

25) **P50305 = 0** [Начальное сглаживание];

26) **P50306 = 0** [Конечное сглаживание];

27) установите параметр **P50051 = 25**, выбирая режим идентификации параметров контуров регулирования токов якоря и возбуждения двигателя. Переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск** для начала процесса идентификации. После окончания идентификации параметр **P50051** вернется в исходное состояние. После процесса идентификации следует вернуть переключатели **SA2** и **SA3** в исходное положение;

28) параметром **P50224** [Отключение интегральной составляющей регулятора скорости] выбирается тип регулятора скорости. Устанавливая параметр **P50224 = 0**, получаем пропорциональный регулятор скорости, то есть однократно интегрирующую САР скорости. Значением параметра **P50224 = 1** (заводская установка) устанавливается пропорционально-интегральный регулятор скорости.

**Примечание.** При использовании П-регулятора скорости, в контуре возникает статическая ошибка в процессе приложения нагрузки, которая может превышать значение, установленное в параметре **P50388 = 3 %** [Допустимая ошибка регулирования]. Превышение допустимой ошибки по скорости приводит к ошибке **F60031** [Контроль регулятора скорости]. Для предотвращения этого необходимо повысить значение параметра **P50388 = 100 %**;

29) быстродействие САР скорости задается параметром **P50236** [Установка динамики системы регулирования скорости]. Диапазон изменения параметра **P50236** составляет от 10 до 100 %. Более высокое значение параметра соответствует более высокому быстродействию системы регулирования. Установить значение **P50236 = 75 %**.

Внимание! Изменения параметра **P50236** вступают в силу только после проведения процесса оптимизации регулятора скорости **P50051 = 26**;

30) установите параметр **P50051 = 26**, выбирая режим идентификации параметров САР скорости. Переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск**. Процесс идентификации также будет отражаться на дисплее панели управления РМУ миганием двухзначных чисел, отделенных друг от друга чертой. После процесса оптимизации регулятора скорости необходимо вернуть переключатели **SA2** и **SA3** в исходное положение. Значение постоянной времени фильтра в прямом канале (**P50228**) автоматически устанавливается равным значению постоянной времени регулятора скорости (**P50226**) (см. рис. А.36 на с. 42). Если необходимо задать фильтр в ка-

нале обратной связи по скорости (P50200) (по умолчанию отсутствует), то после этого необходимо повторить процедуру оптимизации регулятора скорости.

Далее следует опробовать работу электропривода с оценкой соответствия времени пуска и торможения заданию.

Опробование электропривода выполняется в такой последовательности.

1. Включите переключатель **SA3 — Разрешение работы.**
2. Включите переключатель **SA2 — Пуск/Стоп.**
3. Установите переключатель **SA5 — Вперед/Назад** в положение **Вперед.**
4. Потенциометром **RP1** задайте частоту вращения **1000 об/мин.**
5. Осуществите пробный реверс и торможение двигателя с оценкой времени переходных процессов.

Можно также провести опробование работы электропривода с помощью панели управления в программе Starter. Следующим этапом является опробование работы нагрузочного устройства.

Создание нагрузки на лабораторных стендах осуществляется преобразователями частоты ABB и Siemens. Для работы с нагрузочной машиной необходимо обратиться к соответствующим руководствам.

Внимание! При работе с нагрузкой значение тока якоря ДПТ на амперметре PA1 не должно превышать 4,5 А.

На этом опробование работы электропривода и нагрузочного устройства заканчивается.

*Исследование двухконтурной системы подчиненного регулирования скорости*

*Снятие механических характеристик электропривода*

Снятие механических характеристик электропривода производится для различных фиксированных значений задания на входе САР скорости, соответствующих частотам вращения двигателя  $n_{xx}$ , равным **1500, 1000 и 500 об/мин.**

Для снятия каждой механической характеристики вначале, при токе нагрузочной машины, равном нулю, установить скорость холостого хода, а затем, последовательно задавая фиксированные значения тока нагрузочной машины, снять частоту вращения двигателя **r0021** в оборотах в минуту и значение электромагнитного момента в параметре **r0031** в ньютонах на метр. В параметре **r0027** отображается значение тока якоря в амперах.

