

Е. Н. Ковалёв

**КОМПЬЮТЕРНАЯ И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ
ТЕХНИКА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**

**ТИПОВЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2023**

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

Е. Н. Ковалёв

**КОМПЬЮТЕРНАЯ И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ
ТЕХНИКА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**

**ТИПОВЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ**

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2023

УДК 62-83(076)
ББК 31.291я7
К 560

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и электротехники Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

Н. С. Благодарный;

кандидат технических наук, главный инженер проектов ООО «Санкт-Петербургский центр промышленного инжиниринга»

К. Ф. Лобов

Ковалёв, Е. Н.

К 560 Компьютерная и микропроцессорная техника в электроприводе. Типовые функции системы управления электроприводами: учебное пособие / Е. Н. Ковалёв. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. — 74 с.

ISBN 978-5-91646-351-4

Учебное пособие соответствует программам и учебным планам дисциплин «Компьютерная и микропроцессорная техника в электроприводе» и «Цифровая техника в электроприводе» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника, профиль подготовки «Электропривод и автоматика». В учебном пособии рассмотрены функции типовых модулей цифровых систем управления электроприводами.

Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения.

УДК 62-83(076)
ББК 31.291я7

ISBN 978-5-91646-351-4

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2023
© Ковалёв Е. Н., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ. СИЛОВАЯ ЧАСТЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ.....	4
2. СЛОВА УПРАВЛЕНИЯ И СЛОВА СОСТОЯНИЯ	9
3. ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ ЗАДАННОГО ЗНАЧЕНИЯ	15
3.1. Задание от аналоговых входов.....	17
3.2. Задание со встроенной панели управления.....	19
3.3. Фиксированные задания	20
3.4. Функция «Мотор-потенциометр».....	21
3.5. Передача задания по шине управления	23
4. ПОДГОТОВКА СИГНАЛА ЗАДАНИЯ	24
4.1. Ограничение максимального и минимального значения.....	26
4.2. Ограничение минимального задания по абсолютной величине	26
4.3. Пропуск критических частот	26
4.4. Задатчик интенсивности.....	28
5. ФУНКЦИИ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ.....	29
5.1. ПИ-регулятор	31
5.2. Выбор обратной связи по скорости.....	33
5.3. Функция статизма, Droop-function	37
5.4. Компенсация момента сопротивления, момента инерции.....	39
5.5. Форсировка сигнала обратной связи (SpeedUp функция)	43
6. РЕГУЛЯТОРЫ ТОКА	45
6.1. Регуляторы тока как регуляторы момента.....	45
6.1.1. Цепи ограничения заданного момента.....	46
6.1.2. Настройка ограничений тока в зависимости от частоты вращения.	48
6.1.3. Динамическая коррекция в цепи заданного момента.....	51
6.1.4. Ограничение темпа нарастания тока.....	52
6.1.5. Предупреждение в контуре регулирования якорного тока	54
6.1.6. Адаптация регулятора тока	56
6.2. Регуляторы тока как регуляторы магнитного потока.....	60
7. РЕГУЛЯТОР ЭДС	63
8. ТИПОВЫЕ ФУНКЦИИ	66
8.1. ПИД-регулятор.....	66
8.2. Функции автонастройки регуляторов	68
8.3. Функции для повышения устойчивости электрооборудования к нарушениям электроснабжения.....	69
8.3.1. Автоматика повторного включения	69
8.3.2. Подхват на лету (улавливание).....	69
8.3.3. Регулирование напряжения V_{dc} , кинетическое буферирование	70
9. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ	71
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	74

1. ВВЕДЕНИЕ. СИЛОВАЯ ЧАСТЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Применяемые в различных отраслях промышленности электроприводы можно классифицировать по самым разнообразным критериям, в том числе:

- по мощности приводов;
- по типу применяемых двигателей;
- по параметрам питающего напряжения;
- регулируемые и не регулируемые по скорости приводы.

В регулируемых по скорости промышленных электроприводах, работающих при напряжениях до 1000 В, в основном применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и двигатели постоянного тока с независимым возбуждением. Конечно же, применяются и другие типы электрических машин: синхронные машины как с обмоткой возбуждения, так и с постоянными магнитами; асинхронные машины с фазным ротором; двигатели постоянного тока с постоянными магнитами, с последовательными обмотками возбуждения; шаговые двигатели.

Для регулирования скорости синхронных и асинхронных машин применяют преобразователи частоты. На рисунке 1.1 показана типичная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Преобразователь частоты UZ выполнен по схеме с промежуточным звеном постоянного тока (управляемый или неуправляемый выпрямитель). За счёт широтно-импульсной модуляции напряжения звена постоянного тока на выходе инвертора формируется основная гармоника выходного переменного напряжения; высшие гармоники подавляются выходным фильтром. Регулирование скорости и момента асинхронного двигателя выполняется за счёт изменения напряжения и частоты выходного напряжения инвертора.

Микропроцессор управляет силовыми IGBT ключами преобразователя в соответствии с алгоритмами формирования управляющих импульсов. Для ввода управляющих сигналов и вывода информации о состоянии преобразователя предназначены устройства дискретных и аналоговых входов и выходов, встроенные панели управления, модули подключения к промышленным информационным сетям, порты подключения к персональному компьютеру.

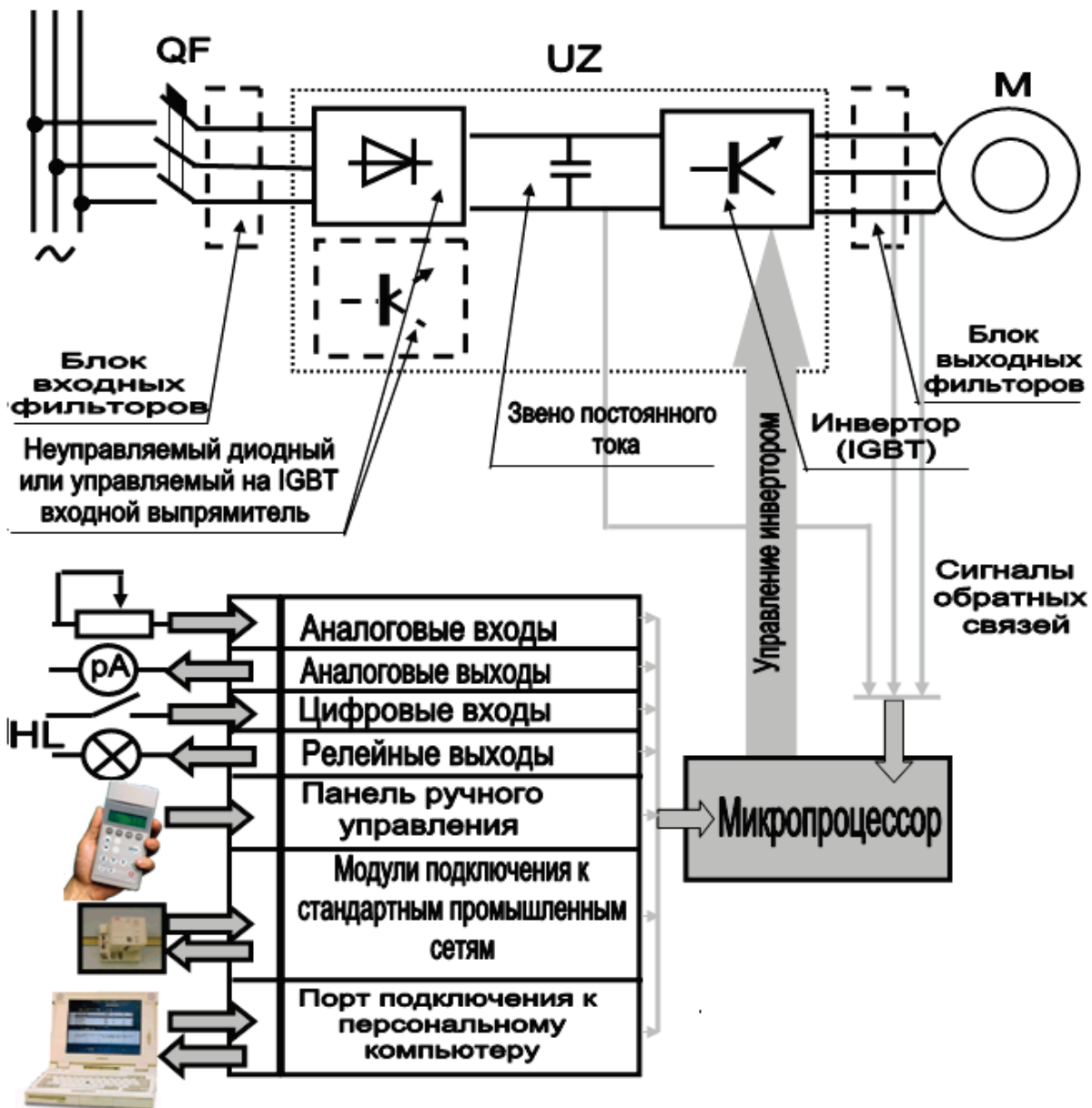


Рис. 1.1. Функциональная схема регулируемого асинхронного электропривода

Для регулирования скорости двигателей постоянного тока наиболее часто применяют тиристорные преобразователи постоянного тока. На рисунке 1.2 показана типичная функциональная схема привода постоянного тока.

Для питания якорной цепи двигателя в преобразователе UZ обычно применяются реверсивные или нереверсивные тиристорные выпрямители, выполненные по схеме Ларионова. Для питания цепи возбуждения обычно устанавливаются однофазные полууправляемые тиристорные выпрямители. Регулирование скорости и момента двигателя постоянного тока выполняется за счёт регулирования угла открытия тиристорных выпрямителей в цепях якоря и возбуждения.

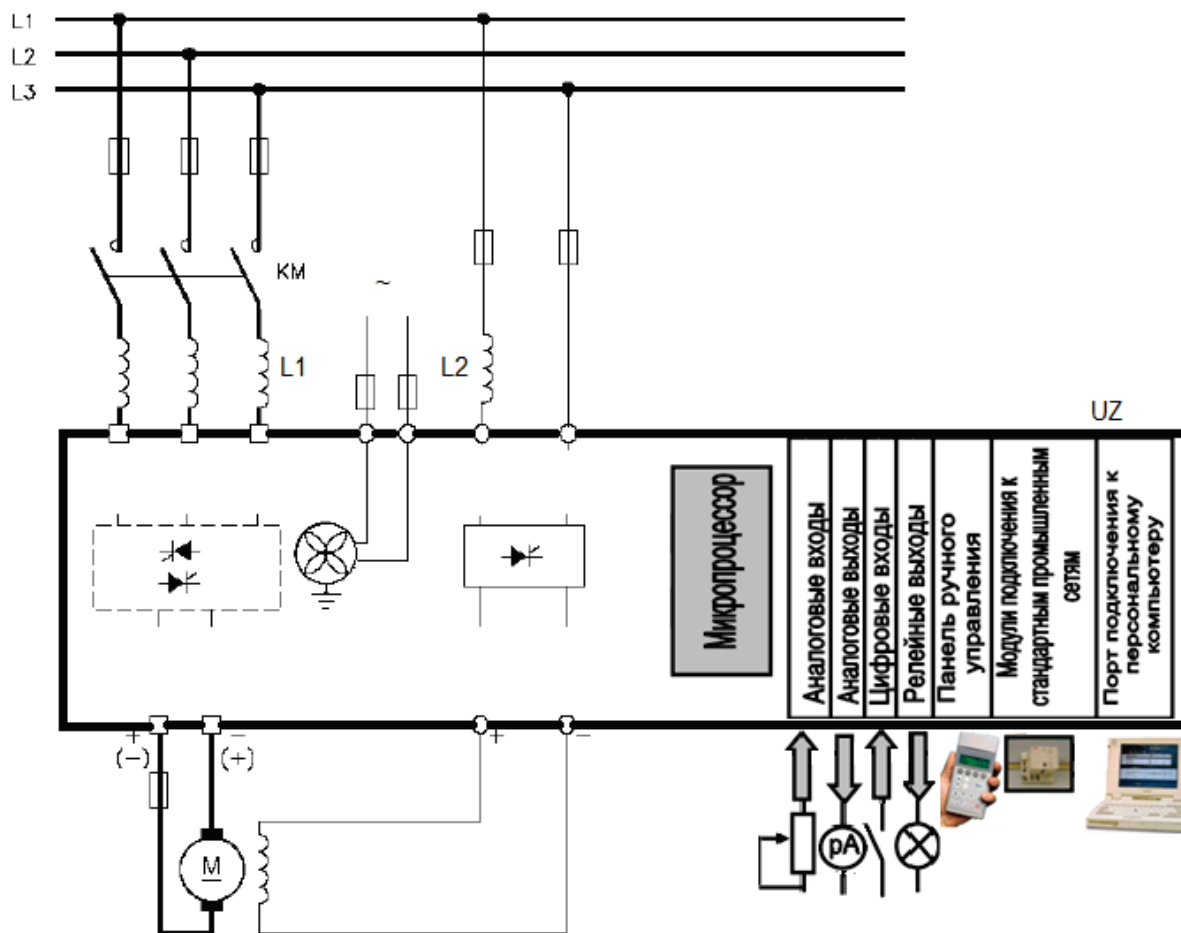


Рис. 1.2. Функциональная схема регулируемого электропривода постоянного тока

Задачи системы управления преобразователем

Можно условно разделить задачи цифровой системы управления преобразователем на два уровня.

Задачи первого уровня относятся к алгоритмам управления силовыми ключами, формирующими токи в обмотках электродвигателя в соответствии с требуемым моментом. На этом уровне формируются сигналы управления тиристорами в приводах постоянного тока, сигналы управления IGBT транзисторами преобразователей частоты. К задачам второго уровня можно отнести задачи регулирования скорости и крутящего момента.

В системах управления большинства преобразователей доступ пользователя к программному обеспечению задач первого уровня значительно ограничен или вовсе недоступен. Основной доступ пользователя к системе управления преобразователя открыт для задач второго уровня. Это выполнение основных функций управления, включая регулирование скорости и момента,

логические функции привода (пуск/останов), ввод/вывод информации, обратную связь, функции связи и защиты.

Параметры системы управления

Доступ к цифровой системе управления преобразователя выполняется через параметры. Параметры позволяют устанавливать коэффициенты функциональных блоков программы управляющего контроллера, конфигурировать связи между функциональными блоками и т.п. Различают следующие типы параметров:

- параметры, предназначенные только для чтения;
- параметры, предназначенные для записи численных значений;
- параметры, предназначенные для приёма значений других параметров; в преобразователях фирмы Siemens – это параметры, входящие в систему бинекторов и коннекторов (так называемая ВСОсистема, см. рис. 1.3). Часто применяются также параметры с индексной областью; один параметр может содержать несколько значений с различными номерами индексов.

Параметр		Коннекторы		Бинекторы	
Условное обозначение	Значение	Условное обозначение	Значение	Условное обозначение	Значение
Имя параметра [ед.] gxxx[y...z]	Контрольный параметр (параметр может встречаться многократно).	Имя параметра rxxx[y...z]	Коннекторный вход CI с индексной областью [y...z]	Имя параметра rxxx[y...z] (Def.x)	Бинекторный вход BI с индексной областью [y...z] и заводской настройкой (Опр.x) с битом x.
Имя параметра [ед.] Название индекса gxxx[y]	Контрольный параметр с индексом (параметр может встречаться многократно).	Имя параметра Название индекса rxxx[y] (xxx [x])	Коннекторный вход CI с индексом [y]	Имя параметра Имя Бинекторный вход BI с индексом [y] и заводской настройкой (Опр.x) с битом x.	
[aaaa.b] Имя параметра от ... до [Unit] rxxx[y...z] (Def)	Параметры настройки (Если параметр встречается многократно, то выводятся плановые указания).	Имя параметра [Unit] gxxx[y...z]	Коннекторный выход CO с [ед. изм.] и индексной областью [y...z] (параметр может встречаться многократно).	Имя параметра gxxx	Бинекторный выход BO (параметр может встречаться многократно).
[aaaa.b] Имя параметра Название индекса от ... до [Unit] rxxx[y] (Def)	Установочный параметр с индексом (Если параметр встречается многократно, то выводятся плановые указания).	Имя параметра [Unit] Название индекса gxxx[y]	Коннекторный выход CO [ед. изм.] и с индексом [y] (параметр может встречаться многократно).	Имя параметра Имя бита gxxx.yy	Бинекторный выход BO с битом yy (параметр может встречаться многократно).

Рис. 1.3. Параметры системы бинекторов и коннекторов

Подходы к систематизации параметров преобразователей у различных производителей отличаются в деталях, но в основном параметры разделяются на группы в соответствии с решаемыми этими параметрами задачами. В рабочей документации к преобразователям обычно приводятся не только

списки параметров системы управления, но и функциональные схемы, отражающие структуру программного обеспечения (см., например, рис. 1.4).

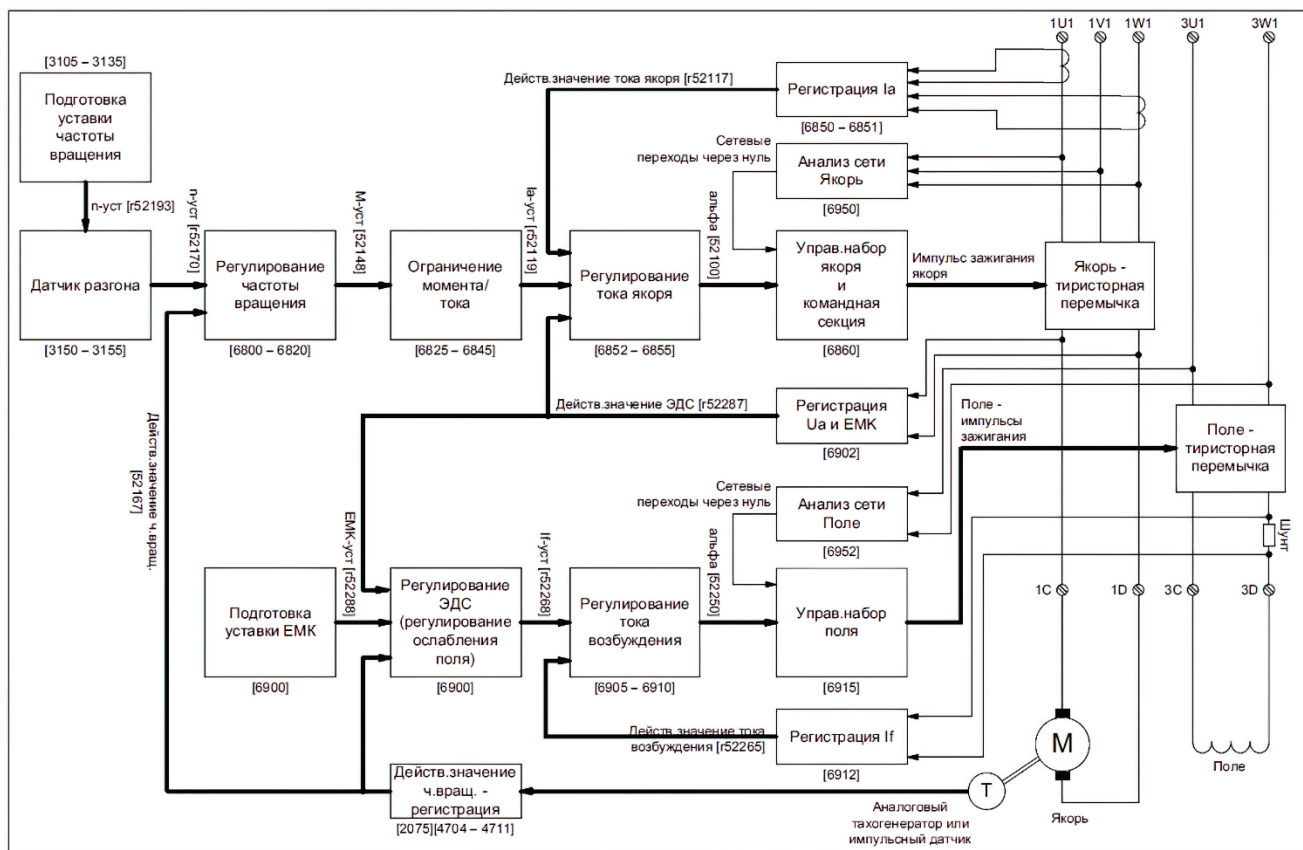


Рис. 1.4. Функциональная схема программного обеспечения преобразователя Sinamics DCM. Обзор содержания

Интерфейсы преобразователя

Для управления преобразователем и получения информации о режимах его работы управляющий контроллер преобразователя может оснащаться встроенными и опциональными модулями дискретных и аналоговых входов, модулями дискретных и аналоговых выходов, модулями подключения датчиков скорости, модулями подключения к стандартным промышленным сетям, портами подключения к персональному компьютеру (программатору). Большинство преобразователей комплектуются панелями ручного управления, устанавливаемыми по умолчанию или опционно.

Приложения для настройки преобразователей

Для настройки и обслуживания преобразователей разрабатываются программные средства, устанавливаемые на персональные компьютеры. Основные функции таких программ для настройки преобразователей:

- Чтение и изменение параметров настройки преобразователя.
- Сохранение параметров преобразователя в файле.
- Загрузка параметров из файла в преобразователь.
- Регистрация графиков переменных и сохранение графиков в файле.
- Возможность открытия графиков из файла для последующего анализа.
- Открытие и чтение архива аварийных сообщений.
- Вывод на печать информации о преобразователе, значениях параметров и аварийных сообщениях из архива.
- Пуск, остановка и задание скорости привода с персонального компьютера.

Большинство приложений включают в себя графический интерфейс, который отображает структуру системы управления преобразователем и облегчает конфигурацию параметров.

2. СЛОВА УПРАВЛЕНИЯ И СЛОВА СОСТОЯНИЯ

Сигналы цифровой системы управления преобразователем можно разделить на дискретные и «аналоговые».

Под «аналоговыми» сигналами понимается информация, представляемая численным значением, например: величина заданной скорости, величина фактического тока, темп разгона и тому подобное.

Дискретные входные сигналы задают разрешение или запрет на определённые логические функции преобразователя, например, такие как старт/стоп, разрешение/запрет работы регулятора скорости, толчок и другие. Дискретные выходные сигналы относятся к логическим сообщениям о режимах работы преобразователя. Принято совокупности дискретных входных сигналов, относящихся к определённой тематике, объединять в слова (16 бит), называемые словами управления (Control Word). Совокупности выходных дискретных сигналов, относящихся к определённой тематике, объединяют в слова состояния (Status Word).

На рисунке 2.1 приведена функциональная диаграмма слова управления преобразователя постоянного тока Sinamics DCM. Доступ к отдельным битам слова управления возможен через соответствующие параметры, к которым могут быть подключены бинекторы с информацией различных дискретных сигналов.

Так, бит 0 слова управления определяет состояние включить (=1) или выключить (=0) привод. При выборе локального способа управления (параметр r00807.00 = 1) в этот бит будет записано значение параметра p03982 от встроенной панели управления AOP. При выборе удалённого способа управления (параметр r00807.00 = 0) в бит 0 слова управления будет записываться значение коннектора, подключённого к параметру BICO p00840.

Значение бита 1 слова управления (разрешение включения) зависит от результата логической функции И трёх дискретных сигналов, определяемых параметрами r53100.00, r00845 и (r00844 или r03982).

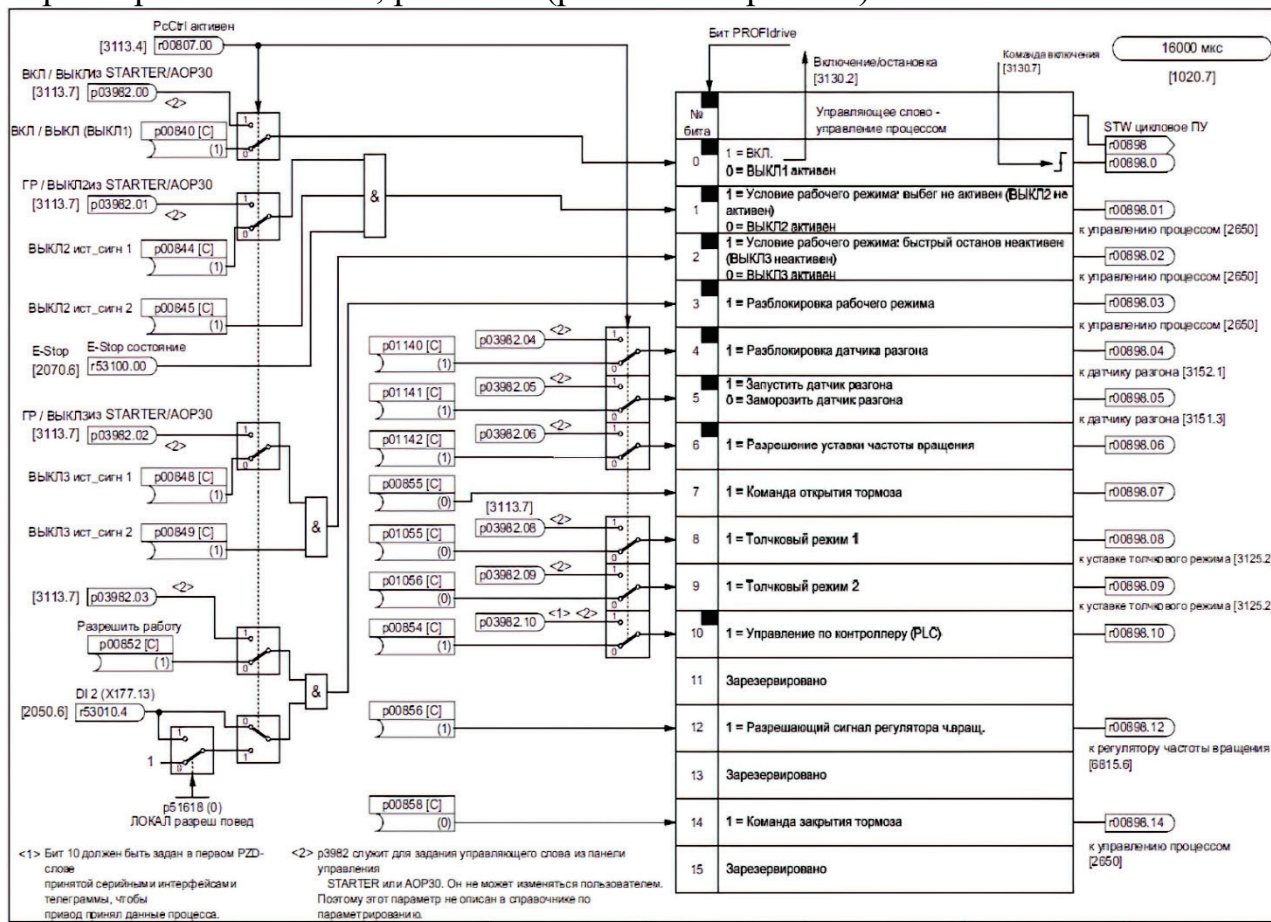


Рис. 2.1. Состав слова управления преобразователя Sinamics DCM

В таблице 2.1 показано содержимое слова управления Fieldbus для профиля управления «Приводы АВВ» преобразователя частоты ACS880. Интерфейс встроенной шины Fieldbus преобразует это слово в форму, которая используется в приводе. Текст, выделенный жирным шрифтом и прописными буквами, относится к состояниям, показанным на рисунке 2.4.

Таблица 2.1.

Бит	Название	Значение	СОСТОЯНИЕ/описание
0	OFF1_CONTROL	1	Переход к состоянию ГОТОВ К РАБОТЕ.
		0	Останов в соответствии с активным в данный момент значением времени замедления. Переход к состоянию ВЫКЛ1 АКТИВЕН ; переход к состоянию ГОТОВ К ВКЛЮЧЕНИЮ , если другие блокировки (ВЫКЛ2, ВЫКЛ3) не активны.
1	OFF2_CONTROL	1	Продолжение работы (ВЫКЛ2 не активен).
		0	Экстренное отключение, останов выбегом.

			Переход к состоянию ВЫКЛ2 АКТИВЕН , переход к состоянию ВКЛЮЧЕНИЕ ЗАПРЕЩЕНО .
2	OFF3_CONTROL	1	Продолжение работы (ВЫКЛ3 не активен).
		0	Аварийный останов, останов в течение времени, определяемого параметром привода. Переход к состоянию ВЫКЛ3 АКТИВЕН; переход к состоянию ВКЛЮЧЕНИЕ ЗАПРЕЩЕНО. Предупреждение. При использовании этого режима останова убедитесь в возможности останова двигателя и присоединенного к нему механизма.
3	INHIBIT_OPERATION	1	Переход к состоянию РАЗРЕШЕНИЕ РАБОТЫ .
		0	Запрет работы. Переход к состоянию РАБОТА ЗАПРЕЩЕНА .
4	RAMP_OUT_ZERO	1	Обычная работа. Переход к состоянию ГЕНЕРАТОР ФУНКЦИИ ПЛАВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ: ВЫХОД РАЗРЕШЕН .
		0	Принудительная установка на ноль выходного сигнала генератора функции плавного изменения. Привод замедляется до останова двигателя (ограничения тока и напряжения шины постоянного тока остаются в силе).
5	RAMP_HOL	1	Разрешена функция ускорения/замедления. Переход к состоянию ГЕНЕРАТОР ФУНКЦИИ ПЛАВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ: УСКОРЕНИЕ РАЗРЕШЕНО .
		0	Прекращение плавного изменения (поддержание постоянного уровня на выходе генератора функции плавного изменения).
6	RAMP_IN_НОЛЬ	1	Обычная работа. Переход к состоянию РАБОТА .
		0	Принудительная установка на ноль выходного сигнала генератора функции плавного изменения.
7	СБРОС	0=>	Сброс отказа, если имеется активный отказ. Переход к состоянию ВКЛЮЧЕНИЕ ЗАПРЕЩЕНО .
		1	
		0	Продолжение работы в обычном режиме.
8	JOGGING_1	1	Ускорение до уставки для толчкового режима 1.
		0	Толчковый режим 1 запрещён.
9	JOGGING_2	1	Ускорение до уставки для толчкового режима 2.
		0	Толчковый режим 2 запрещён.
10	REMOTE_CMD	1	Управление по шине Fieldbus разрешено.
		0	Слово управления $\diamond 0$ или уставка $\diamond 0$: Восстановление последнего слова управления и уставки. Слово управления = 0 и уставка = 0: Управление по шине Fieldbus разрешено. Уставка и функция замедления/ускорения заблокированы.
11		1	Выбор канала внешнего управления ВНЕШН2. Действует, если в настройках указано, что пост управления выбирается с шины Fieldbus.
		0	Выбор внешнего канала управления ВНЕШН1. Действует, если в настройках указано, что пост управления выбирается с шины Fieldbus.
12...15	Резерв		

На рисунке 2.2 приведена функциональная диаграмма слова состояния преобразователя частоты Sinamics S120. Каждый бит этого слова характеризует одну из логических функций состояния преобразователя. Биты слова состояния могут использоваться для диагностики системы управления, а также в качестве аргументов логических функций преобразователя.

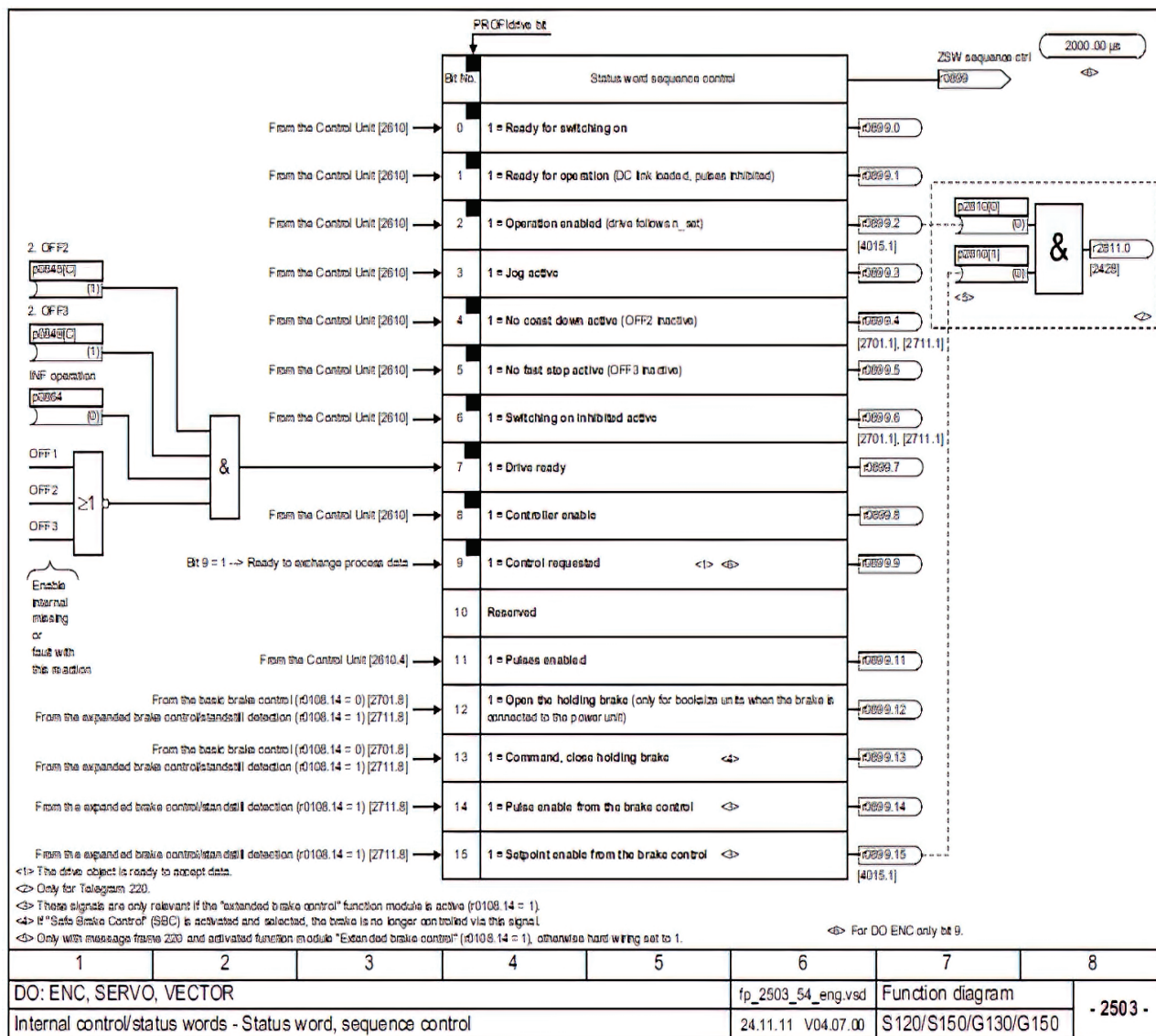


Рис. 2.2. Состав слова состояния преобразователя Sinamics S120

Слова управления и слова состояния могут иметь отношение не только в целом к системе управления преобразователем, но и к отдельным функциям системы управления. На рисунке 2.3 приведён состав слова состояния макропрограммы преобразователя частоты Vacon NX, позволяющей использовать различные интерфейсные шины привода. В системе управления преобразователя частоты предусмотрено несколько макропрограмм,

предоставляющих пользователю заранее подготовленный набор интерфейсов и функций. В перечень входят следующие макропрограммы.

- Стандартная макропрограмма используется в основном в приводах насосов, вентиляторов и конвейеров. Для управления такими системами базовых параметров недостаточно, но и особые функции не нужны.
- Макропрограмма местного/дистанционного управления позволяет выбирать два разных поста управления. Опорная частота для каждого из них задается с панели управления, клеммы входа/выхода либо с интерфейсной шины. Активный пост управления выбирается с помощью дискретного входа.
- Макропрограмма с набором фиксированных скоростей применяется в областях, использующих фиксированные скорости. Скорости выбираются с помощью дискретных сигналов.
- Макропрограмма ПИД-регулирования обычно применяется для контроля давления при управлении насосами и вентиляторами. В этих областях Макропрограмма ПИД-регулирования обеспечивает плавное управление процессами за счет встроенных средств измерения.
- Универсальная программа позволяет работать с большим диапазоном параметров управления двигателями. Она может применяться в различных процессах, где требуются гибкость сигналов входа/выхода без ПИД-регулирования.
- Макропрограмма управления насосами и вентиляторами применяется для управления одним приводом с переменной скоростью и 4 дополнительными приводами. ПИД-регулятор преобразователя частоты управляет скоростью вращения одного привода с переменной скоростью, а также подает управляющие сигналы для пуска/останова вспомогательных приводов для поддержания общего потока. Кроме стандартных групп параметров, добавлена группа параметров для управления насосами и вентиляторами.

Слово Состояния макропрограммы						
Макро-программа	Стандартная	Местного/ дистанционного управления	С набором фиксированных скоростей	ПИД- регулирования	Универсальная	Управления насосами и вентиляторами
Слово Состояния						
b0						
b1	Готовность	Готовность	Готовность	Готовность	Готовность	Готовность
b2	Работа	Работа	Работа	Работа	Работа	Работа
b3	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ
b4						
b5					Без EMStop (NXP)	
b6	Пуск разрешен	Пуск разрешен	Пуск разрешен	Пуск разрешен	Пуск разрешен	Пуск разрешен
b7	Предупрежде- ние	Предупрежде- ние	Предупрежде- ние	Предупрежде- ние	Предупрежде- ние	Предупрежде- ние
b8						
b9						
b10						
b11	Торможение постоянным током	Торможение постоянным током	Торможение постоянным током	Торможение постоянным током	Торможение постоянным током	Торможение постоянным током
b12	Запрос на пуск	Запрос на пуск	Запрос на пуск	Запрос на пуск	Запрос на пуск	Запрос на пуск
b13	Управление пределами	Управление пределами	Управление пределами	Управление пределами	Управление пределами	Управление пределами
b14					Управление тормозом	Вспомогат. 1
b15				ПИД активен		Вспомогат. 2

Рис. 2.3. Слово состояния макропрограммы преобразователя частоты Vacon NX

Слова управления определяют режимы работы преобразователя и переходы из одних режимов в другие. Каждый из режимов характеризуется определённым значением слова состояния. На рисунке 2.4 представлена схема переходов состояний привода ACS880, когда он использует профиль «Приводы АВВ» и сконфигурирован на выполнение команд слова управления интерфейса встроенной шины Fieldbus. Текст, выделенный прописными буквами, относится к состояниям, используемым в таблицах, в которых представлены слова управления и состояния.

Следует отметить, что не все разработчики широко используют в системе управления преобразователей инструменты слова управления и слова состояния; в некоторых разработках эти инструменты вообще не обнаруживаются в перечне параметров системы управления, в других преобразователях использование таких параметров, как слово управления и слово состояния, очень ограничено.

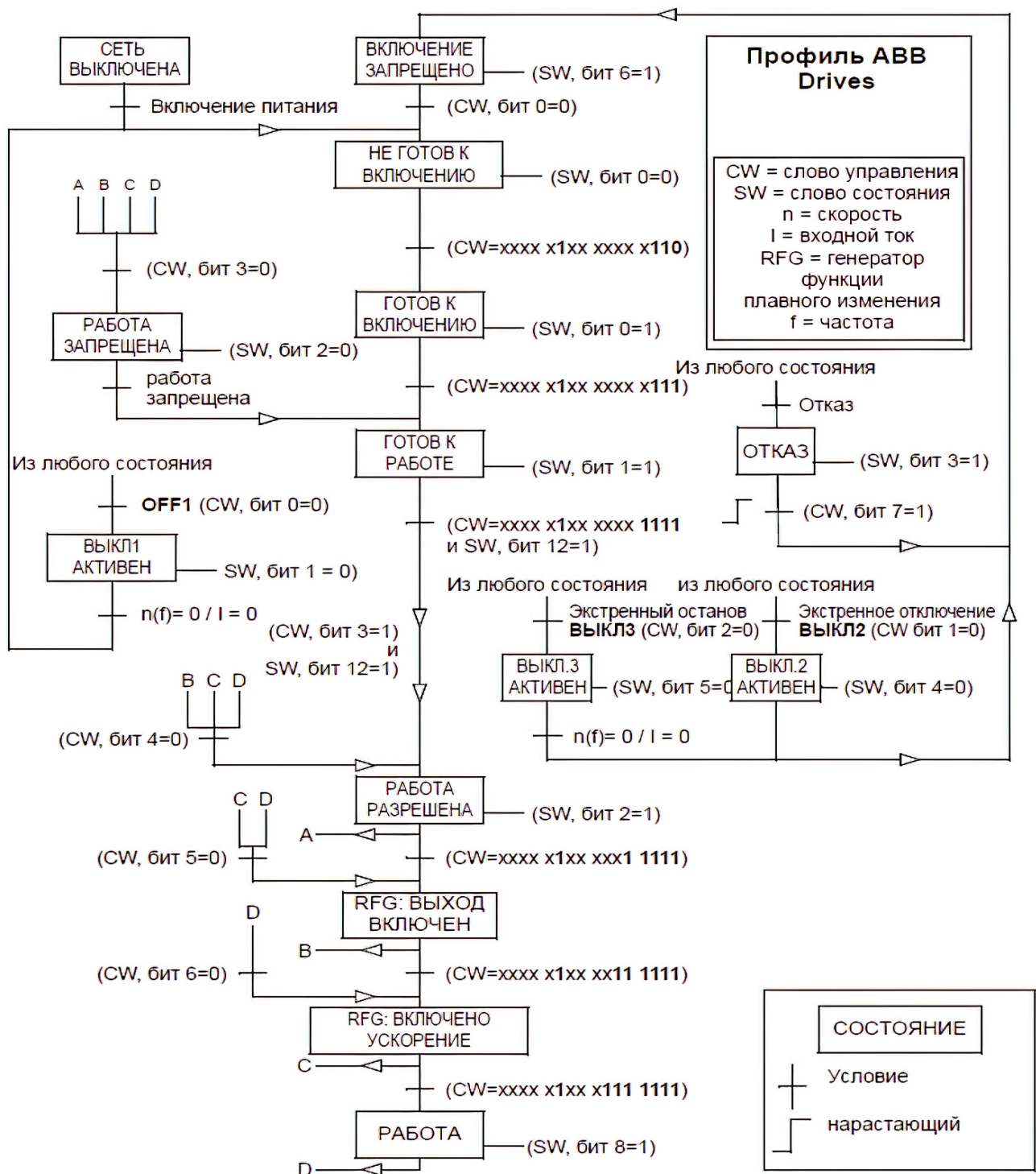


Рис. 2.4. Схема переходов состояний преобразователя частоты ACS880

3. ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ ЗАДАННОГО ЗНАЧЕНИЯ

Заданные значения в преобразователи могут поступать от различных интерфейсов, например, таких как: аналоговые входы; цифровое задание с панели управления; фиксированные задания, выбираемые комбинацией дискретных входов; применение функции «Мотор-потенциометр»; передача задания по шине управления (Profibus, Profinet, Modbus, CAN и т.п.); задания

скорости толчковых режимов (Jog). На рисунке 3.1 показана логическая схема меню выбора источника задания преобразователя частоты Unidrive M700.

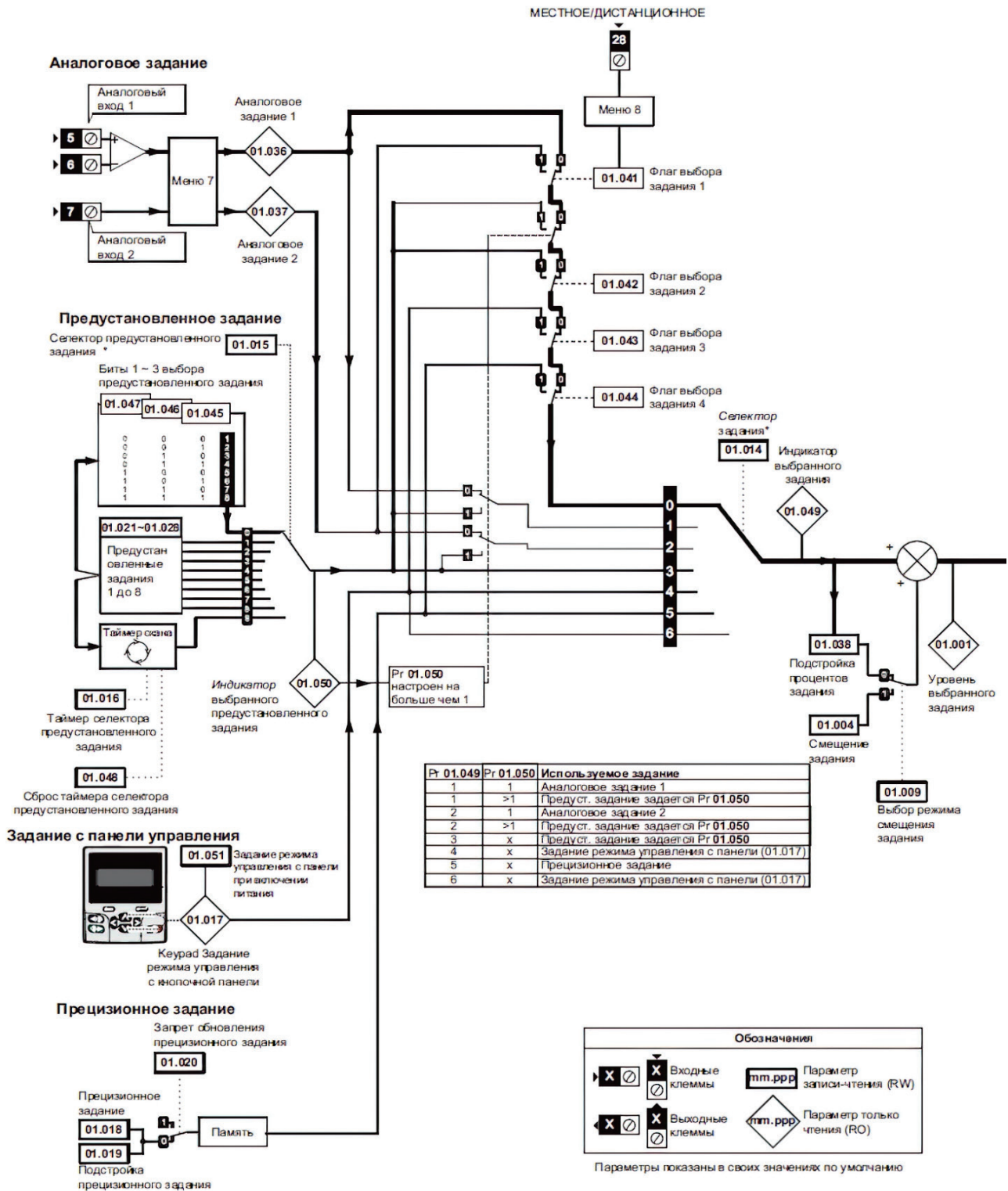


Рис. 3.1. Меню задания скорости преобразователя частоты Unidrive M700

Как правило, в системе управления предусматривается подача двух заданий одновременно (основного и дополнительного задания). На рисунке 3.2 главное задание в преобразователе Sinamics G120 формируется из задания, приходящего по шине управления Profibus, а также из задания, получаемого с аналогового входа. Кроме главного задания, в преобразователе может быть выбран один из толчковых режимов Jog1 или Jog2; также предусмотрено задание от ПИД-регулятора, встроенного в программное обеспечение системы управления преобразователя.