Во время эксперимента необходимо также контролировать значения тока якоря и скорости двигателя по приборам или в программе Starter.

*Снятие осциллограмм переходных процессов при ступенчатом задании управляющего воздействия*

При снятии осциллограмм переходных процессов по управляющему воздействию, то есть при ступенчатом задании угловой скорости двигателя, целесообразно выводить на экран осциллографа следующие переменные:

- задание на скорость двигателя (**r0060**);
- действительную скорость двигателя (**r0063**);
- электромагнитный момент двигателя (**r0080**);
- ток якоря двигателя (**r0068**).

Значения соответствующих параметров в программе Starter указаны на с. 16.

Для снятия осциллограмм при ступенчатом задании управляющего воздействия необходимо выполнить следующие действия:

1) установить параметры время разгона и время торможения **P50303 = P50304 = 0 с**. Перед запуском привода потенциометр **RP1** должен быть выведен до упора против часовой стрелки;

2) запустить привод. С помощью потенциометра **RP1** либо в программе **Starter** установить значение угловой скорости, равное **20 %** от номинальной;

3) задавая переключателем **SA2** (либо кнопками **Пуск** и **Стоп** в программе Starter) ступенчатый сигнал задания на скорость двигателя, снять осциллограммы пуска и торможения электропривода;

4) повторить опыт, изменяя быстродействие системы регулирования с помощью параметра **P50236 = 25 %**.

Важно отметить, что при изменении быстродействия необходимо повторить процедуру автонастройки САР скорости.

*Снятие осциллограмм переходных процессов при ступенчатом задании возмущающего воздействия*

Осциллограммы переходных процессов скорости и электромагнитного момента двигателя при ступенчатом задании момента нагрузки снимаются в следующей последовательности:

1) установить время разгона и торможения с помощью параметров **P50303 = P50304 = 5 с**;

2) запустить привод. Потенциометром **RP1** задания скорости либо в программе **Starter** установить частоту вращения двигателя  $n_{xx} = 1000 \text{ об/мин}$ ;

3) с помощью нагрузочного устройства постепенно задать нагрузку такой величины, чтобы ток якоря двигателя находился в пределах  $(0,5-0,8)I_{я.ном}$ ;

4) снять осциллограммы при сбросе и набросе нагрузки, подавая ступенчатый сигнал на задание нагрузки;

5) снять осциллограммы при различном быстродействии системы регулирования для двух значений параметра **P50236 = 75 %** и **P50236 = 25 %**.

После завершения эксперимента необходимо сначала снять нагрузку и только затем затормозить двигатель, установив переключатель **SA2** в положение **Стоп**.

*Снятие осциллограмм переходных процессов с задатчиком интенсивности*

Для исследования реакции САР скорости на сигнал задатчика интенсивности необходимо с помощью потенциометра **RP1** либо в программе **Starter** установить  $n_{xx} = 1000 \text{ об/мин}$  и задать время разгона **P50303 = P50304 = 2 с**. Задавая переключателем **SA2** (или кнопками в программе) ступенчатый сигнал на входе ЗИ, снять осциллограммы задания на скорость, действительной скорости и момента при пуске электропривода при различных значениях параметров **P50236 = 75 %** и **P50236 = 25 %**. Опыт повторить для скорости холостого хода  $n_{xx} = 500 \text{ об/мин}$ .

*Самостоятельные задания (повышенной сложности)*

1. Подключить генератор сигналов ко входу однократной системы автоматического регулирования скорости (см. рис. А.23 на с. 29). Снять переходный процесс при работе электропривода от генератора прямоугольных сигналов с периодом **2 с** и амплитудой **20 %** от номинальной скорости. На график переходного процесса выводить сигналы (см. рис. А.26 на с. 31):

- задания на скорость;
- действительной скорости двигателя;
- электромагнитного момента двигателя.

Изменяя коэффициент усиления регулятора скорости **P50225**, построить контур на модульный оптимум. Снять переходный процесс при ступенчатом задании управляющего воздействия, которое формируется генератором сигналов.