Задание скорости в преобразователе TPD32 EV, как показано на рисунке 3.2, формируется из сигналов Rampref 1 (P44) и Rampref 2 (P48). Подключение аналогового входа преобразователя к цепи задания скорости выполняется при конфигурации аналогового входа, как показано на рисунке 3.4.

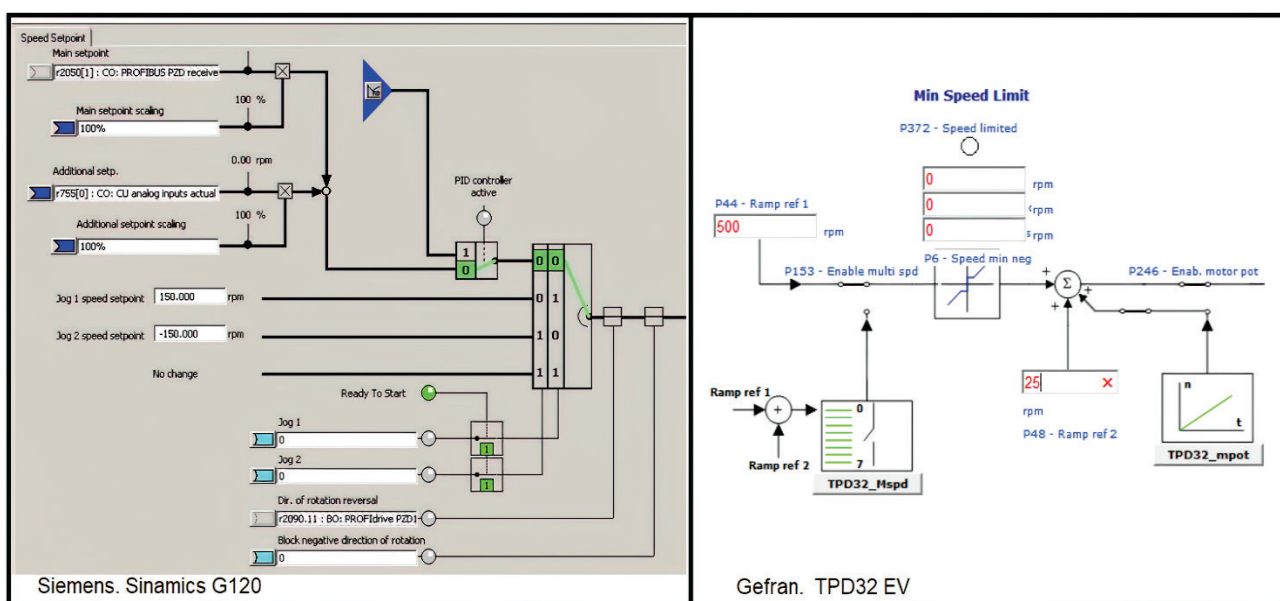


Рис. 3.2. Функциональные схемы формирования задания скорости

3.1. Задание от аналоговых входов

Применение аналоговых сигналов для управления предусматривается практически во всех преобразователях. Аналоговые сигналы задания могут подаваться от потенциометров, устанавливаемых на пультах управления, от аналоговых выходов управляющих контроллеров и других источников. На рисунке 3.3 показана штатная схема подключения потенциометра для задания скорости преобразователя частоты ACS880. Аналоговые входы преобразователей обычно рассчитаны на приём сигналов следующих форматов: -10...+10 В; 0...+10 В; 0...20 мА; 4...20 мА.

Аналоговые входы преобразователя оснащаются аппаратными и программными фильтрами, модулями нормирования сигналов задания. На рисунке 3.4 и рисунке 3.5 показаны функциональные диаграммы обработки аналоговых сигналов задания в преобразователях постоянного тока TPD32EV и

Sinamics DCM. В TPD32 EV предусмотрен компаратор, определяющий попадание входного сигнала в заданный диапазон. В Sinamics DCM предусмотрены выбор абсолютного значения и инвертирование сигнала.

Reference voltage and analog inputs	J1, J2, XAI	
AI1/AI2 current/voltage selection	AI1:U	AI2:U
	AI1:I	AI2:I
By default not in use. 0(4) to 20 mA, $R_m = 100$ ohm	AI2-	7
Speed reference 0(2) to 10 V, $R_L > 200$ kohm	AI2+	6
	AI1-	5
Ground	AI1+	4
	AGND	3
-10 V DC, R_L 1 to 10 kohm	-VREF	2
10 V DC, R_L 1 to 10 kohm	+VREF	1
Analog outputs	XAO	

Рис. 3.3. Подключение потенциометра к аналоговому входу для задания скорости в преобразователе ACS880

Цифровой сигнал на выходе блока обработки аналогового сигнала в приводе TPD32EV по умолчанию подключается к параметру P70 Rampref1 (см. рис. 3.4).

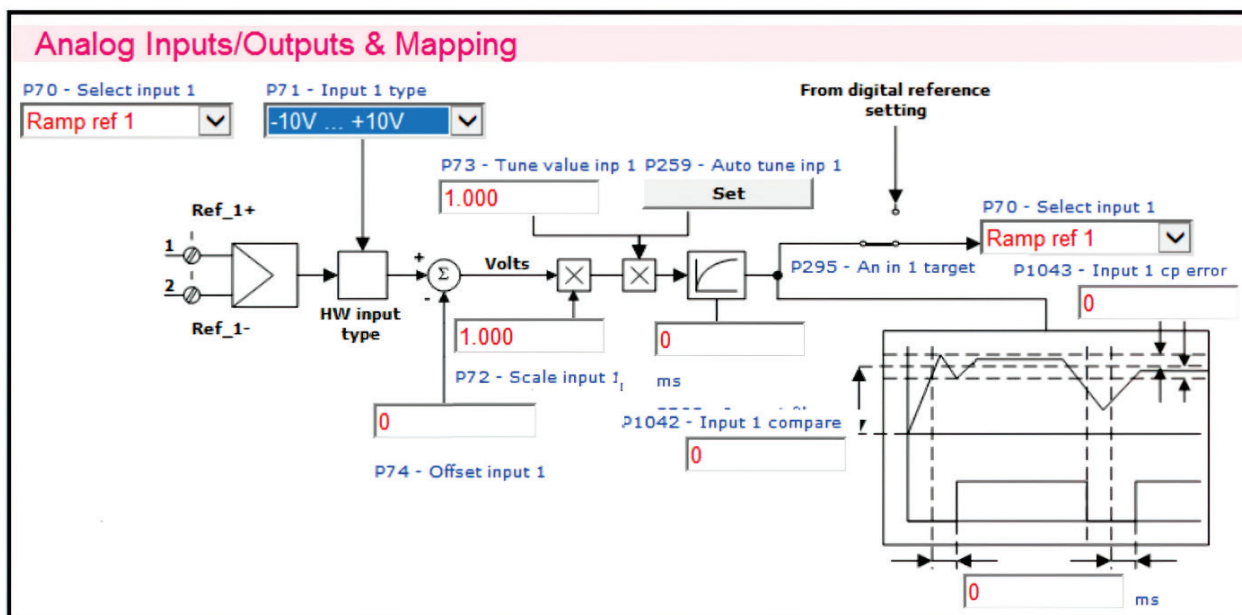


Рис. 3.4. Обработка аналогового задания в преобразователе TPD32 EV

Выходной цифровой сигнал блока обработки сигнала аналогового входа в приводе Sinamics DCM (коннектор r52011, см. рис. 3.5) по умолчанию подключается к параметру r50433 в цепи формирования сигнала задания.

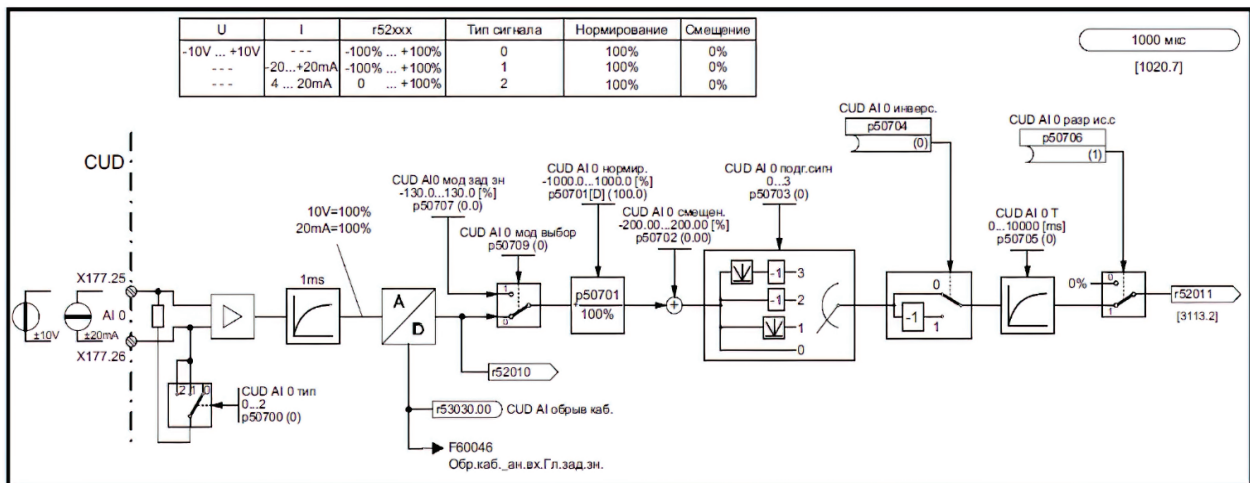


Рис. 3.5. Обработка аналогового задания в преобразователе Sinamics DCM

3.2. Задание со встроенной панели управления

Преобразователи постоянного и переменного тока могут комплектоваться пультами (панелями) управления. Дизайн пультов, как правило, интуитивно понятен; с помощью пульта возможно выполнение конфигурации преобразователя, пуск и останов, задание скорости и т.п. Пульта управления используются для первоначального запуска преобразователя в работу, а также при выполнении профилактических работ по обслуживанию привода. На рисунке 3.6 представлены пульта управления.



Рис. 3.6. Пульта управления преобразователей, выпускаемых фирмами Siemens, Vacon, GEFRAN, ABB, Mitsubishi Electric

Для задания требуемой величины скорости и других параметров в пультах применяются различные способы; это может быть пошаговое изменение величины требуемого параметра с помощью кнопок, изменение величины параметра с помощью колёсика и т.п. Дисплей пульта может иметь несколько строк для текста и цифр, а также для графики. Также применяются

светодиодные индикаторы для отображения определённых состояний преобразователя (готовность, работа, авария, ограничение момента и т.д.).

3.3. Фиксированные задания

Во многих прикладных задачах достаточно эксплуатировать привод на нескольких жёстко заданных скоростях. В этом случае аналоговое заданное значение скорости подавать не требуется. Вместо этого фиксированные значения вызываются дискретными входными сигналами. Комбинация значений дискретных входов определяет адреса ячеек памяти, в которых занесены фиксированные задания. Например, как показано на рисунке 3.7, в преобразователях FR-A800 можно выбрать до 15 уставок частоты (и, тем самым, скоростей вращения двигателя), вызываемых через клеммы RH, RM, RL, REX. Величина уставки скорости определяется комбинацией этих четырёх дискретных сигналов ($N=4$); количество таких комбинаций (включая нулевое задание) равно 2^N .

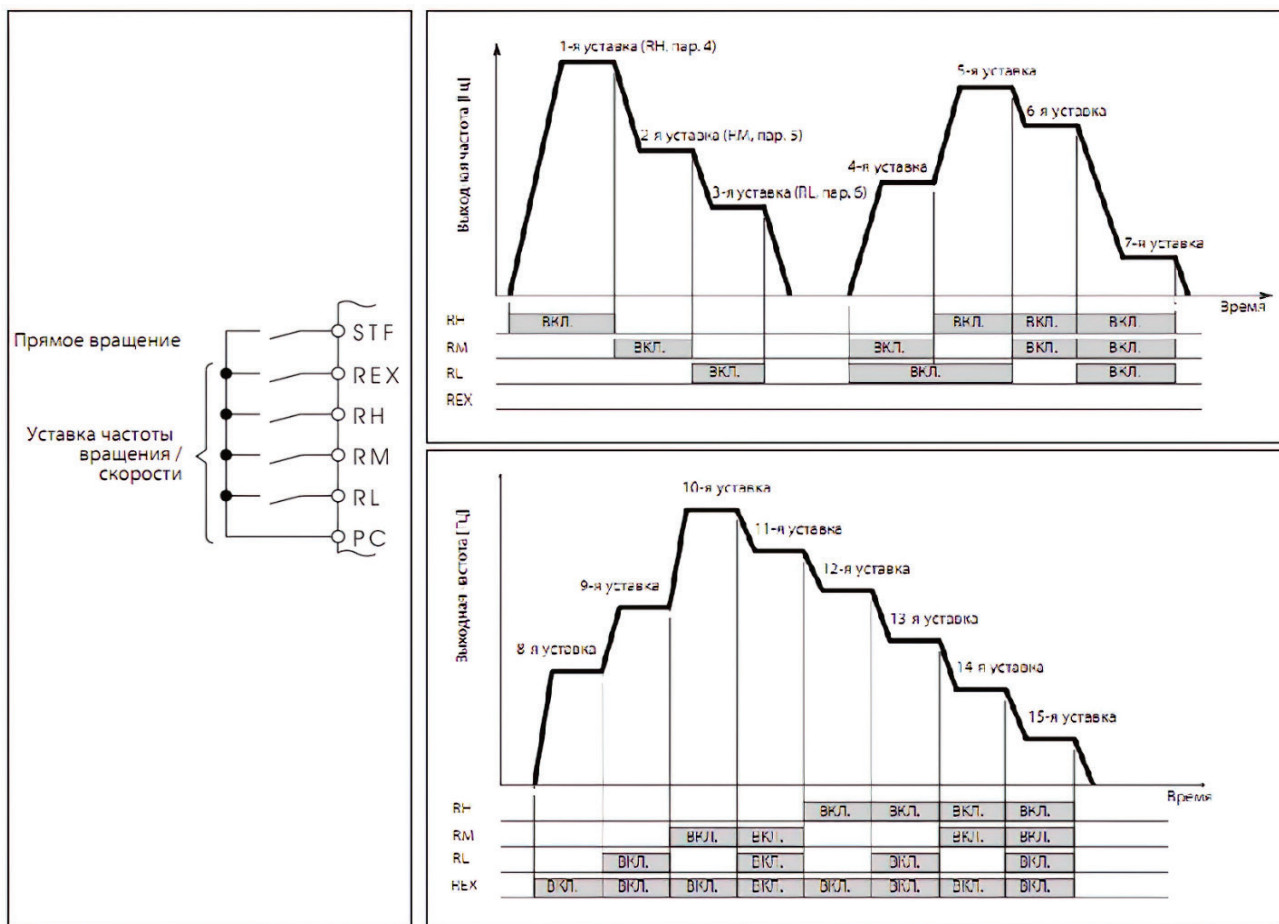


Рис. 3.7. Фиксированные задания скорости через дискретные входы

Аналогичный инструмент фиксированных заданий в преобразователях Sinamics построен следующим образом, как показано на рисунке 3.8. В параметры слова управления канала задания P1020, P1021, P1022, P1023

устанавливаются бинекторы дискретных входов. Комбинация значений этих бинекторов определяет фиксированное задание, выдаваемое из набора констант в выходной бинектор r1024. Константы устанавливаются в параметрах P1001,...P1015.

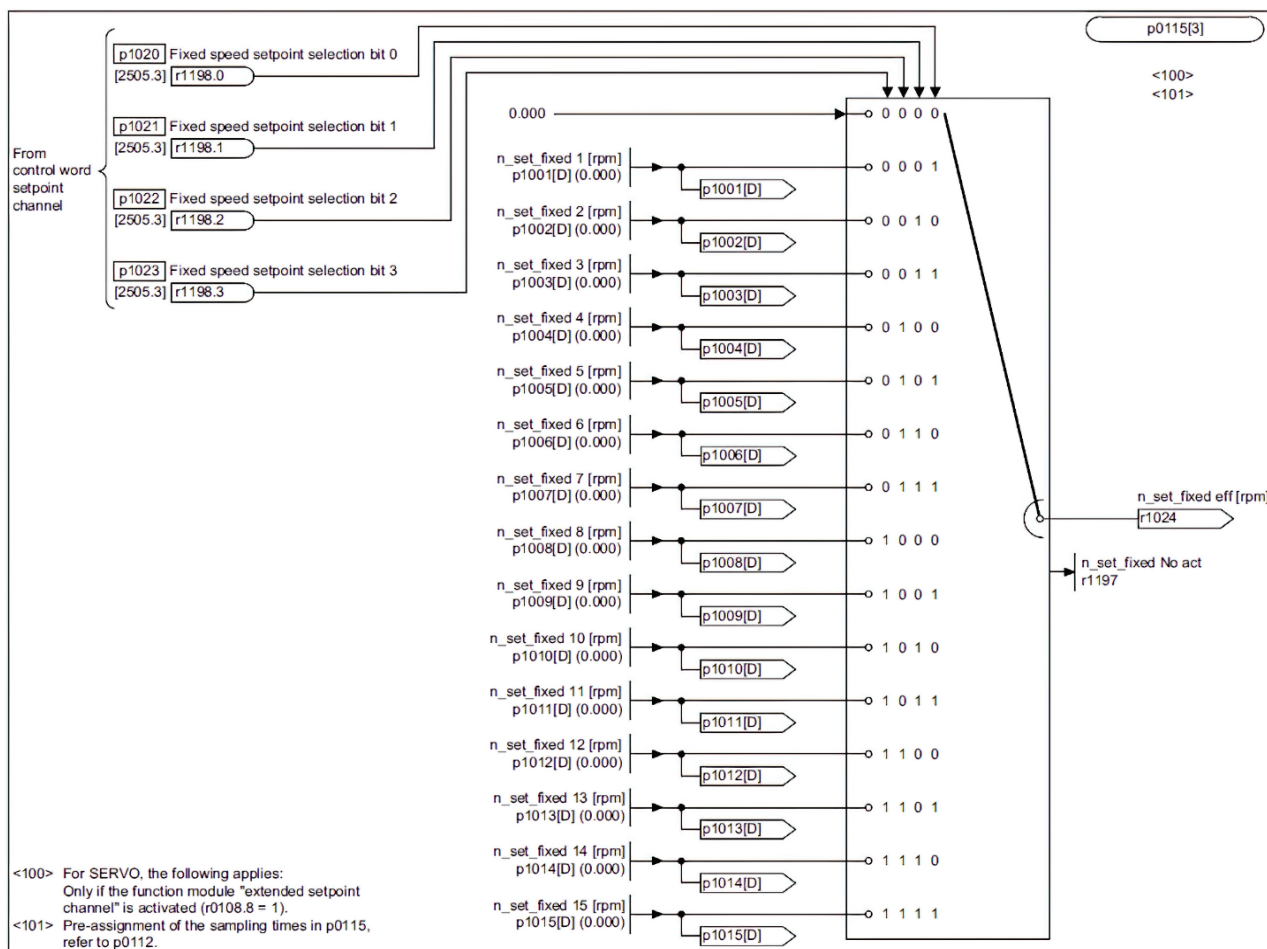


Рис. 3.8. Фиксированные задания в Sinamics S120

3.4. Функция «Мотор-потенциометр»

Изначально мотор-потенциометр представлял собой потенциометр с небольшим электроприводом, который управлялся двумя кнопками «Вперёд» и «Назад», как показано на рисунке 3.9. Соответственно, при нажатии на кнопку «Вперёд» («Увеличить») задание скорости возрастает, при нажатии на кнопку «Назад» («Уменьшить») электропривод мотор-потенциометра реверсируется и в итоге задание скорости снижается.

Для минимизации воздействия помех потенциометр R1 должен находиться как можно ближе к аналоговому входу системы управления приводом, установленным, как правило, в электропомещении. Кнопки «Вперёд» и «Назад» можно вынести на пульт оператора, находящийся в машинном зале, где установлены двигатели технологических механизмов; при этом потенциометр остаётся рядом с системой управления.

В цифровой системе управления преобразователем ни мотора, ни потенциометра нет, но функция «мотор-потенциометр» активно используется. Функция «мотор-потенциометр» позволяет регулировать скорость с использованием дискретных входов преобразователя; также эта функция используется для управления скоростью двигателя с пульта управления преобразователя (см. рис. 3.6.).

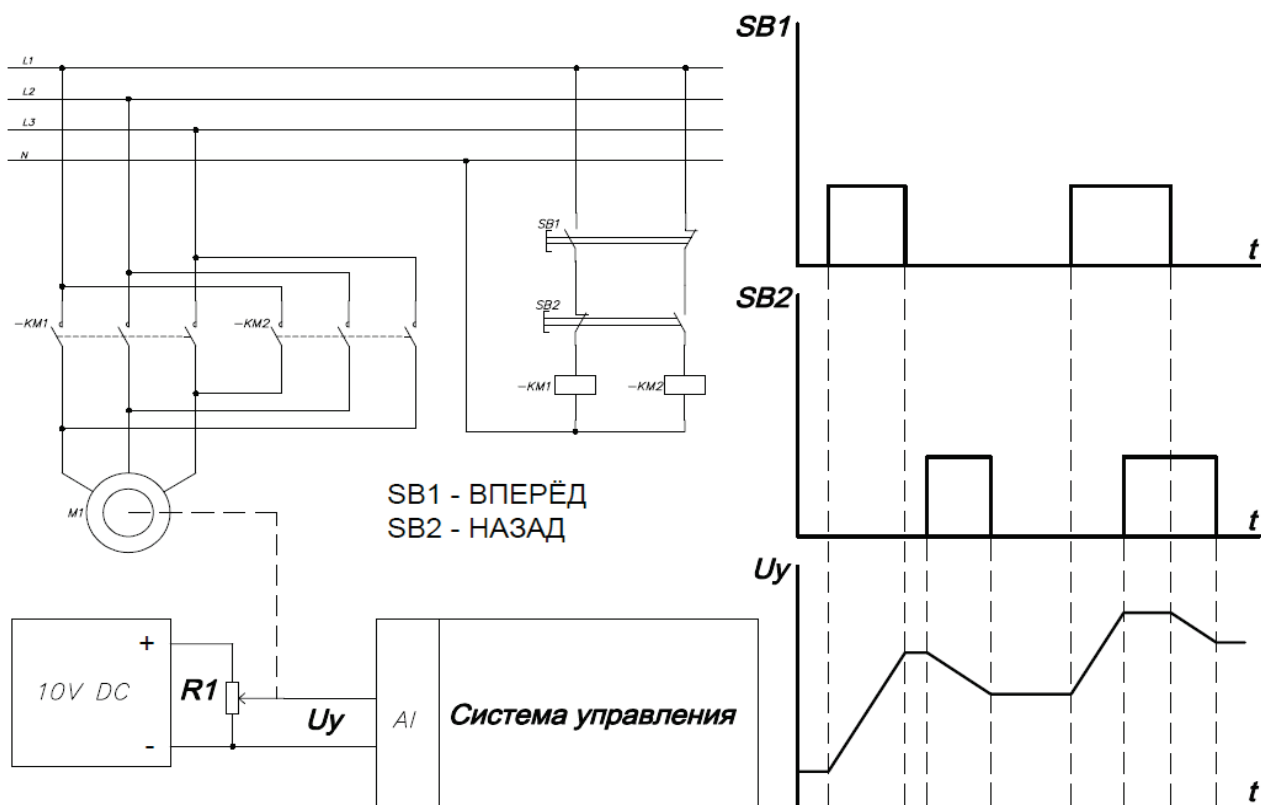


Рис. 3.9. Устройство и диаграмма работы мотор-потенциометра

На рисунке 3.10 приведена функциональная схема функции «мотор-потенциометр», реализованной в преобразователе Sinamics DCM.

Предусмотрено изменение темпов увеличения и уменьшения выходного сигнала посредством параметров p50462 и p50463.

Возможна установка предустановленного значения выхода; величина задания определяется коннектором, подключаемым к параметру p50466, бит установки принимает параметр p50472.

Задание пределов изменения выходного сигнала мотор-потенциометра записывается в параметры p50468 и p50469.

Переключение между автоматическим и ручным заданием определяет значение бинектора, установленного в параметре p50471; коннектор с сигналом автоматического задания подключается к параметру p50461.

Бинекторы, управляющие увеличением или уменьшением выходного сигнала мотор-потенциометра, подключаются к параметрам p50673 и p50674.

В программном обеспечении блока кроме выходного коннектора с сигналом задания r52240 предусмотрен также выход производной от сигнала задания, представленный коннектором r52241.

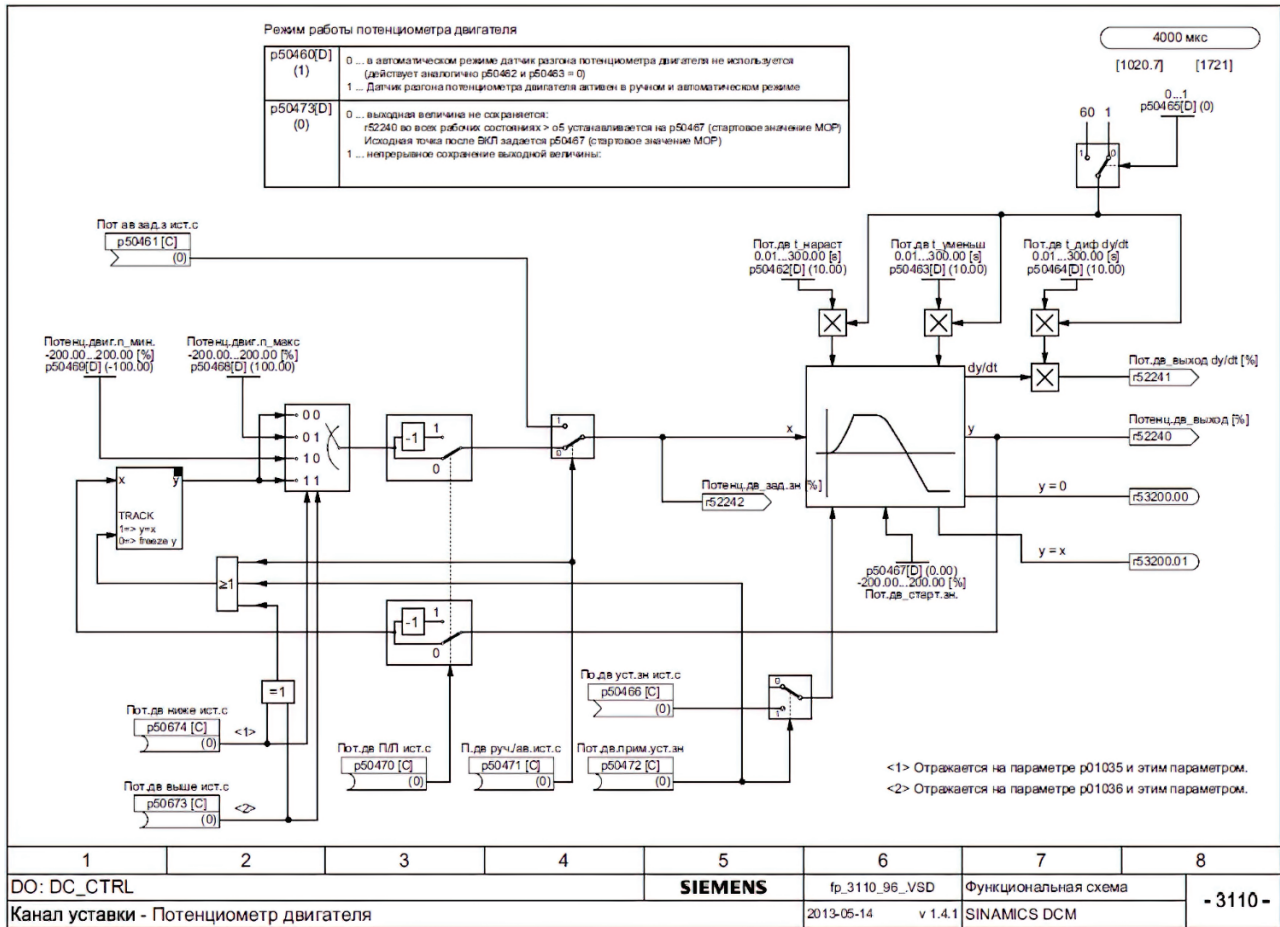


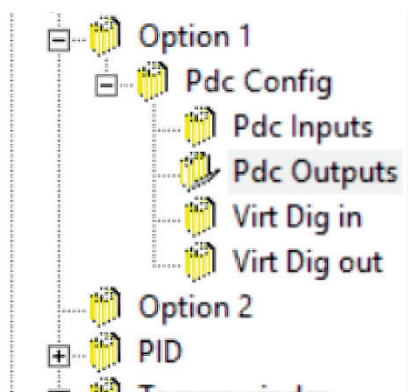
Рис. 3.10. Функциональная схема функции «мотор-потенциометр»

3.5. Передача задания по шине управления

Задание на скорость привода, как и другие задания, может подаваться по полевой шине управления. Полевые шины – это промышленные системы связи, использующие для соединения устройств с центральной управляющей системой целый ряд передающих сред, таких как: медный кабель, оптоволокно или беспроводные, с последовательной побитовой передачей. В цифровых приводах применяются различные полевые шины управления, отличающиеся по применению передающих сред и по протоколам обмена информацией. Можно отметить следующие системы: Modbus, ProfibusDP, Profinet, CAN, DeviceNet, PowerLink. В руководствах по эксплуатации преобразователей можно изучить порядок подготовки привода к обмену информацией с управляющей системой по полевой шине управления.

Рассмотрим конфигурирование цепи задания скорости в преобразователе. Например, при конфигурации телеграммы записи информации контроллера в преобразователь TPD32 EV по шине управления Profibus DP второе слово

телеграммы (Pdc out 1) записывается в параметр Rampref 1, как показано на рисунке 3.11; на рисунке 3.2 показано место параметра Rampref 1 в цепи задания скорости.



IPA	Short Description	Value
9657	Pdc out 0	Virtual Dig In
9658	Pdc out 1	Ramp ref 1
9659	Pdc out 2	T current lim +
9660	Pdc out 3	T current lim -
9661	Pdc out 4	Load comp
9662	Pdc out 5	Adapt Par

Рис. 3.11. Пример распределения слов телеграммы Profibus в параметры преобразователя TPD32 EV

На рисунке 3.12 показан порядок конфигурации главного задания скорости в преобразователе Sinamics G120, передаваемого по шине управления Profibus.

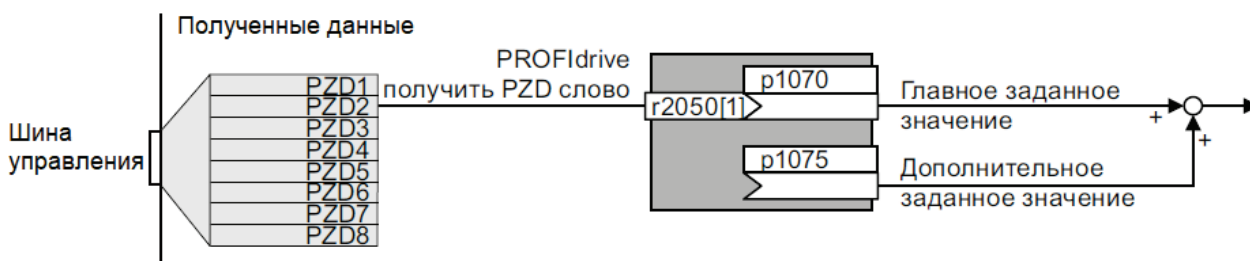


Рис. 3.12. Подача заданного значения через шину управления

Слово PZD2 телеграммы Profibus, в которое контроллер записывает задание на скорость привода, в преобразователе Sinamics G120 попадает в коннектор r2050 [1]. При конфигурации привода этот коннектор устанавливается в BICO параметр p1070, предназначенный для главного заданного значения (задания скорости привода).

4. ПОДГОТОВКА СИГНАЛА ЗАДАНИЯ

Принятый одним из вышеперечисленных способов сигнал задания скорости подготавливается для подачи на вход регулятора скорости. В основном применяются следующие способы подготовки сигнала.

- Изменение масштаба и инверсия знака заданного значения.

- Ограничение максимального и минимального задания.
- Ограничение минимального задания по абсолютной величине.
- Пропуск критических частот.
- Задатчик интенсивности (Ramp).

На рисунке 4.1 приведена функциональная схема подготовки сигнала задания в преобразователе Sinamics DCM.

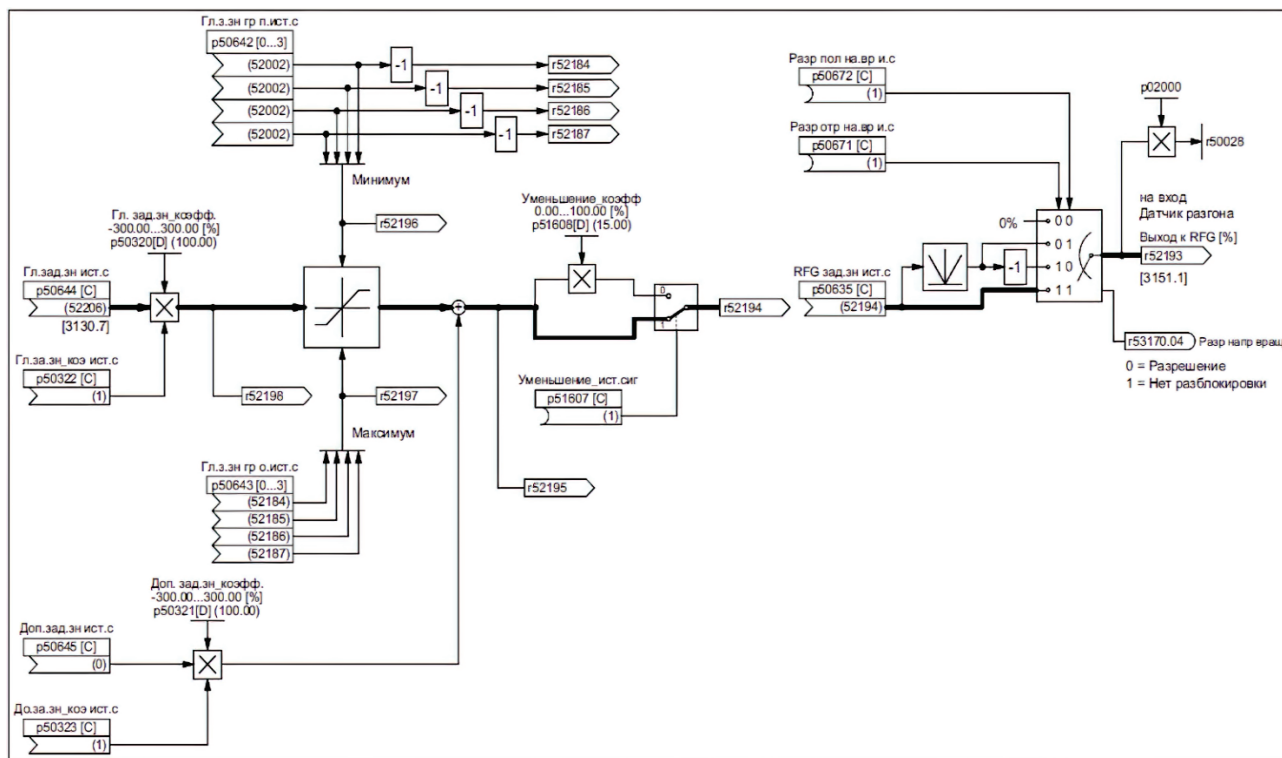


Рис. 4.1. Подготовка сигнала задания в Sinamics DCM

Коннектор с сигналом главного заданного значения подключается к параметру p50644; параметры p50320 и p50322 предназначены для масштабирования сигнала главного задания.

Верхний и нижний пределы блока ограничения главного задания определяются коннекторами, подключёнными к параметрам p50642 и p50643, а также логикой выбора минимального верхнего ограничения и максимального нижнего ограничения.

К сигналу на выходе этого блока ограничения может быть добавлен дополнительный сигнал задания коннектором, подключённым к параметру p50645; параметры p50321 и p50323 предназначены для масштабирования сигнала дополнительного задания.

Битом, устанавливаемым бинектором в параметр p51607, можно уменьшить масштаб сигнала задания в пределах от 0 до 100 %; коэффициент уменьшения задаётся параметром p51608.

Сигнал коннектора на входе параметра p50635 может быть передан в выходной коннектор r52193 без изменения, может быть выбрана абсолютная

величина сигнала, абсолютная величина, умноженная на (-1), также в коннектор r52193 может быть внесена величина 0 %. Выбор того или иного преобразования определяется комбинацией двух бинакторов, подключённых к параметрам p50671 и p50672.

4.1. Ограничение максимального и минимального значения

Максимальное и минимальное допустимые задания скорости могут быть одинаковыми по величине, например, ограничения допустимой скорости двигателя (в оборотах в минуту, rpm):

$$n_max = 3000 \text{ rpm}, \quad n_min = -3000 \text{ rpm}.$$

Ограничения скорости двигателя по технологическим соображениям могут быть различной величины, например:

$$n_max = 3000 \text{ rpm}, \quad n_min = -100 \text{ rpm}$$

$$\text{или } n_max = 3000 \text{ rpm}, \quad n_min = 0 \text{ rpm}.$$

Например, на рисунке 4.2 показана функциональная диаграмма инверсии и ограничения задания, реализованная в преобразователе Sinamics G120.

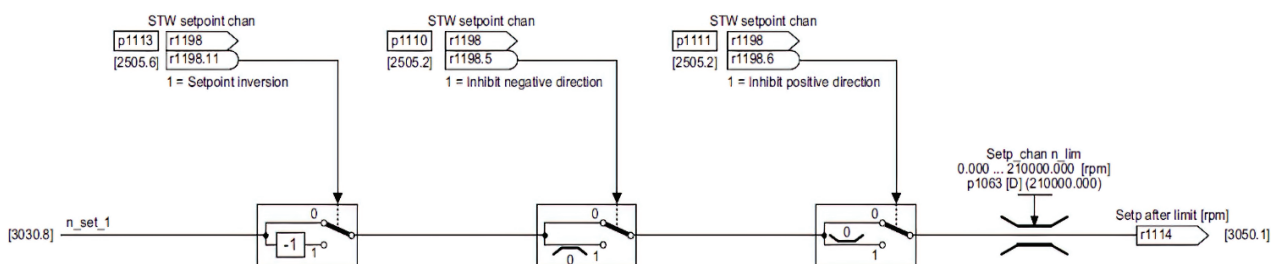


Рис. 4.2. Ограничения и инверсия сигнала задания.

4.2. Ограничение минимального задания по абсолютной величине

В некоторых случаях может быть установлено минимально допустимое по абсолютной величине задание больше нуля, как показано на рисунке 3.2 в цепи формирования задания скорости преобразователя TPD32 EV. Это может понадобиться, например, если поступающее с аналогового входа задание содержит небольшой шум (помеху); тогда порог минимального задания устанавливается выше уровня этой помехи.

4.3. Пропуск критических частот

Критические скорости могут быть предварительно заданы в системах, в которых требуется исключить определённые скорости или диапазоны скоростей вращения двигателя, например, из-за проблем с механическим резонансом. Функция критических скоростей не допускает, чтобы уставка скорости долго находилась в критическом диапазоне. На рисунке 4.3 показана

диаграмма функции пропуска критических частот и ограничения скорости в преобразователях Sinamics G120.

Абсолютное значение допустимой минимальной скорости задаётся параметром p1080 и коннектором, подключённым к параметру p1106; максимальное из них значение определяет допустимый минимум заданной скорости. Величины критических скоростей указываются в параметрах p1091, p1092, p1093, p1094. Коннектор, подключённый к параметру p1098, масштабирует заданные значения критических скоростей. В параметре p1101 задаётся ширина зоны пропуска.

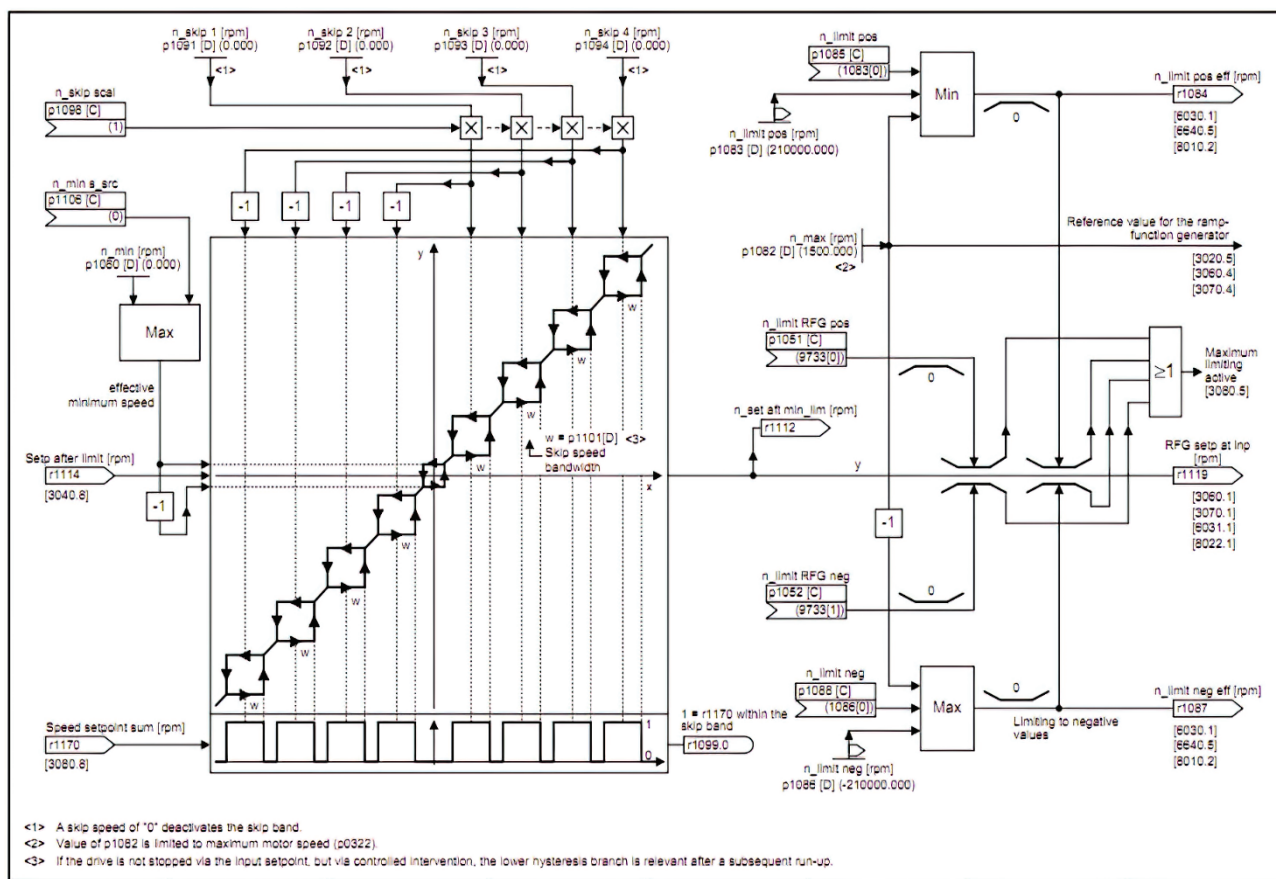


Рис. 4.3. Функция пропуска критических частот

Диаграмма, поясняющая назначение параметров настройки функции пропуска частот в преобразователе частоты FR-A800 Mitsubishi, показана на рисунке 4.4. В отличие от привода Sinamics на графике не предусмотрено изменение устанавливаемой частоты по петле гистерезиса при изменении задания в районе резонансной частоты.

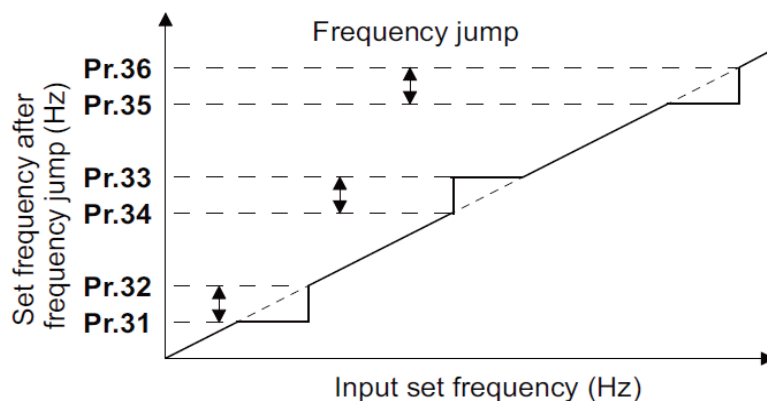


Рис. 4.4. Пропуск критических частот механизма

4.4. Задатчик интенсивности

Задатчик интенсивности определяет темп нарастания сигнала задания на входе регулятора. Ограничение темпа нарастания скорости приводит к уменьшению необходимого динамического момента двигателя. На рисунке 4.5 представлены графики задания скорости x на входе задатчика интенсивности, сигнал на выходе задатчика интенсивности y и график динамического момента M , который должен быть создан приводом для достижения заданной скорости (при моменте сопротивления равном нулю).

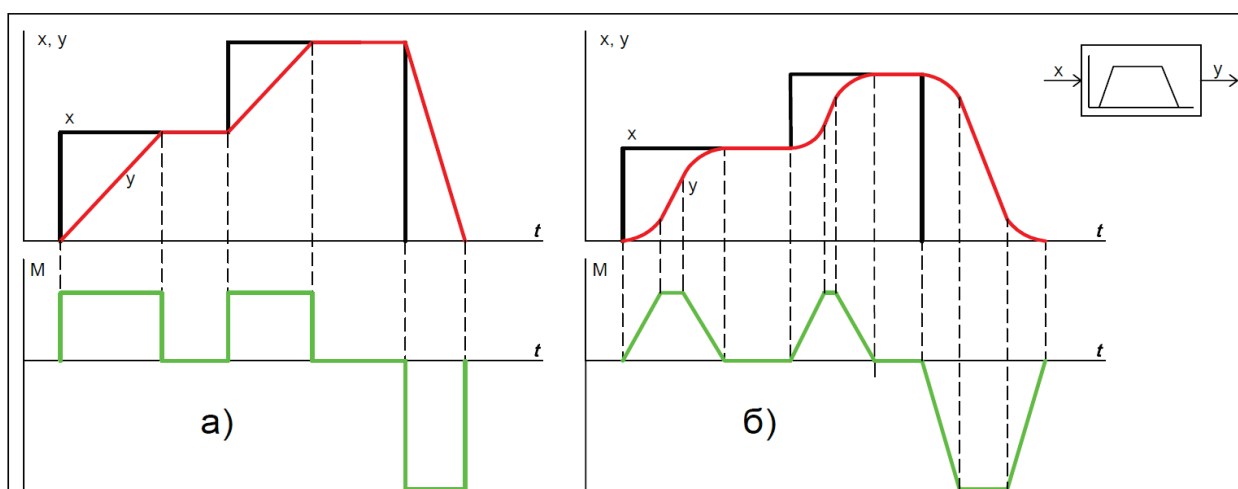


Рис. 4.5. Сигналы задатчика интенсивности и динамический момент привода: а) линейный ЗИ; б) S-образный ЗИ

Простые линейные задатчики интенсивности применяются в функциональных блоках преобразователей, где требуется ограничить темп изменения сигнала. Линейные задатчики интенсивности позволяют ограничить динамический момент привода, однако не ограничивают рывок (производную по времени от момента). Ограничивающие рывок S-образные задатчики

интенсивности полезны для ограничения бросков тока привода, снижения ударов в механизме при выборе люфтов.