2. Настроить двукратно интегрирующую систему автоматического регулирования скорости на модульный оптимум со следующими показателями качества переходного процесса на ступенчатое управляющее воздействие:

- перерегулирование графика скорости  $\sigma = 6,2\%$ ;
- время достижения максимума графика скорости  $t_m = 0,18$  с.

Ступенчатое воздействие подавать с использованием генератора сигналов либо установить время разгона и торможения 0 с. Снять графики переходных процессов по скорости, заданию на скорость и моменту двигателя.

Контур регулирования тока при работе над этим заданием необходимо оставить без изменений, а изменение быстродействия реализовать за счет установки фильтров в канале задания и в канале обратной связи по скорости [2].

Важно отметить, что перед выполнением этого задания необходимо проконсультироваться с преподавателем об изменении параметров преобразователя и о постановке экспериментов.

3. Настроить двукратно интегрирующую систему автоматического регулирования скорости при быстродействии **P50236 = 25 %** таким образом, чтобы при реакции системы от задатчика интенсивности в системе отсутствовала динамическая ошибка по скорости. В отчете привести параметры для реализации этого задания и процесс пуска ДИ САР скорости от задатчика интенсивности со временем разгона 1 с.

#### *Контрольные вопросы*

1. Какие контуры регулирования используются в типовой САР скорости и как настраиваются параметры регуляторов?
2. Какие типы регуляторов тока якоря и скорости используются в однократно интегрирующей САР скорости?
3. Каким образом осуществляется выбор типа регулятора скорости в преобразователе Sinamics DCM?
4. Как задается быстродействие системы регулирования и какое влияние оказывает различное быстродействие на статические и динамические характеристики?
5. Назовите структурные отличия двукратно интегрирующей САР от однократно интегрирующей САР скорости.
6. Как осуществляется ограничение перегрузочной способности электропривода по моменту в САР скорости?

7. В чем состоит отличие механических характеристик электроприводов с однократно интегрирующей и двукратно интегрирующей САР скорости?

8. Какие показатели качества используются для оценки САР скорости в переходных режимах?

*Содержание отчета*

Отчет должен включать в себя следующие позиции.

- 1) название и цель лабораторной работы;
- 2) функциональную схему системы управления тиристорного электропривода Sinamics DCM;
- 3) таблицы результатов, полученных при проведении экспериментов;
- 4) графики снятых электромеханических, механических характеристик и осциллограммы переходных процессов электропривода с анализом полученных результатов;
- 5) выводы по проделанной работе;
- 6) ответы на контрольные вопросы.

## Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗОННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ

Цель работы — изучить статические и динамические характеристики двухзонной системы регулирования скорости тиристорного электропривода постоянного тока.

*Программа лабораторной работы*

Лабораторной работа по исследованию двухзонной системы автоматического регулирования скорости включает в себя следующие этапы:

- 1) изучение принципа построения структуры двухзонной системы автоматического регулирования скорости электропривода постоянного тока;
- 2) настройку параметров двухзонной САР скорости электропривода постоянного тока;
- 3) снятие механических характеристик электропривода с двухзонной САР скорости;
- 4) снятие осциллограмм переходных процессов при ступенчатом задании управляющего и возмущающего воздействий;
- 5) снятие осциллограмм переходных процессов электропривода с датчиком интенсивности;
- 6) оформление отчета.

*Задание структуры и настройка параметров двухзонной САР скорости*

Для задания структуры и параметров двухзонной системы подчиненного регулирования удобнее всего воспользоваться мастером настройки параметров, который был подробно описан в первой лабораторной работе, поэтому последовательность действий практически такая же. Здесь остановимся на основных отличиях в настройке.

1. Во время установки параметров двигателя необходимо задать минимальный ток возбуждения не больше половины номинального (рис. Б.15). Для этого устанавливаем значение параметра **P50103 [0]=0.14 А**.

2. На вкладке задания параметров датчика скорости необходимо установить значение напряжения тахогенератора при максимальной скорости **P50741 = 60 В** и значение базовой скорости двигателя **P2000 = 3000 об/мин** (рис. Б.16).