Функции задатчиков интенсивности могут иметь следующие дополнительные возможности:

- кроме основного выходного сигнала задания скорости может быть дополнительный выходной сигнал производной от задания скорости;
- задания параметров темпа разгона и замедления могут иметь несколько фиксированных значений или задаваться по шине управления;
- часто предусматривается возможность обхода задатчика (байпас) по специальному сигналу разрешения;
- на основной выходной сигнал задатчика могут накладываться дополнительные ограничения по амплитуде;
- формирование битов слова состояния задатчика интенсивности.

На рисунке 4.6 приведена функциональная схема задатчика интенсивности преобразователя Simoreg DCM.

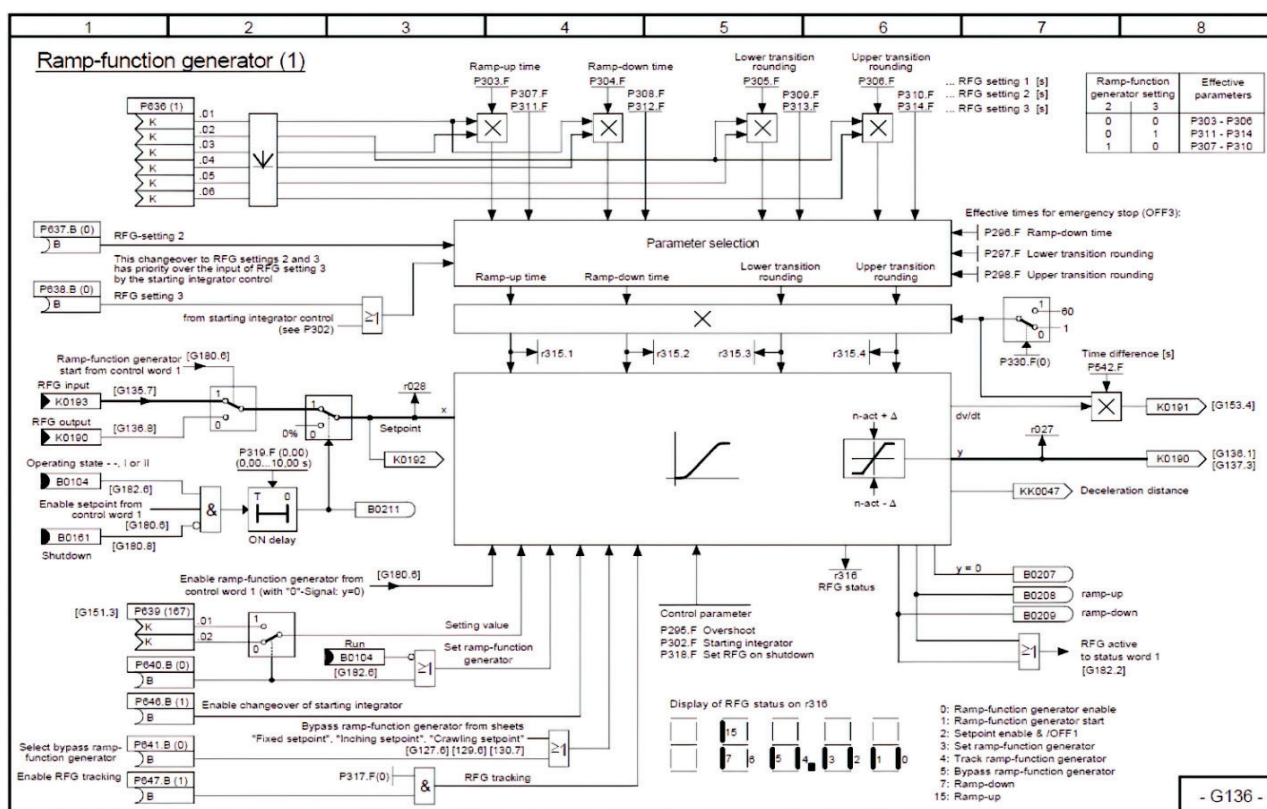


Рис. 4.6. Функциональная схема задатчика интенсивности Simoreg DCM

5. ФУНКЦИИ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ

На рисунке 5.1 представлена функциональная схема регулятора скорости преобразователя TPD32 EV; кроме собственно ПИ-регулятора здесь предусмотрены функции, значительно расширяющие возможности регулятора скорости. К таким функциям относятся следующие:

- выбор источника обратной связи;
- адаптация пропорционального и интегрального коэффициентов ПИ-регулятора;
- функция статизма или Droop функция;
- компенсация момента сопротивления и момента инерции;
- Speed Up функция.

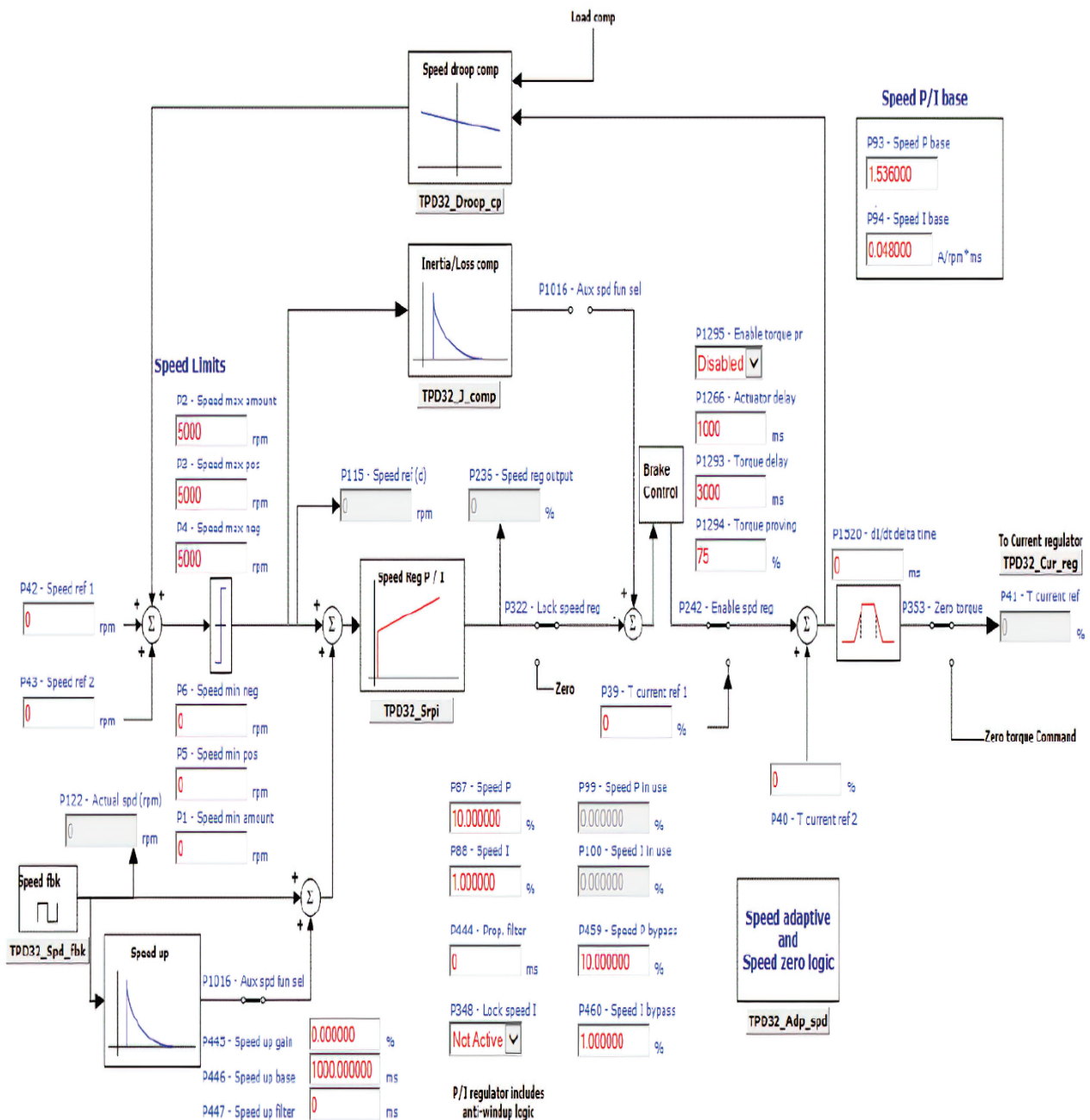


Рис. 5.1. Регулятор скорости преобразователя TPD32 EV

5.1. ПИ-регулятор

Основной закон регулирования регулятора скорости, принятый в преобразователях постоянного и переменного тока, – пропорционально-интегральный. Соотношение пропорциональной и интегральной составляющих выполняется по двум вариантам, отличающимся вычислением интегральной составляющей (см. рис. 5.2). Соответствующие передаточные функции $W_a(s)$ и $W_b(s)$ имеют вид:

$$W_a(s) = (K_p T_i s + 1) / T_i s, \quad W_b(s) = K_p (T_i s + 1) / T_i s. \quad (5.1)$$

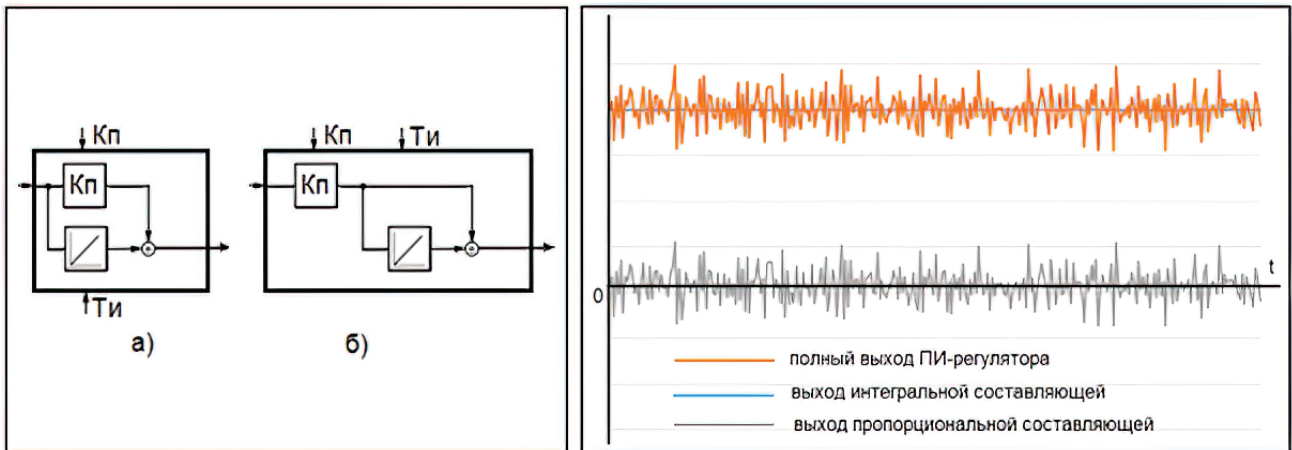


Рис. 5.2. Структурные схемы ПИ-регулятора; пропорциональная и интегральная составляющие выхода регулятора скорости

В некоторых случаях отдельно используются пропорциональная или интегральная составляющие выхода ПИ-регулятора. Поскольку ПИ-регулятор скорости обеспечивает нулевую установившуюся ошибку, то среднее значение пропорциональной составляющей выхода регулятора равно нулю. Как видно из рисунка 5.2, интегральная составляющая выхода соответствует фильтрованному значению полного выхода регулятора.

Постоянная интегрирования и интегральный коэффициент регулятора

Уравнение для вычисления выхода интегратора в каждом цикле $[n]$ управляющего контроллера можно записать в следующем виде:

$$y[n] = y[n-1] + (\Delta t / T_i) \cdot x[n] \quad \text{или} \quad y[n] = y[n-1] + K_i \cdot x[n], \quad (5.2)$$

где Δt – длительность цикла, T_i – постоянная интегрирования, $y[n-1]$ – интегральная сумма интегратора, K_i – интегральный коэффициент усиления.

Учитывая соотношения (5.2), следует отметить, что одни производители преобразователей в качестве параметра интегральной составляющей регулятора

используют параметр T_i , а другие – параметр K_i . Эти два параметра обратно пропорциональны друг другу.

Адаптация параметров ПИ-регулятора

Во многих механизмах в процессе их работы происходит изменение механических параметров, например, меняется момент инерции моталки и разматывателя при изменении диаметра рулона с металлом. В таком случае для поддержания оптимальной настройки контура скорости необходимо менять коэффициенты регулятора скорости. В ряде преобразователей предусматривается так называемая адаптация параметров K_p и T_i (или K_i). Такая функция адаптации предусматривает изменение параметров регулятора в зависимости от задаваемого входного сигнала. На рисунке 5.3 приведены функциональные диаграммы адаптации пропорционального K_p и интегрального T_i коэффициентов регулятора скорости преобразователя Sinamics DCM.

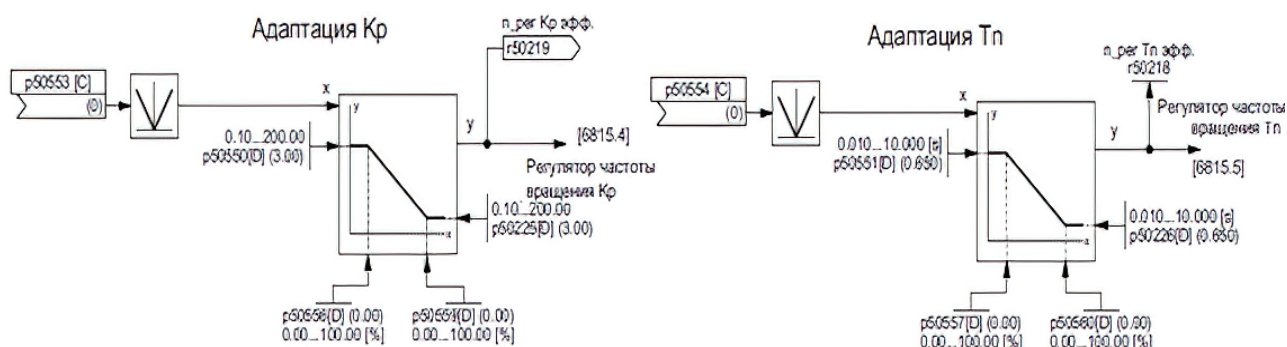


Рис. 5.3. Адаптация коэффициентов ПИ-регулятора скорости Sinamics DCM

Величина пропорционального коэффициента K_p может меняться в зависимости от абсолютной величины коннектора, подключаемого к параметру $p50553$. Диапазон изменения K_p определяют параметры $p50550$ и $p50225$. Параметры $p50556$ и $p50559$ определяют границы, в которых коэффициент K_p меняется в пределах своего диапазона. Механизм изменения интегрального коэффициента T_i аналогичен.

На рисунке 5.4 приведена диаграмма адаптации коэффициентов регулятора скорости “Speed P” и “Speed I” преобразователя TPD32 EV. Настройка блока адаптации состоит в формировании зависимостей коэффициентов пропорциональной и интегральной составляющих от параметра адаптации. Для этого по каждой из составляющих ПИ-регулятора задаются три значения коэффициента, соответствующие определенным диапазонам параметра адаптации, а также два значения параметра адаптации, определяющие указанные диапазоны. Для плавного изменения коэффициентов

“Speed P” и “Speed I” на границах диапазонов задаются величины коридоров, в которых происходит изменение коэффициентов.

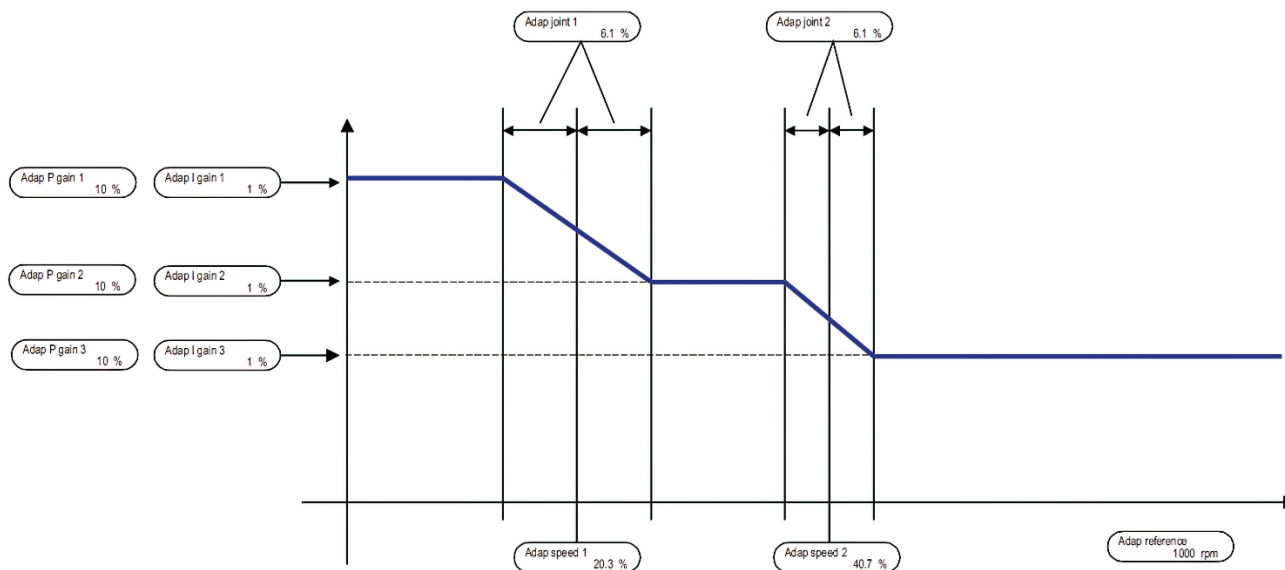


Рис. 5.4. Адаптация коэффициентов ПИ-регулятора скорости TPD32 EV.

Часто в регуляторах скорости предусматриваются возможности фиксации или установки заданного значения интегральной составляющей по дискретному сигналу; подключения или отключения пропорциональной или интегральной составляющих и т.п.

5.2. Выбор обратной связи по скорости

Как правило, в преобразователях предусматривается несколько способов получения сигнала обратной связи по скорости. Можно отметить следующие источники сигнала фактической скорости привода.

Тахогенератор постоянного тока

Тахогенераторы постоянного тока по принципу действия и конструкции представляют собой электрические коллекторные микромашины постоянного тока с независимым электромагнитным возбуждением или возбуждением от постоянных магнитов. Выходным сигналом тахогенератора является напряжение, величина которого прямо пропорциональна угловой скорости вращения ротора; это напряжение снимается через щётки с коллектора. Поскольку в работе участвуют коллектор и щётки, тахогенератор постоянного тока подвержен износу. Кроме того, щёточно-коллекторный узел в процессе своей работы порождает импульсные помехи в выходном сигнале тахогенератора. Тахогенераторы постоянного тока характеризуются коэффициентом преобразования, который выражает отношение снимаемого

напряжения к соответствующей данному напряжению частоте вращения. Этот параметр даётся в технической документации на тахогенератор и измеряется в милливольтгах, умноженных на обороты в минуту. Обычно напряжение тахогенератора подаётся на специализированный аналоговый вход, способный принимать достаточно высокое напряжение сигнала скорости, например, до 270 В.

Асинхронные и синхронные тахогенераторы применяются значительно реже, чем тахогенераторы постоянного тока.

Инкрементальный энкодер

Инкрементные энкодеры предназначены для передачи информации о направлении, угле поворота и скорости вращения вала. Энкодер формирует периодические сигналы, при этом количество периодов пропорционально углу поворота вала, которые регистрируются и интерпретируются приёмным устройством в качестве информации о скорости и угле поворота вала. Устройство энкодера показано на рисунке 5.5.



Рис. 5.5. Устройство инкрементального энкодера

Все инкрементальные энкодеры имеют интерфейс в виде двух импульсных сигналов А и В, а некоторые имеют и дополнительный индексный канал I (см. рис. 5.6.). Импульсный сигнал, формируемый на выходе инкрементального энкодера, принимает два значения – максимальное и минимальное. Минимальное значение в большинстве случаев соответствует

нулю. Максимальное значение может быть или фиксированным (например: 3,3 В, 5 В), так и зависеть от напряжения питания, поданного на энкодер. Разрешение энкодера определяется количеством импульсов на один оборот.

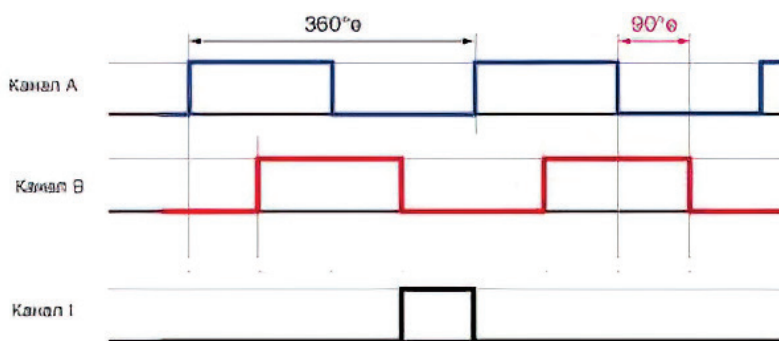


Рис. 5.6. Выходные сигналы инкрементального энкодера

По способу формирования выходного сигнала можно выделить энкодеры с несимметричным выходом и с дифференциальным выходом.

В случае несимметричного выхода сигналы всех трёх импульсных каналов формируются относительно общей точки источника питания. Такой сигнал достаточно прост при использовании и экономичен с точки зрения числа подключаемых проводов, однако уязвим для электромагнитных помех в случае передачи по проводам значительной длины. Сигнал энкодеров с дифференциальным выходом лишён этого недостатка. Для каждого канала при помощи специального формирователя вместо одного сигнала формируется пара сигналов – нормальный и логически инверсный, а соответствующий приёмник принимает сигнал по разности этой пары сигналов. Это позволяет устойчиво передавать сигнал по длинным проводам (десятки и сотни метров) даже при наличии помех.

Расчётное значение фактической скорости

В преобразователях частоты, работающих в векторном режиме, возможен режим работы регулятора скорости с сигналом обратной связи **n_Act**, вычисляемым математической моделью двигателя. Параметры математической модели двигателя определяются на этапе автоматической настройки преобразователя.

На рисунке 5.7а показана диаграмма выбора сигнала обратной связи по скорости в преобразователях частоты Sinamics. В коннектор **r0063** заносится величина фактической скорости, определяемая или от энкодера, или от математической модели; выбор источника сигнала обратной связи определяется бинектором (дискретным сигналом) **r1407.1**. Коннектор **r0063** передаёт информацию о фактической скорости в регулятор скорости.