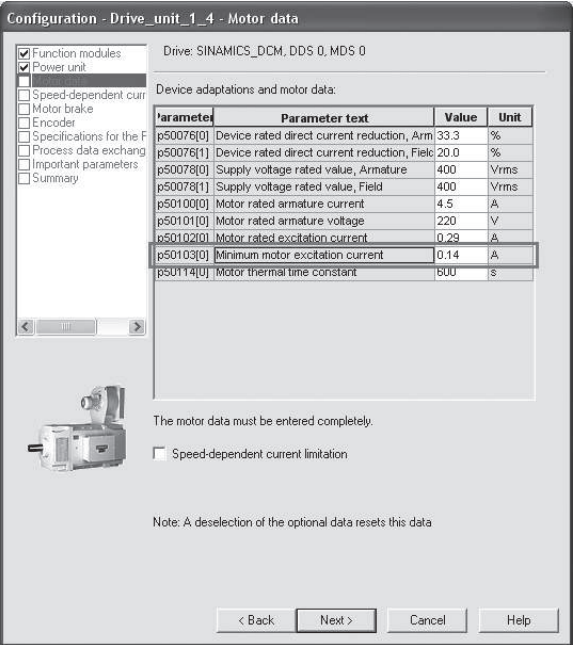


Рис. Б.15. Установка номинальных данных двигателя в двухзонной системе управления

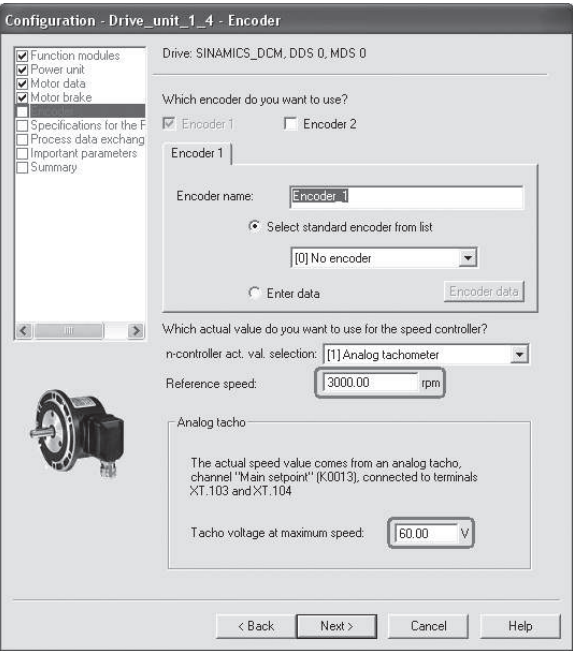


Рис. Б.16. Установка параметров датчика скорости для двухзонной системы

Эти значения выше, чем в однозонных системах, поскольку в двухзонной системе регулирования скорость двигателя превышает номинальную при работе во второй зоне с ослабленным магнитным потоком.

Важно отметить, что все значения скорости в процентах будут относиться к базисному значению скорости, которое составляет 3000 об/мин. Поэтому при таких установках значение 50 % будет соответствовать номинальной скорости двигателя.

3. На вкладке настройки параметров возбуждения нужно активировать режим ослабления поля **Field weakening — [1] Activated**, тем самым установив двухзонную систему автоматического регулирования скорости (рис. Б.17).