На рисунке 5.7б показан фрагмент диаграммы регулятора скорости с использованием вычисленного значения фактической скорости двигателя.

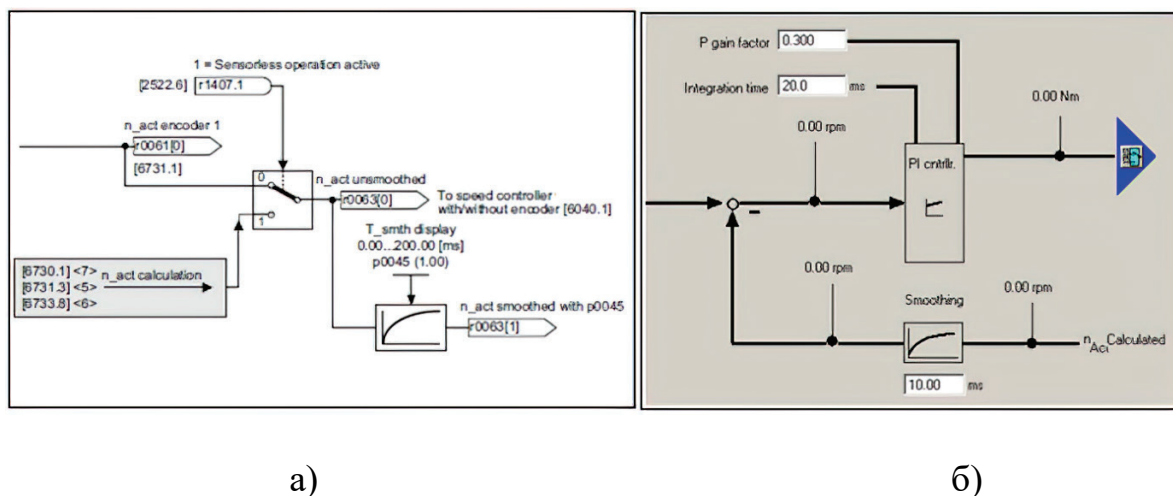


Рис. 5.7. Применение расчётного значения фактической скорости в преобразователе частоты

Обратная связь по ЭДС

В преобразователях постоянного тока информация о скорости двигателя n может быть получена из величины ЭДС E_a , если поток возбуждения двигателя Φ_v номинальный или используется двигатель с постоянными магнитами.

$$E_a = C_E \cdot n \cdot \Phi_v, \quad E_a = U_a - I_a \cdot R_a - L_a \cdot dI_a/dt, \quad (5.3)$$

где U_a – напряжение на обмотке якоря двигателя; I_a – ток якоря; R_a – сопротивление якорной цепи; L_a – индуктивность якорной цепи; dI_a/dt – производная от тока якоря.

При использовании обратной связи по ЭДС двигателя отпадает необходимость в установке дополнительного датчика скорости, однако точность такого сигнала обратной связи ниже, чем при использовании тахогенератора или энкодера. Негативное влияние на точность привносят помехи, влияющие на датчик напряжения якоря, смещение сигнала датчика напряжения якоря, а также помехи в сигнале датчика тока якоря.

Вместе с тем обратная связь по ЭДС используется на начальном этапе наладки привода для конфигурации параметров тахогенератора или энкодера; знак фактической скорости, определённой тахогенератором или энкодером, должен совпадать со знаком скорости, определённой по ЭДС двигателя.

На рисунке 5.8 приведена диаграмма конфигурации сигнала обратной связи по скорости n_{Fdbk} преобразователя постоянного тока DCREG4, разработанного компанией «Elettronica Santerno S.p.A».

В этом преобразователе предусмотрено три входа для подключения тахогенератора; входы отличаются допустимым максимальным напряжением; имеются параметры для настройки канала тахогенератора. Предусмотрен канал обратной связи по ЭДС; имеются параметры для настройки этого канала. Сигнал обратной связи по скорости можно также получать от энкодера. Выбор одного из трёх каналов осуществляется параметром C070.

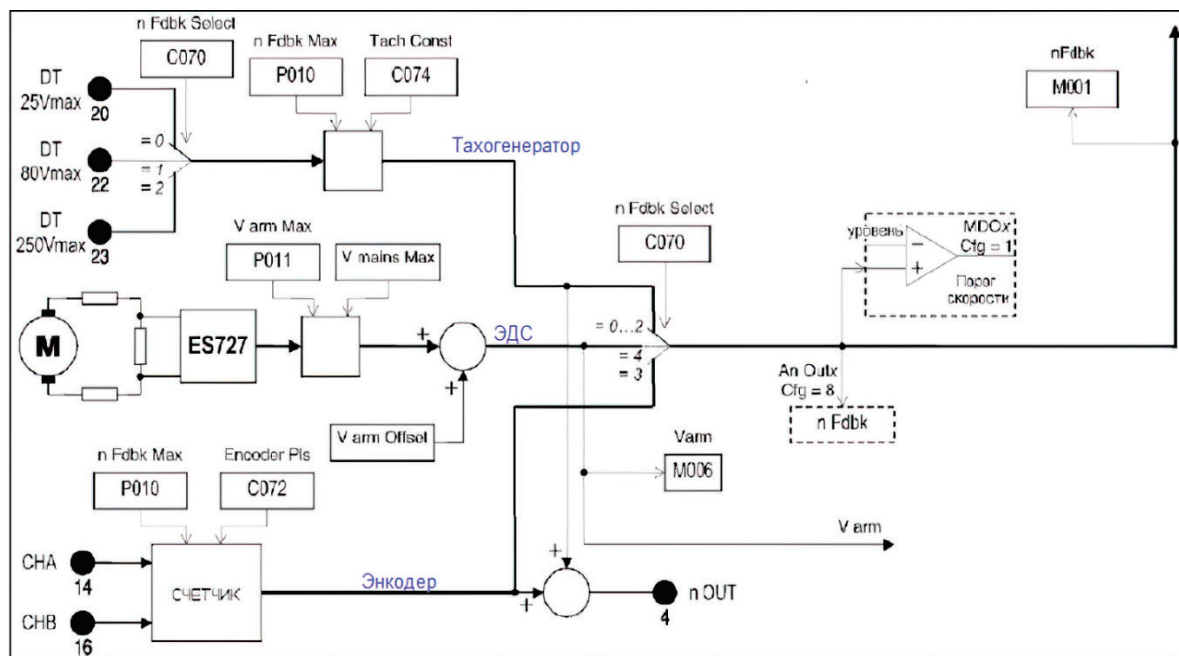


Рис. 5.8. Конфигурация сигнала обратной связи привода DCREG4

5.3. Функция статизма, Droop-function

Функция статизма, она же Droop-function, позволяет сделать механическую характеристику привода мягкой, т.е. при увеличении момента сопротивления скорость двигателя будет уменьшаться. На функциональной диаграмме регулятора скорости преобразователя TPD32 EV (см. рис. 5.1) функция статизма представлена блоком “Speed droop compensation”. Сигнал выхода ПИ-регулятора с заданной функцией статизма коэффициента вычитается из сигнала задания регулятора.

На вход цепи Droop-function поступает сигнал выхода регулятора скорости; с этим сигналом суммируется величина, занесённая в параметр **P698 – Load comp**. Блок фильтра **P697 – Droop filter** предназначен для сглаживания результата суммирования. Коэффициент в параметре **P596 – Droop gain** определяет крутизну получающейся механической характеристики; блок ограничения **P700 – Droop limit** ограничивает диапазон влияния функции. Сигнал выхода этой цепи добавляется к заданию ПИ-регулятора, как показано на рисунке 5.9а.

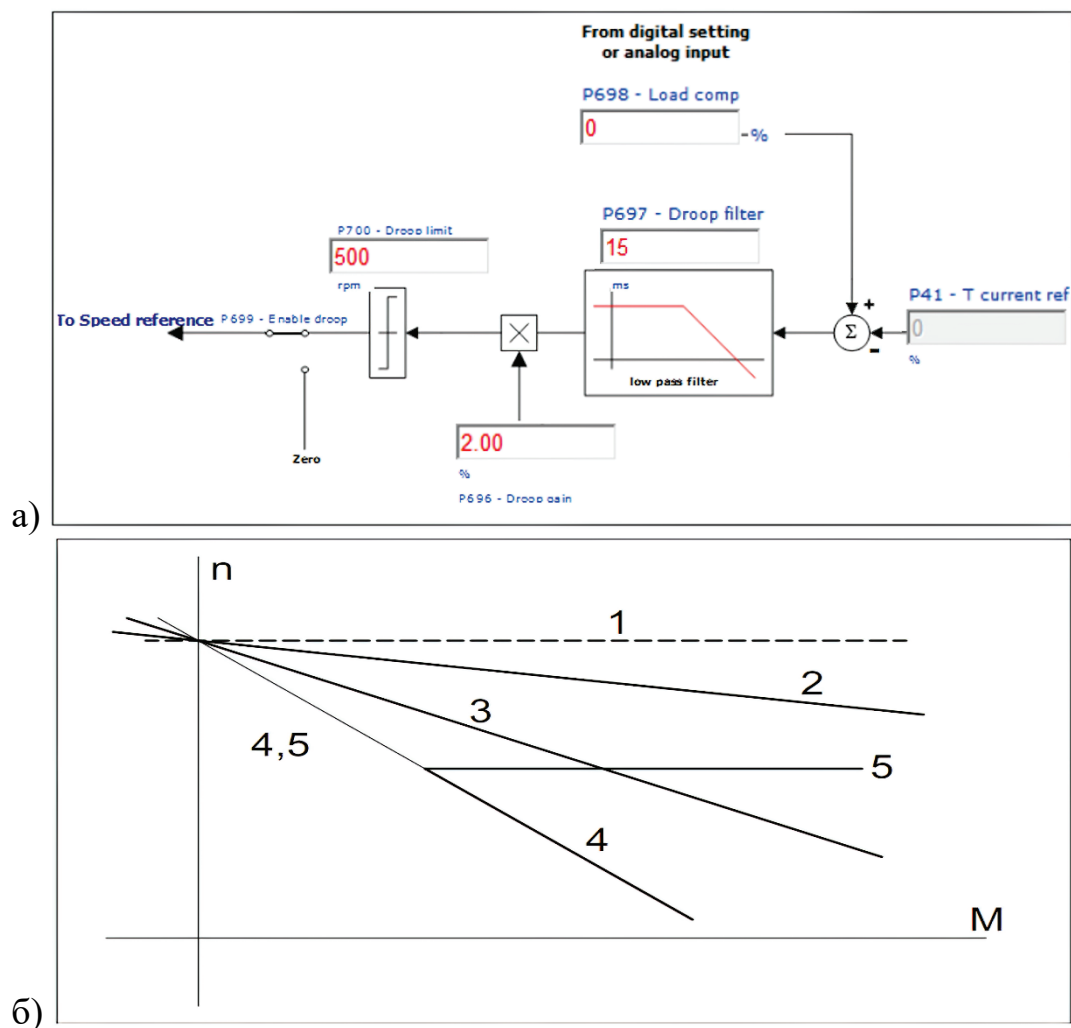


Рис. 5.9. а) функциональная схема цепи Droop-function; б) механические характеристики

На рисунке 5.9б показаны механические характеристики привода при изменении параметров Droop-function.

- 1 – механическая характеристика привода с ПИ-регулятором скорости при отключённой функции статизма;
- 2 – регулятор с функцией статизма; коэффициент Droop gain $K1$;
- 3 – регулятор с функцией статизма; коэффициент Droop gain $K2 > K1$;
- 4 – регулятор с функцией статизма; коэффициент Droop gain $K3 > K2$;
- 5 – регулятор с функцией статизма с коэффициентом $K3$ и при установке блока ограничения Droop limit.

Droop-function часто используется для распределения моментов между приводами, работающими на общую нагрузку. В преобразователе TPD32EV (см. рис. 5.9а) для этого от ведущего привода на вход “**P698 Load comp**” подаётся сигнал, пропорциональный заданию момента ведущего привода.

На рисунке 5.10 показана функциональная диаграмма Droop-function в преобразователях Sinamics S120. Сигнал на выходе мультиплексора **p1488** соответствует сигналу на входе “**P698 Load comp**” на рисунке 5.9а.

Мультиплексор **p1488** позволяет выбрать один из четырёх источников задания момента от ведущего привода:

- интегральная составляющая выхода ПИ-регулятора скорости ведущего привода **r1482**;
- полный выход регулятора скорости ведущего привода **r1508**;
- общее задание момента ведущего привода **r0079**;
- фиксированное значение **Statik M_komp Skal**.

В параметр **p1486** подключается один из коннекторов ведомого привода **r1482**, **r1508**, **r0079**, соответствующие заданию момента этого привода.

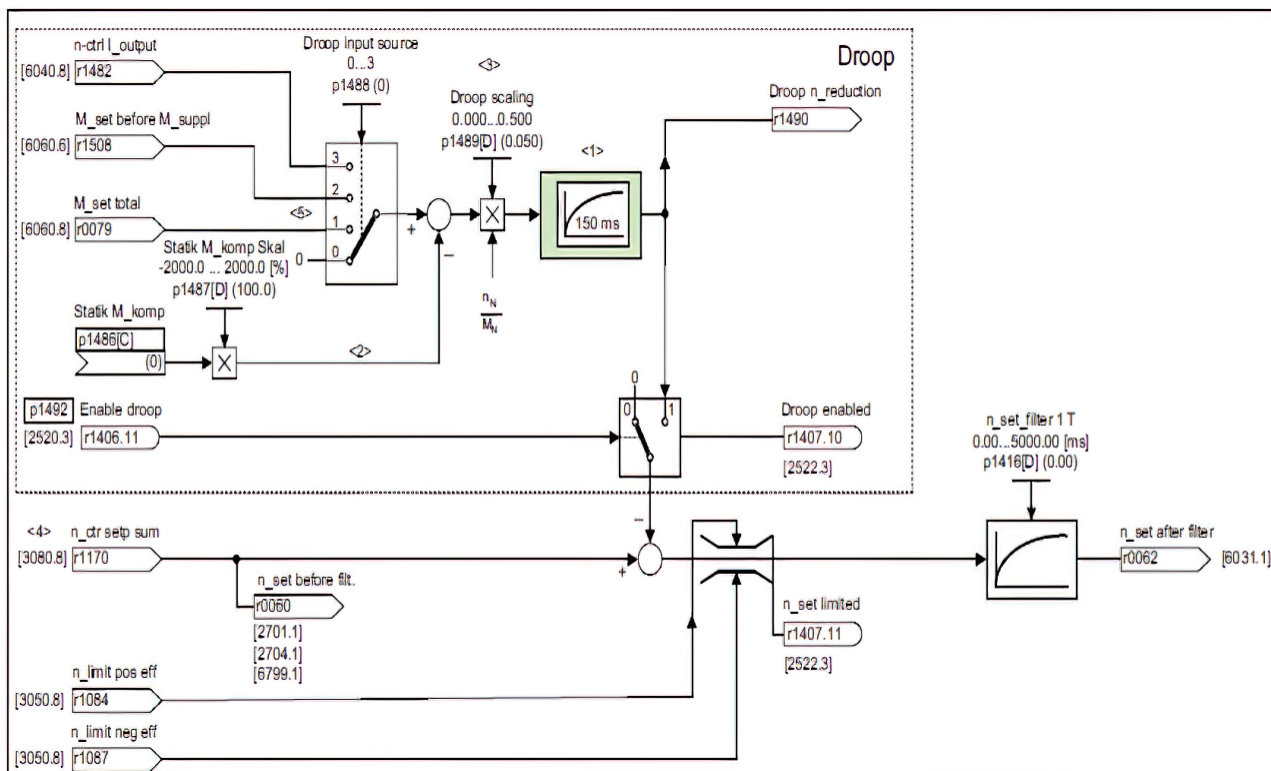


Рис. 5.10. Функциональная диаграмма Droop-function в преобразователях Sinamics S120

Параметр **p1489** задаёт коэффициент статизма K ; выходной сигнал Droop-function (коннектор **r1490**) вычитается из задания ПИ-регулятора скорости **r1170**.

Как видно из рис. 5.10 и 5.9а, не смотря на отличия в некоторых структурных элементах, действие этой функции в преобразователях TPD32EV и Sinamics S120 одинаковое.

5.4. Компенсация момента сопротивления, момента инерции

Задание на формирование момента привода поступает, как правило, от регулятора скорости. Однако, при известном задании на скорость привода, можно рассчитать необходимый момент или некоторые составляющие момента

и этот рассчитанную величину момента сразу задавать в контур регулирования момента. В приводах постоянного тока функции регулятора момента выполняет регулятор тока якоря; в частотно-регулируемых приводах с векторным управлением за формирование момента отвечает регулятора активной составляющей тока.

Блоки компенсации момента сопротивления задают в регулятор момента привода задание, пропорциональное величине статического момента; блоки компенсации момента инерции задают в регулятор момента привода задание, пропорциональное требуемому динамическому моменту. Как правило, блоки компенсации момента сопротивления и момента инерции являются цепями **предупреждения** (pre-control), в которых расчёт задания составляющих момента выполняется на основе информации, используемой регулятором скорости.

На рисунке 5.1 блок “Inertia/Loss Compensation” получает информацию о заданном значении скорости; это сигнал преобразуется в сигналы компенсации динамического момента и момента сопротивления. Такой же блок “Inertia/Loss Compensation” присутствует в регуляторе скорости преобразователя Power Flex DC drive компании Rockwell Automation. На рисунке 5.11 представлена функциональная диаграмма блока “Inertia/Loss Compensation” в преобразователе Power Flex DC drive.

При превышении заданной скорости установленного минимального значения блок “Inertia/Loss Compensation” выдаёт в регулятор тока якоря постоянную добавку, пропорциональную моменту сопротивления. Дифференцирование заданной скорости позволяет сформировать сигнал, пропорциональный требуемому динамическому моменту.

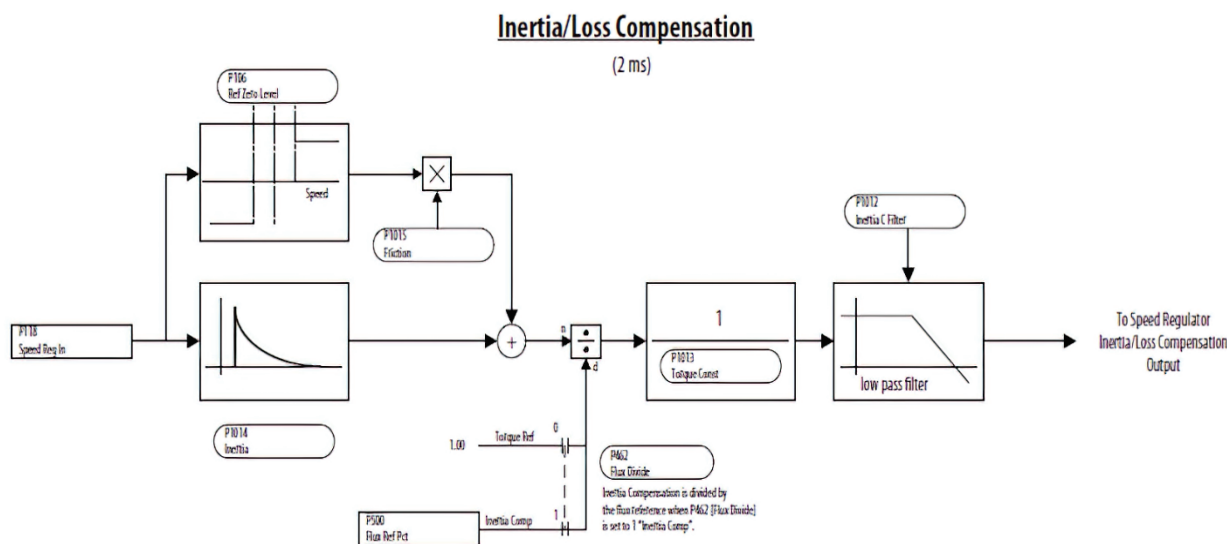


Рис. 5.11. Функциональная диаграмма блока “Inertia/Loss Compensation”

Аналогичные, но более гибкие функции компенсации момента инерции и момента сопротивления, реализованные в преобразователе Sinamics DCM, как показано на рисунке 5.12.

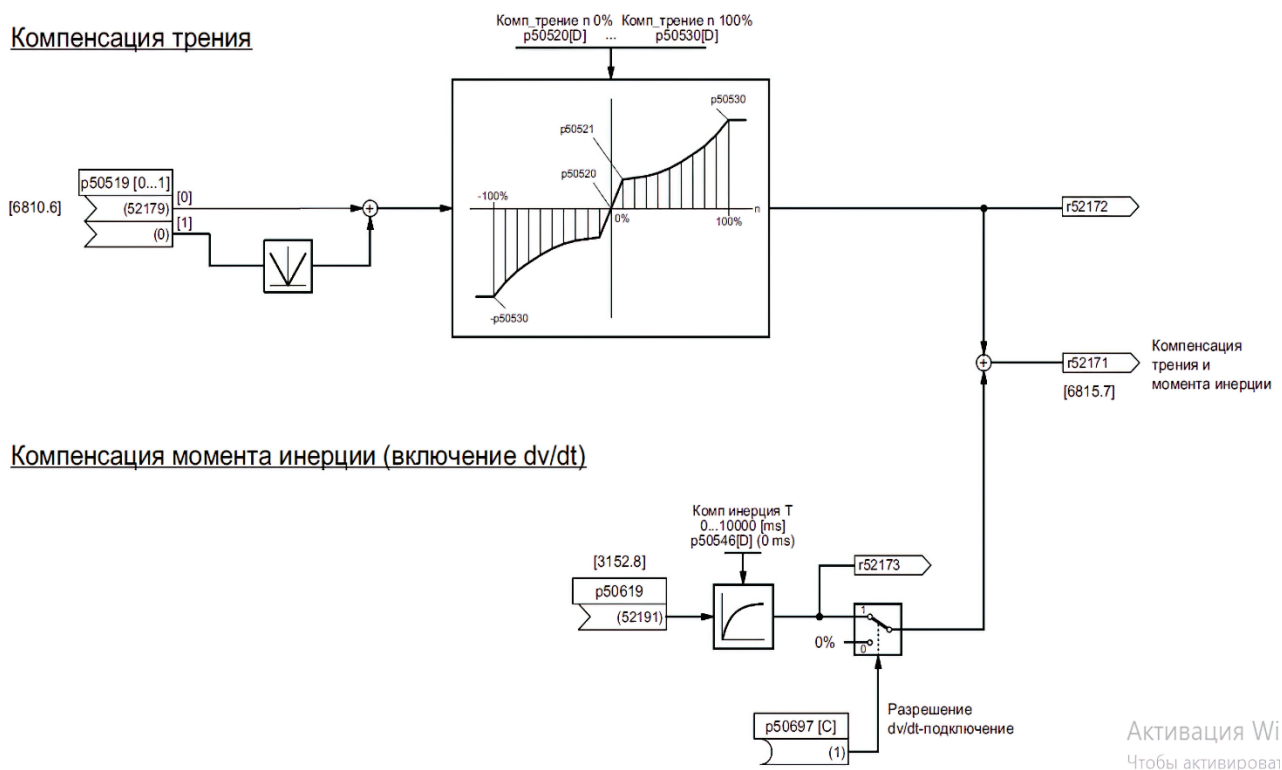


Рис. 5.12. Компенсация момента трения и момента сопротивления в преобразователе Sinamics DCM

Момент двигателя $M_{дв}$ можно выразить через статическую $M_{ст}$ и динамическую $M_{дин}$ составляющие:

$$M_{дв} = M_{ст} + J \cdot d\omega/dt, \quad M_{дин} = J \cdot d\omega/dt, \quad (5.4)$$

где J – момент инерции механизма и двигателя, приведённый к валу двигателя; ω – скорость вращения ротора двигателя.

Момент двигателя определяется конструктивной постоянной C_m , потоком возбуждения Φ_v и током якоря I_a :

$$M_{дв} = C_m \cdot \Phi_v \cdot I_a. \quad (5.5)$$

В соответствии с (5.4) и (5.5) полное задание на регулятор тока можно представить:

$$I_{зад} = I_{ст} + I_{дин} \quad (5.6)$$

В преобразователе Sinamics DCM предусмотрена возможность как ручного, так и автоматического определения момента сопротивления $M_{ст}$ от

фактической скорости двигателя; для этого выделен ряд параметров p50520,...p50530.

Сигнал производной от заданной скорости для расчёта динамического момента $M_{дин}$ может быть взят от специального выхода задатчика интенсивности, как показано на рисунке 5.13, или от отдельного звена дифференцирования.

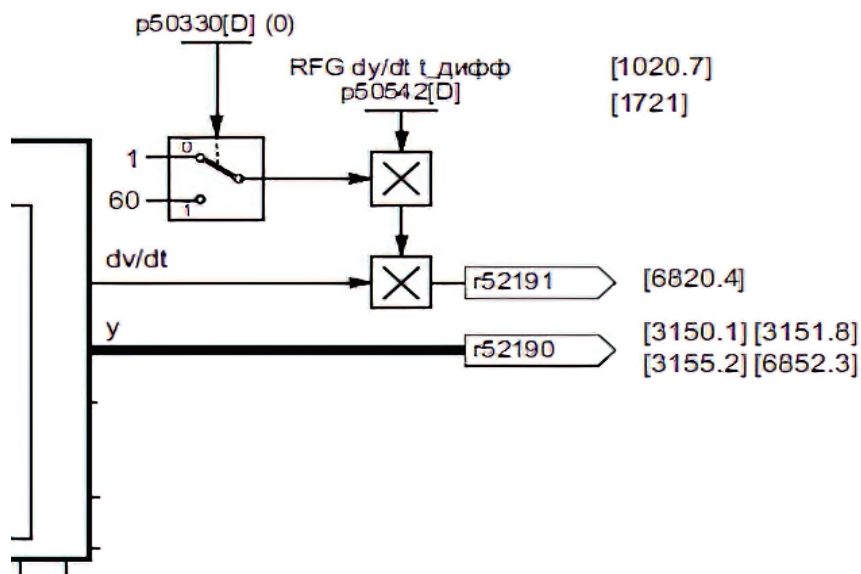


Рис. 5.13. Функциональная диаграмма выхода задатчика интенсивности преобразователя Sinamics DCM

Сигнал производной от задания скорости **r52191**, формируемый задатчиком интенсивности, используется для формирования дополнительного задания на ток якоря. Параметры **p50330** и **p50542** определяют амплитуду сигнала компенсации момента инерции привода.

При полной компенсации момента сопротивления $M_{ст}$ и динамического момента $M_{дин}$ составляющие задания тока $I_{ст}$ и $I_{дин}$ поступают в регулятор тока не от регулятора скорости, а по цепи предупреждения.

При выполненной полной компенсации момента инерции и компенсации момента трения сигнал на выходе регулятора скорости будет близок к нулю как при постоянной скорости вращения, так и во время изменения скорости.

На рисунке 5.14 показаны полученные на приводе графики, соответствующие следующим коннекторам преобразователя Sinamics DCM:

r52167 – скорость привода;

r52160 – выход регулятора скорости;

r52171 – суммарный сигнал компенсации момента трения и момента сопротивления $I_{ст} + I_{дин}$;

r52148 – задание на момент $I_{зад}$.

Выход регулятора скорости (коннектор r52160) меняется в пределах $\pm 2,5\%$.

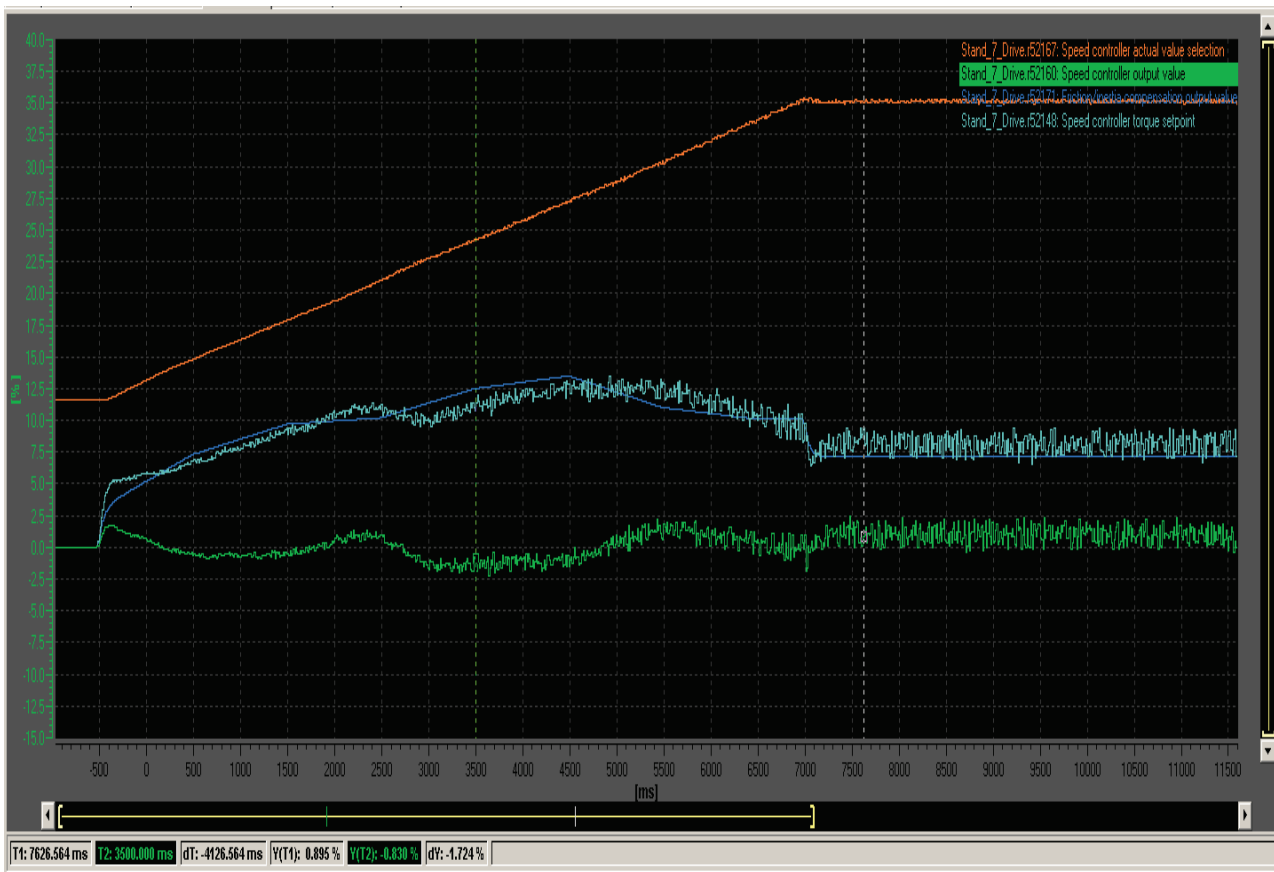


Рис. 5.14. Пуск механизма без нагрузки. Включены компенсация момента трения и компенсация момента инерции

5.5. Форсировка сигнала обратной связи (SpeedUp функция)

Форсировка сигнала обратной связи по скорости предполагает подачу сигнала производной по фактической скорости в дополнение к самому сигналу фактической скорости привода. Такую форсировку называют также SpeedUp функцией.

Рассмотрим на простом примере влияние такого дополнения. Как известно, поведение привода с обратной связью по скорости можно достаточно достоверно описать динамическим звеном второго порядка с передаточной функцией $W_1(s)$:

$$W_1(s) = \frac{N_{\text{факт}}(s)}{N_{\text{задания}}(s)} = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}, \quad (5.7)$$

где $N_{\text{факт}}$ – фактическая скорость привода; $N_{\text{задания}}$ – заданная скорость привода; T – постоянная времени, ξ – коэффициент затухания.

Добавим отрицательную обратную связь по производной от скорости:

$$W_{\text{ос}}(s) = \tau s. \quad (5.8)$$

Получим:

$$W_2(s) = \frac{W_1(s)}{1+W_1(s)W_{oc}(s)} = \frac{1}{T^2s^2 + (2\xi T + \tau)s^2 + 1}. \quad (5.9)$$

Из последнего выражения (5.9) следует, что коэффициент при первой степени оператора s полинома знаменателя увеличился. Следовательно, увеличилось затухание колебательного звена, которым описывается поведение привода.

На рисунке 5.15 показана обобщённая блок-схема регулятора скорости преобразователя частоты Unidrive SP. Регулятор содержит пропорциональное (K_p) и интегральное (K_i) звенья прямой подачи, а также звено дифференциальной (K_d) обратной связи. Дифференциальное звено в цепи обратной связи регулятора скорости обеспечивает дополнительное демпфирование (затухание).

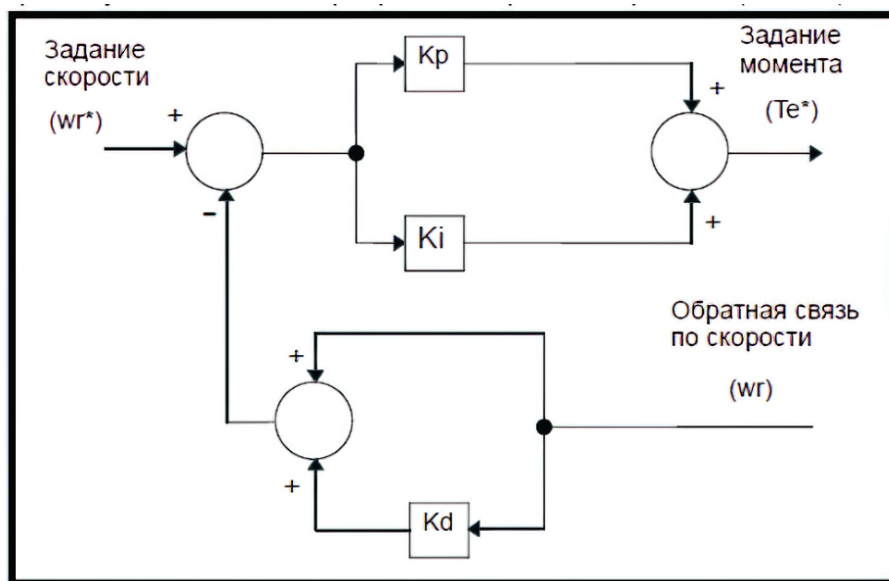


Рис. 5.15. Блок-схема регулятора скорости

Чистое дифференцирование сигнала обратной связи, а также других сигналов не используется, поскольку приводит к увеличению уровня шума от сопутствующих высокочастотных помех. Обычно совместно со звеном дифференцирования применяется фильтр первого порядка. Для настройки цепи SpeedUp функции предусматриваются параметры настройки усиления звена дифференцирования и постоянной времени фильтра, например, как показано на рисунке 5.1.

С нагрузками, имеющими высокий момент инерции, можно контролировать скачки при изменении скорости. Их можно уменьшить с помощью функции SpeedUp. На рисунке 5.16 показано влияние этой функции.

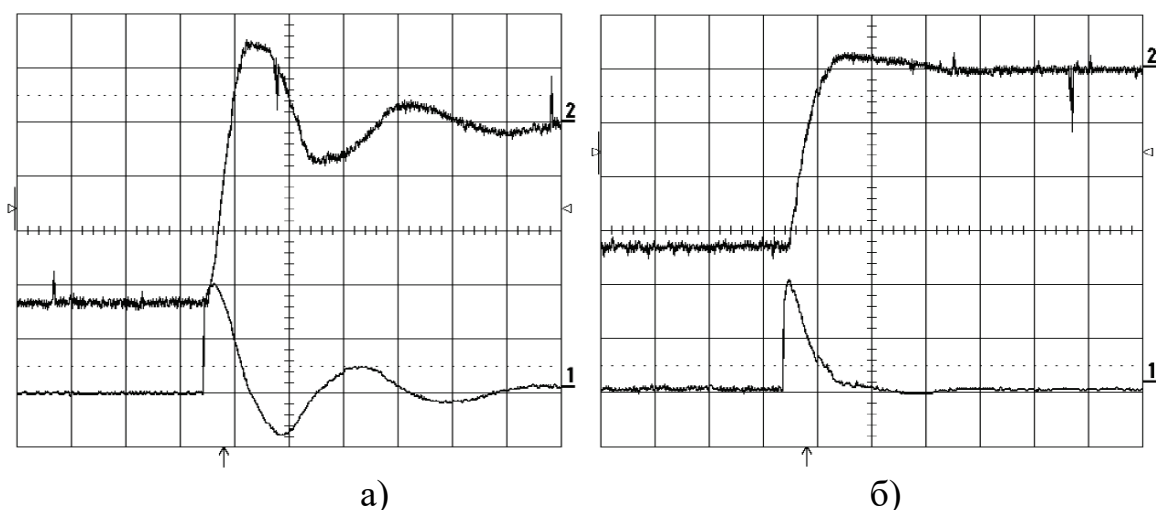


Рис. 5.16. Влияние функции SpeedUp на колебания тока и скорости.

а) Вверху: фактическая скорость; Внизу: скачки тока двигателя при изменении скорости из-за высокого момента инерции. Функция SpeedUp не активна.

б) Тот же привод с активной функцией Speed -up. Вверху: фактическая скорость; Внизу: ток двигателя.

6. РЕГУЛЯТОРЫ ТОКА

Регулятор тока якоря в преобразователях постоянного тока является подчинённым по отношению к регулятору скорости; задание на момент, выдаваемое регулятором скорости, определяет задание на ток якоря. Фактически регулятор тока якоря выполняет функцию регулятора момента привода. Регулятор тока возбуждения в приводе постоянного тока может быть ведущим и стабилизировать заданный ток возбуждения или быть ведомым в подчинении регулятора ЭДС и обеспечивать работу привода при двухзонном регулировании скорости. На функциональной схеме (рис. 1.4) представлены регуляторы тока якоря и тока возбуждения в структуре программного обеспечения преобразователя Sinamics DCM.

В частотно-регулируемых преобразователях в режимах векторного управления устанавливаются регуляторы активной и реактивной составляющих выходного тока преобразователя. Регулятор активной составляющей тока выполняет функцию регулятора момента; регулятор реактивной составляющей тока обеспечивает необходимое магнитное поле.

6.1. Регуляторы тока как регуляторы момента

Обычно в преобразователе задание на момент формирует регулятор скорости, однако в ряде приложений задание на момент привода может подаваться в обход регулятора скорости.

Выходной сигнал регулятора скорости, определяющий задание момента, может подвергаться дополнительной подготовке. К функциям такой подготовки выходного сигнала регулятора скорости относятся следующие:

- цепи ограничения момента;
- каналы дополнительного задания момента;
- цепи динамической коррекции;
- ограничение темпа задания момента.

Подготовленный сигнал задания подаётся в пропорционально-интегральный регулятор тока.

6.1.1. Цепи ограничения заданного момента

В преобразователях частоты Sinamics ограничение заданного момента предусматривает допустимые значения момента в генераторном и двигательном режимах, допустимые значения мощности в генераторном и двигательном режимах, допустимую величину тока. Эти величины определяют границы ограничения момента, как показано на рисунке 6.1.

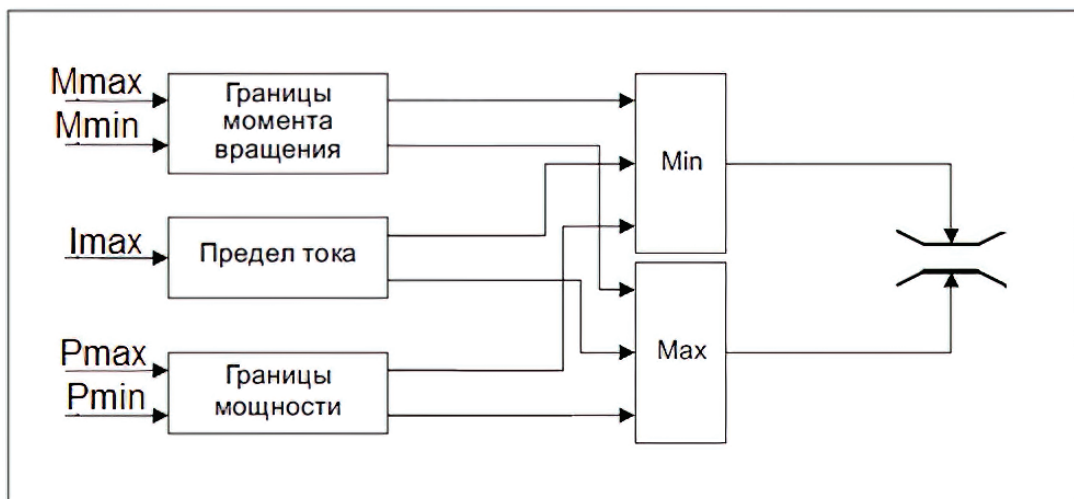


Рис. 6.1. Ограничение момента вращения

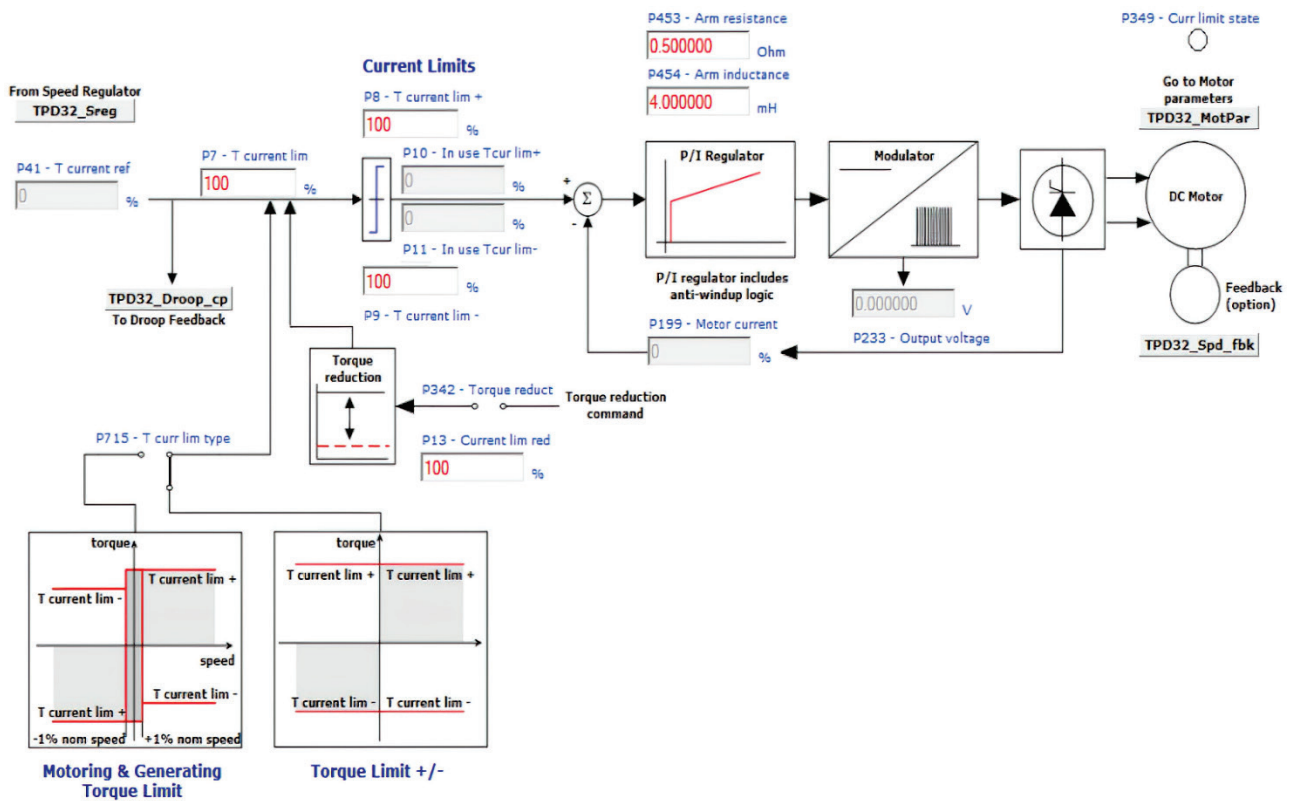


Рис. 6.2. Регулятор тока якоря преобразователя TPD32EV

На функциональной схеме (рис. 6.2) показан регулятор тока якоря преобразователя TPD32EV; задание, приходящее на регулятор тока от регулятора скорости, обрабатывается блоком ограничения тока якоря. Выходной сигнал регулятора тока подаётся в систему импульсно-фазового управления (СИФУ) для управления открытием тиристорного выпрямителя. Регулятор тока работает по пропорционально-интегральному закону. Заметим, что изменение режима функционирования СИФУ пользователем в этом преобразователе не предусмотрено.

Функциональная схема формирования ограничений выходного сигнала регулятора скорости **M_set from speed controller** в преобразователях частоты Sinamics представлена на рисунке 6.3. Ограничение задания момента может выполняться как в статически заданных границах, так и меняющимися сигналами, подключёнными к соответствующим параметрам **VICO** системы. Также в общем сигнале задания момента **M_set total** предусмотрены дополнительные составляющие **M_accel smooth** и **M_suppl total**, поступающие по цепи предупредования, минуя регулятор скорости.