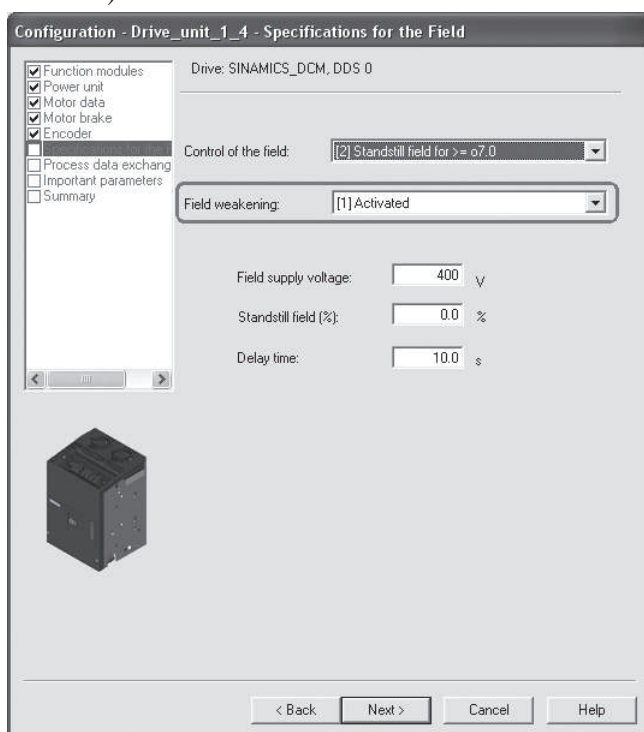


Рис. Б.17. Выбор двухзонной системы управления

В списке параметров за активацию двухзонной системы автоматического регулирования отвечает параметр **P50081 = 1**. Установка этого параметра в ноль деактивирует режим ослабления магнитного потока.

Все остальные параметры, за исключением ограничений по току и моменту (см. рис. Б.12 со с. 60), которые нужно установить на **100 %**, остаются такими же, как в лабораторной работе № 1.

На следующем этапе необходимо провести автонастройку систем регулирования тока скорости и ЭДС.

4. Установите параметр **P50051 = 25**, выбирая режим идентификации параметров контуров регулирования токов якоря и возбуждения двигателя. Переключателями **SA3** и **SA2** подать команды **Разрешение работы** и **Пуск** для начала процесса идентификации. После окончания идентификации параметр P50051 вернется в исходное состояние. После процесса идентификации вернуть переключатели **SA2** и **SA3** в исходное положение.

5. Установите параметр **P50051 = 26**, выбирая режим идентификации параметров контура регулирования скорости. Для этого переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск**.

Устанавливая параметр **P50224 = 0**, получаем пропорциональный регулятор скорости, то есть однократно интегрирующую САР скорости. Для предотвращения ошибки F60031, которая возникает при большом рассогласовании по скорости, устанавливаем значение параметра **P50388 = 100 %**.

6. Установите параметр **P50051 = 27**, выбирая режим идентификации параметров контура регулирования ЭДС. Для этого переключателями **SA3** и **SA2** подайте команды **Разрешение работы** и **Пуск**. Выполнение этого пункта является обязательным для двухзонной системы, поскольку во время идентификации снимается кривая намагничивания двигателя и задаются следующие параметры:

- характеристика намагничивания двигателя (параметры P50120—P50139);
- коэффициент усиления регулятора ЭДС (P50275);
- постоянная времени интегрирования регулятора ЭДС (P50276).

Для получения характеристики намагничивания во время процесса идентификации двигатель разгоняется примерно до 80 % от номинальной скорости и постепенно снижает ток возбуждения до минимального значения, указанного в параметре P50103.

Во время процессов идентификации команды на включение должны быть поданы в течение 30 с, иначе преобразователь перейдет в состояние ошибки **F60052**.

На этом процесс настройки параметров двухзонной системы регулирования скорости можно считать завершенным.

Создание нагрузки на лабораторных стендах осуществляется преобразователями частоты ABB и Siemens, и для работы с нагруз-

зочной машиной необходимо обратиться к соответствующим руководствам.

Внимание! При работе с нагрузкой значение тока якоря ДПТ на амперметре РА1 не должно превышать 4,5 А.

На этом опробование работы электропривода и нагрузочного устройства заканчивается.

*Исследование двухконтурной системы подчиненного регулирования скорости*

*Снятие механических характеристик электропривода*

Снятие механических характеристик электропривода производится для различных фиксированных значений задания на входе САР скорости, соответствующих частотам вращения двигателя  $n_{xx}$ , равным **2000, 1500 и 1000 об/мин.**

Для снятия каждой механической характеристики вначале, при токе нагрузочной машины, равном нулю, установить скорость холостого хода, а затем, последовательно задавая фиксированные значения тока нагрузочной машины, снять частоту вращения двигателя **r0021** в оборотах в минуту и значение электромагнитного момента в параметре **r0031** в ньютонах на метр.

*Снятие осциллограмм переходных процессов с задатчиком интенсивности*

Для исследования реакции САР скорости на сигнал задатчика интенсивности необходимо с помощью потенциометра **RP1** либо в программе Starter установить  $n_{xx} = 2000$  об/мин и задать время разгона **P50303 = P50304 = 2 с.** Задавая переключателем **SA2** (или кнопками в программе) ступенчатый сигнал на входе ЗИ, снять осциллограммы задания на скорость, действительной скорости и момента при пуске электропривода. Опыт повторить для скорости холостого хода  $n_{xx} = 1500$  об/мин и  $n_{xx} = 1000$  об/мин.

Установить значение параметра **P50169 = 0** (выбор между ограничением тока и момента двигателя, см. рис. А.35 на с. 40) и повторить снятие переходного процесса при задании на скорость  $n_{xx} = 2000$  об/мин.

На график переходного процесса вывести следующие сигналы (см. рис. А.26 на с. 31):

- задание на скорость;
- действительная скорость двигателя;
- ток якоря двигателя;
- ток возбуждения двигателя;

- ЭДС двигателя;
- электромагнитный момент двигателя.

*Снятие осциллограмм переходных процессов при ступенчатом задании возмущающего воздействия*

Осциллограммы переходных процессов скорости и электромагнитного момента двигателя при ступенчатом задании момента нагрузки снимаются в следующей последовательности:

1) устанавливают время разгона и торможения с помощью параметров **P50303 = P50304 = 5 с**;

2) запускают привод. Потенциометром **RP1** задания скорости либо в программе **Starter** устанавливают частоту вращения двигателя  $n_{xx} = 2000 \text{ об/мин}$ ;

3) с помощью нагрузочного устройства постепенно задают нагрузку такой величины, чтобы ток якоря двигателя находился в пределах  $(0,5-0,8)I_{я.ном}$ ;

4) снимают осциллограммы при сбросе и набросе нагрузки, подавая ступенчатый сигнал на задание нагрузки;

5) на экран осциллографа выводят значения электромагнитного момента, тока якоря, задания на скорость и угловой скорости двигателя.

После завершения эксперимента необходимо сначала снять нагрузку и только затем затормозить двигатель, установив переключатель **SA2** в положение **Стоп**.

*Контрольные вопросы*

1. В каких случаях применяется двухзонная САР скорости?
2. Какие системы регулирования входят в состав двухзонной САР скорости?
3. Какие типы регуляторов применяются в двухзонной САР скорости?
4. Как изменяется жесткость механических характеристик при работе электропривода во второй зоне при использовании пропорционального регулятора скорости?
5. Как изменятся механические характеристики электропривода при использовании ПИ регулятора скорости?
6. Пояснить влияние параметра P50169 на процесс пуска системы от задатчика интенсивности. В каких случаях необходимо выбирать значение 0 и значение 1 для этого параметра?

### *Содержание отчета*

Отчет выполняется по следующему плану:

- 1) название и цель лабораторной работы;
- 2) функциональная схема системы управления тиристорного электропривода Sinamics DCM;
- 3) таблицы результатов, полученных при проведении экспериментов;
- 4) графики механических характеристик и осциллограммы переходных процессов электропривода с анализом полученных результатов;
- 5) выводы по проделанной работе;
- 6) ответы на контрольные вопросы.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

---

1 Терехов В. М. Системы управления электроприводов : учебник / В. М. Терехов, О. И. Осипов ; под ред. В. М. Терехова. М. : Академия, 2005. 304 с.

2 Шрейнер Р. Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов : учеб. пособие / Р. Т. Шрейнер. Екатеринбург : Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2008. 279 с.

3 SINAMICS DCM. Инверторы переменного тока в постоянный 6 кВт — 2500 кВт для электроприводов постоянного тока с изменяемой частотой вращения [Электронное издание] : руководство по эксплуатации SIEMENS. Издание 01/2012. Режим доступа [http://cache.automation.siemens.com/dnl/jA/jA2MTI3AAAA\\_59381290\\_HB/dcm-converter-0212-ru.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/jA/jA2MTI3AAAA_59381290_HB/dcm-converter-0212-ru.pdf). 578 с. Загл. с экрана.

4 SINAMICS DCM [Электронное издание] : справочник по параметрированию. Издание 06/2010. Режим доступа [http://cache.automation.siemens.com/dnl/TU/TUzOTYzOQAA\\_40600673\\_HB/dcm-lh8-0610-ru.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/TU/TUzOTYzOQAA_40600673_HB/dcm-lh8-0610-ru.pdf). 1086 с. Загл. с экрана.

5 SINAMICS DCM. DC Converter, Control Module. Catalog D 23.1. Edition 2014 [Электронное издание]. Режим доступа [https://www.automatyka.siemens.pl/docs/docs\\_ia/sinamics-dcm-catalog-d23-1-en.pdf](https://www.automatyka.siemens.pl/docs/docs_ia/sinamics-dcm-catalog-d23-1-en.pdf). 186 с. Загл. с экрана.

6 Системы управления электроприводами постоянного тока (преобразователь Simoreg DC Master) : методические указания к лабораторным работам по курсу «Системы управления электроприводами» / сост. Ю. В. Плотников, В. Н. Поляков. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 60 с.

7 Плотников Ю. В. Системы управления электроприводами переменного тока. Управление электроприводами по сети PROFIBUS :

учебно-методическое пособие / Ю. В. Плотников, В. Н. Поляков. Екатеринбург : УрФУ, 2011. 106 с.

8 Sinamics. Свободные функциональные блоки. Описание функций 01/2011. Siemens [Электронное издание]. Режим доступа: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/040/49492040/att\\_54215/v1/FH2\\_0111\\_rus.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/040/49492040/att_54215/v1/FH2_0111_rus.pdf). 192 с. Загл. с экрана.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ.....	3
РАЗДЕЛ А.....	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ СЕРИИ SINAMICS DCM И ПРИНЦИПАХ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ .....	4
1.1. Общие сведения о тиристорных преобразователях Sinamics DCM .....	4
1.2. Коммуникационная плата PROFINET CBE20 .....	9
1.3. Терминальный модуль TM31 .....	10
2. НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ SINAMICS DCM .....	11
2.1. Настройка параметров преобразователя с помощью базовой панели управления .....	11
2.2. Настройка параметров преобразователя с помощью программного обеспечения Starter .....	18
2.3. Методика снятия осциллограмм переходных процессов с помощью программы Starter .....	25
2.4. Подключение периферийных устройств в программе Starter (модуль TM31).....	31
3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТИПОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ.....	33
3.1. Функциональная схема системы управления преобразователя Sinamics DCM .....	33
3.2. Узел управления тиристорами .....	35
3.3. Регулятор тока якоря.....	36
3.4. Ограничение тока якоря.....	38
3.5. Ограничение момента двигателя .....	40
3.6. Регулятор скорости.....	41

3.7. Задатчик интенсивности .....	43
3.8. Аналоговые входы .....	44
РАЗДЕЛ Б.....	47
1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	47
1.1. Нагрузочное устройство .....	51
1.2. Порядок включения стенда.....	51
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	52
Лабораторная работа № 1	
ПАРАМЕТРИРОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО	
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА	
SINAMICS DCM.....	52
Лабораторная работа № 2	
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО	
РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА ЯКОРЯ.....	71
Лабораторная работа № 3	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХКОНТУРНЫХ СИСТЕМ	
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	
СКОРОСТИ .....	77
Лабораторная работа № 4	
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗОННЫХ СИСТЕМ	
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ....	85
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ	
СПИСОК.....	92

*Учебное электронное сетевое издание*

**Плотников Юрий Валерьевич,  
Поляков Владимир Николаевич**

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА  
(Преобразователь Sinamics DCM)**

*Редактор И. В. Меркурьева  
Компьютерный набор Ю. В. Плотникова  
Верстка Е. В. Ровнушкиной*

Подписано в печать 23.12.2016. Формат 70×100 1/16.  
Гарнитура *Newton*. Уч.-изд. л. 3,6.

Издательство Уральского университета  
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ  
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5  
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41  
E-mail: rio@urfu.ru