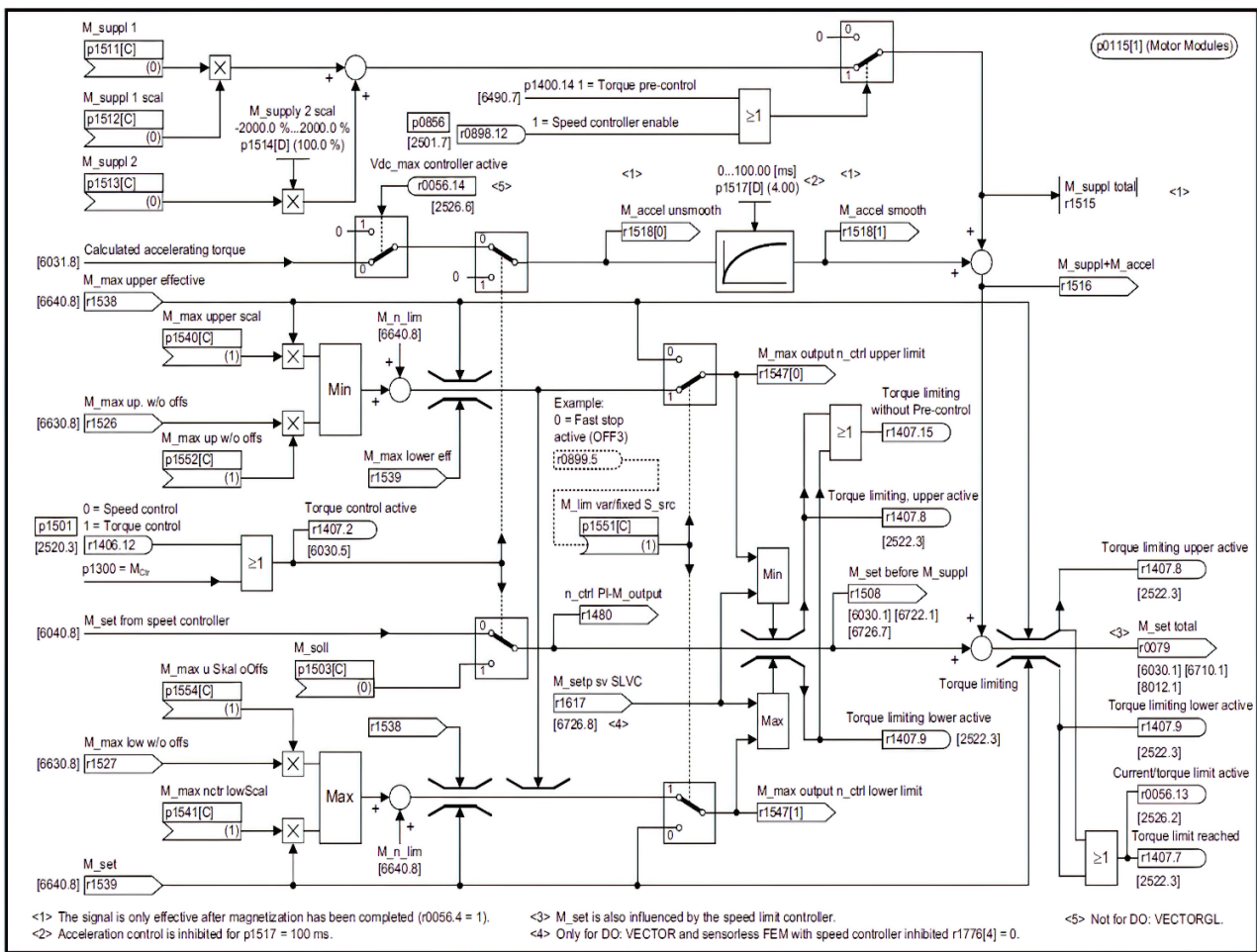


Рис. 6.3. Функциональная схема подготовки сигнала задания момента

6.1.2. Настройка ограничений тока в зависимости от частоты вращения

В приводах постоянного тока приходится уменьшать допустимую величину тока якоря при работе на высоких скоростях; это связано с ухудшением условий коммутации для щёточно-коллекторного узла двигателя постоянного тока.

В преобразователях Power Flex Digital DC Drive (Allen Braddy), TPD32 (Gefran) предусмотрена функция, позволяющая изменять пределы тока в зависимости от частоты вращения двигателя с помощью кривой, состоящей из шести заданных точек, как показано на рисунке 6.4. "I/nspeed" и "I/nlim 0,1,2,3,4" – это параметры, которые позволяют определить кривую. Параметр "I/n speed" определяет диапазон скоростей, в котором текущие ограничения сохраняются на уровне "I/n lim 0". Диапазон скоростей, включённый между "I/n speed" и 100 % от максимальной скорости, будет внутренне разделён на четыре равных сегмента, на концах которых связаны текущие ограничения "I/n lim 0,1,2,3,4". Установленные значения должны уменьшаться, начиная с "I/n lim 0" до "I/n lim 4".

В программном обеспечении преобразователя постоянного тока Sinamics DCM также предусмотрена подобная функция ограничения тока в зависимости от частоты вращения, защищающая коллектор и щётки двигателя постоянного тока при высокой частоте вращения. На рисунках 6.5 и 6.7 приведены варианты настройки ограничений тока в зависимости от частоты вращения на двигателях с коммутирующим изломом и без коммутирующего излома.

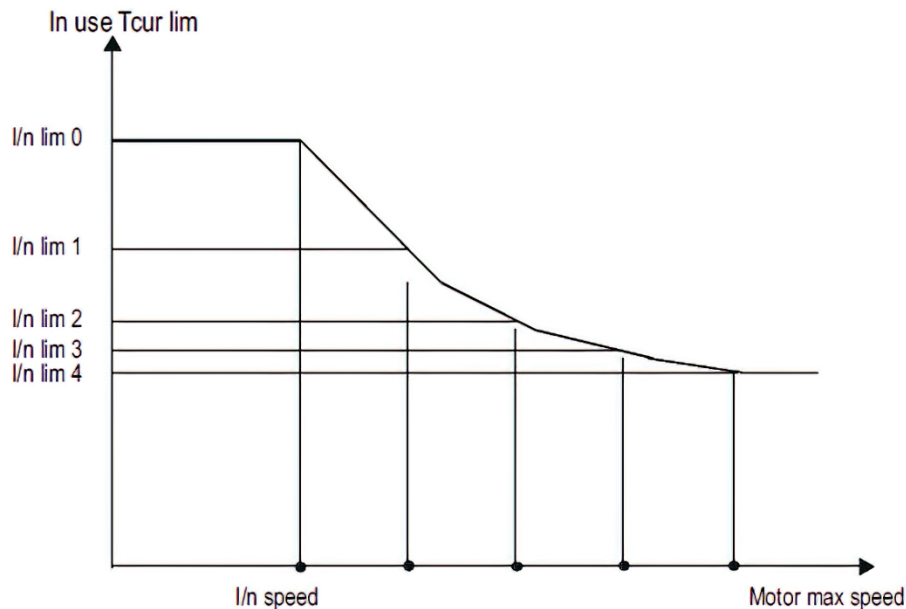


Рис. 6.4. Ограничение тока в зависимости от скорости

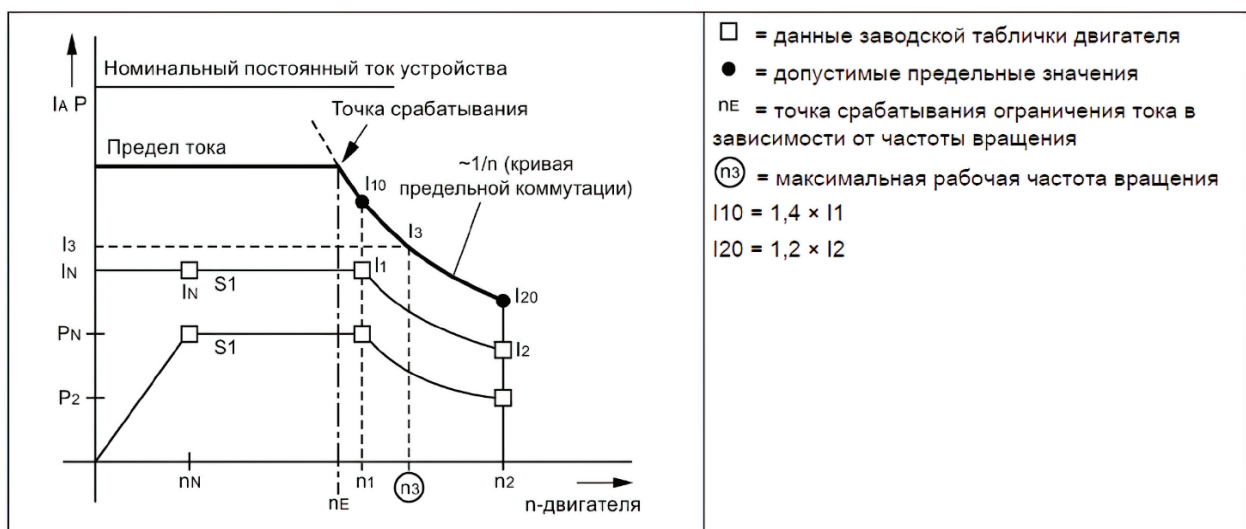


Рис. 6.5. Настройка ограничений тока в зависимости от частоты вращения на двигателях с коммутирующим изломом в преобразователе SinamicsDCM

Кривая ограничения тока определяется значениями n_1 , I_{10} , n_2 и I_{20} . Соответствующие параметры преобразователя Sinamics DCM приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1.

Параметр преобразователя Sinamics DCM:	
p50104	= n_1
p50105	= I_1 (устройство рассчитывает на основании этого I_{10})
p50106	= n_2
p50107	= I_2 (устройство рассчитывает на основании этого I_{20})
p50108	= n_3 (устанавливает нормирование частоты вращения)
p50109	= 0 ... ограничение тока в зависимости от частоты вращения выключено
	= 1 ... ограничение тока в зависимости от частоты вращения включено

На рисунке 6.6 приведён пример заводской таблички двигателя, по которой определяются параметры функции ограничения тока якоря по варианту рисунка 6.5.

* S H U N T -MOT.		1GG5162-0GG4 . -6HU7-Z		EN 60034	
NRE				KW	
V	n_1	1/MIN	n_2	I1	A
46-380	50-1490			78.0-78.5	0.880-26.0
380	3400/4500	REG.		80.0/58.0	26.0 / 19.0
ERR.	V	A	THYR.: B6C LV=	0MH 380V/ 50HZ	
SEP.	310	2.85	IP 23	IM B3	
	77/51	0.87/0.60		I.C.L.F	
Z: A11 G18 K01 K20					
SEP. VENTIL.					

Рис. 6.6. Пример заводской таблички

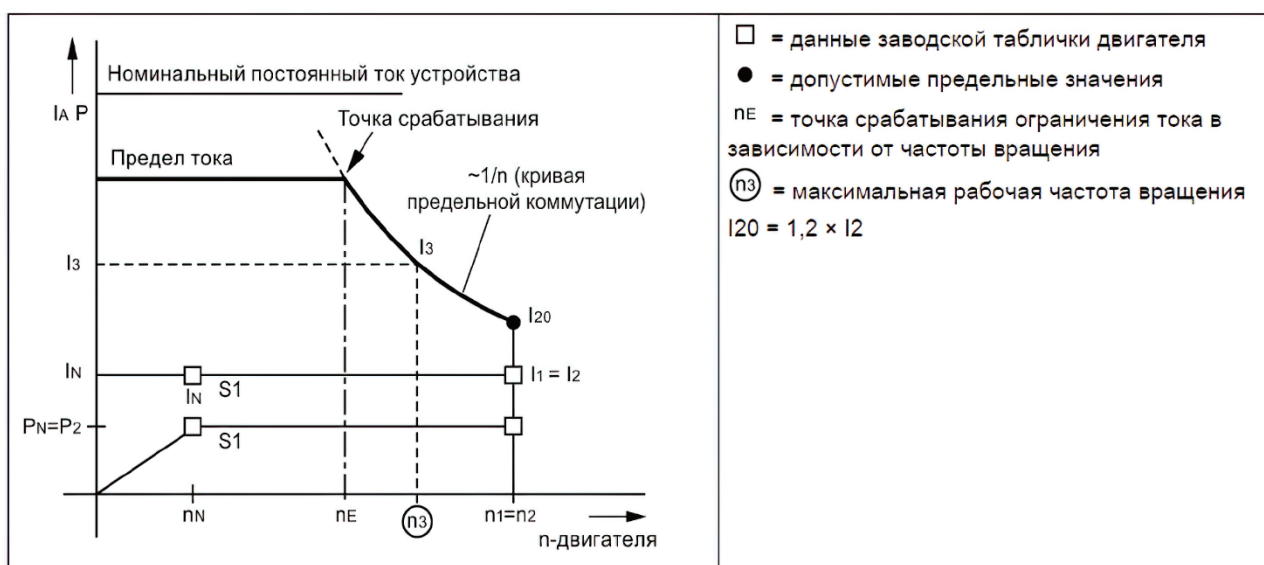


Рис. 6.7. Настройка ограничений тока в зависимости от частоты вращения на двигателях без коммутирующего излома в преобразователе Sinamics DCM

На рисунке 6.8 приведён пример заводской таблички двигателя, по которой определяются параметры функции ограничения тока якоря по варианту рисунка 6.7.

* S H U N T -MOT.		1GG5116-0FH40-6HU7-Z	
NRE		EN 60034	
V	n2 = n1	1/MIN	A
46-380	50-2300	36.0-37.5	0.265-12.0
380	6000	38.5	12.0
ERR.	V	A	I2 = I1
SEP.	310	1.45	THYR.: B6C LV=
	54	0.32	IP 23
			IM B3
			I.CL.F
Z: A11 G18 K01 K20			
SEP. VENTIL.			

Рис. 6.8. Пример заводской таблички

6.1.3. Динамическая коррекция в цепи заданного момента

В обвязке регулятора скорости и в цепи задания момента могут быть включены звенья динамической коррекции для обеспечения требуемого качества переходных процессов. Цепи динамической коррекции, представляющие собой фильтры первого и второго порядков, позволяют оптимизировать амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики системы управления приводом. На рисунке 6.9 представлены звенья динамической коррекции, предусмотренные в базовом программном обеспечении преобразователя Sinamics DCM. Включение звеньев в структуру системы управления выполняется с помощью параметров VICO системы.

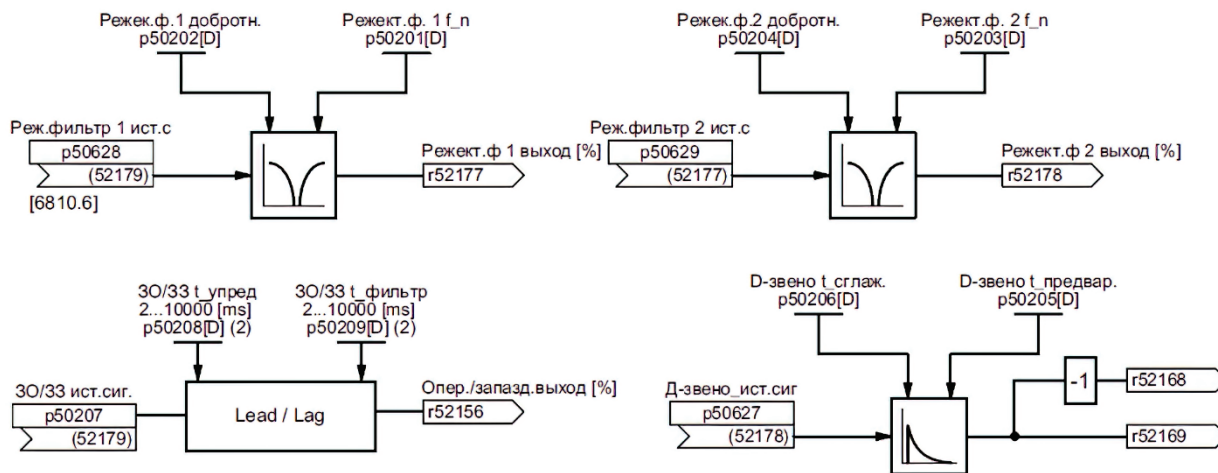


Рис. 6.9. Звенья динамической коррекции в преобразователе Sinamics DCM

В преобразователях частоты с сервоуправлением и с векторным управлением сигнал задания момента **M_set total** используется как сигнал задания активной составляющей тока. На рисунке 6.10 приведена функциональная схема динамической коррекции с фильтрами заданного

значения активной составляющей тока I_{q_set} в преобразователях частоты Sinamics S120/S150/G130/G150.

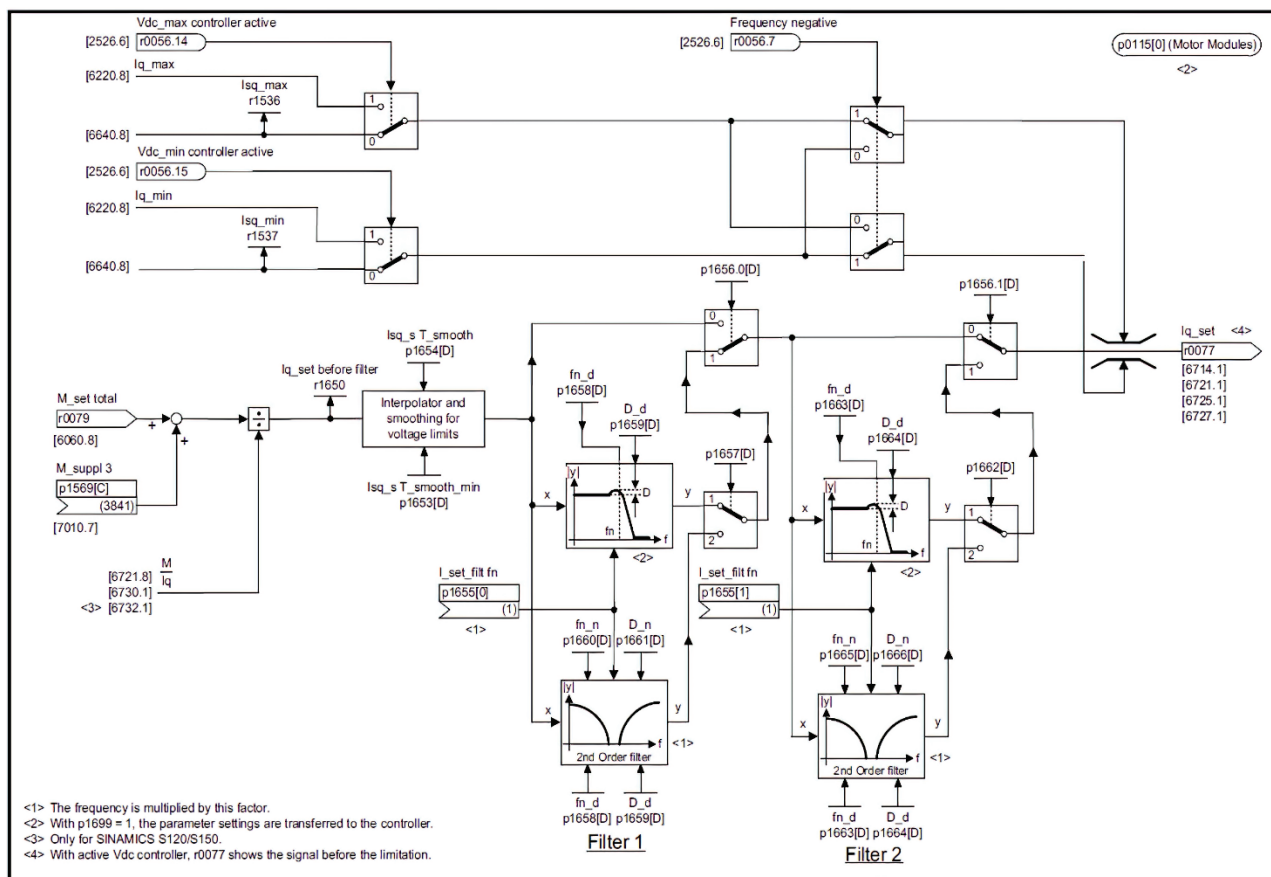


Рис. 6.10. Фильтры и ограничение заданного тока I_{q_set}

Подготовленный сигнал задания момента $M_set\ total$ (формирование этого сигнала показано на функциональной схеме, см. рис. 6.3) пересчитывается в сигнал задания активного тока $I_{q_set\ before\ filter}$ и далее пропускается через цепи фильтров **Filter 1** и **Filter 2**. После прохождения фильтров предусмотрен также блок ограничения активной составляющей тока.

Для определения параметров цепей динамической коррекции применяются методы частотного анализа системы управления приводом; например, в приложении Starter для преобразователей Sinamics доступны такие методы, как быстрое преобразование Фурье, получение логарифмических амплитудно-частотных характеристик (диаграмма Боде).

6.1.4. Ограничение темпа нарастания тока

В преобразователях также часто применяется блок ограничения нарастания заданного тока, создающего момент привода. Например, в преобразователе TPD32 EV, как показано на рисунке 5.1, в цепи сигнала задания момента установлен задатчик интенсивности; установка величины

параметра **P1520 – dI/dt delta time** определяет темп нарастания задания в регулятор тока якоря.

На рисунке 6.11 показана цепь выбора и изменения уставки крутящего момента в преобразователе частоты ACS880.

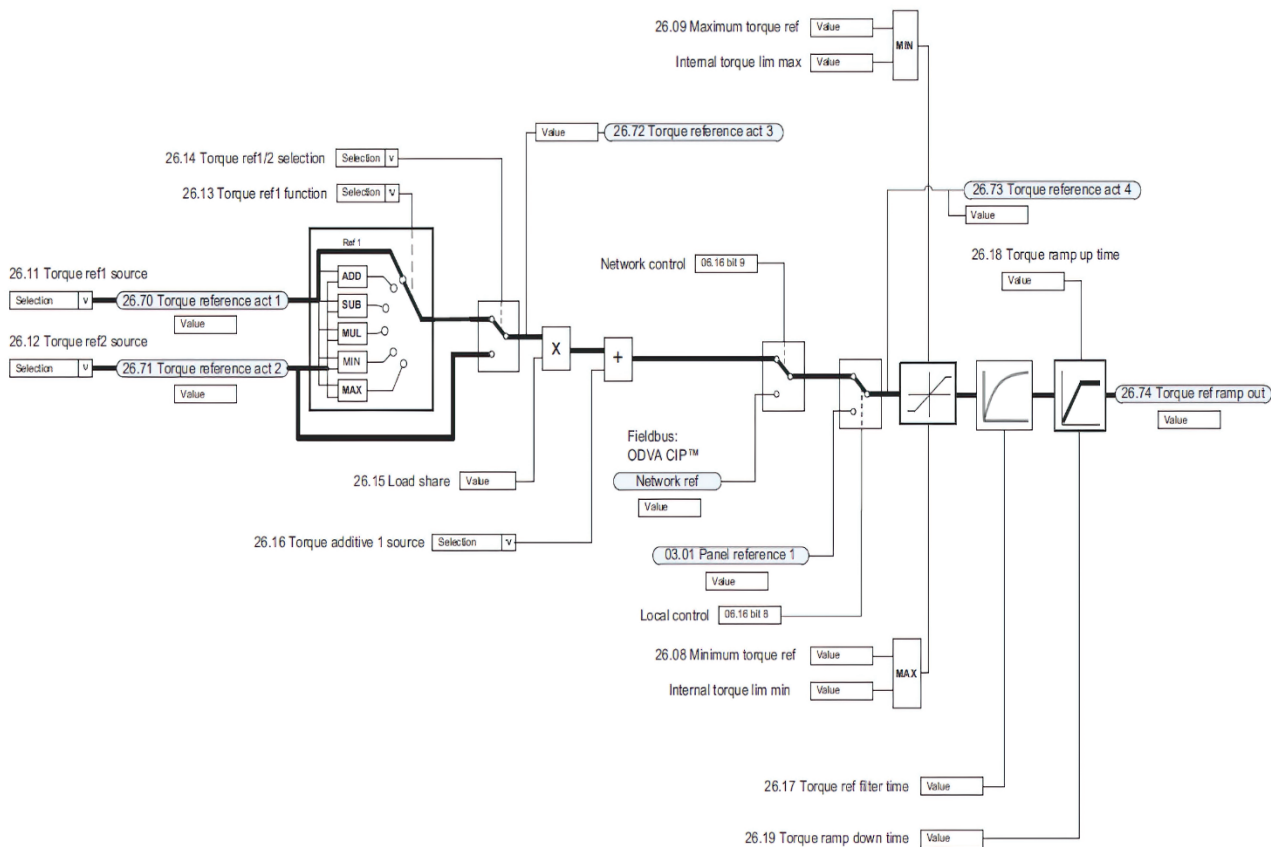


Рис. 6.11. Выбор и изменение источника уставки крутящего момента

Сигнал заданного момента **26.73 Torque reference act 4** пропускается через блок ограничения, через фильтр; после фильтра темп изменения задания момента ограничивается задатчиком интенсивности, который настраивается с помощью параметров **26.18 Torque ramp up time** и **26.19 Torque ramp down time**.

Аналогичную структуру с ограничением темпа нарастания сигнала задания тока якоря видим в преобразователе постоянного тока Sinamics DCM, как показано на рисунке 6.12.

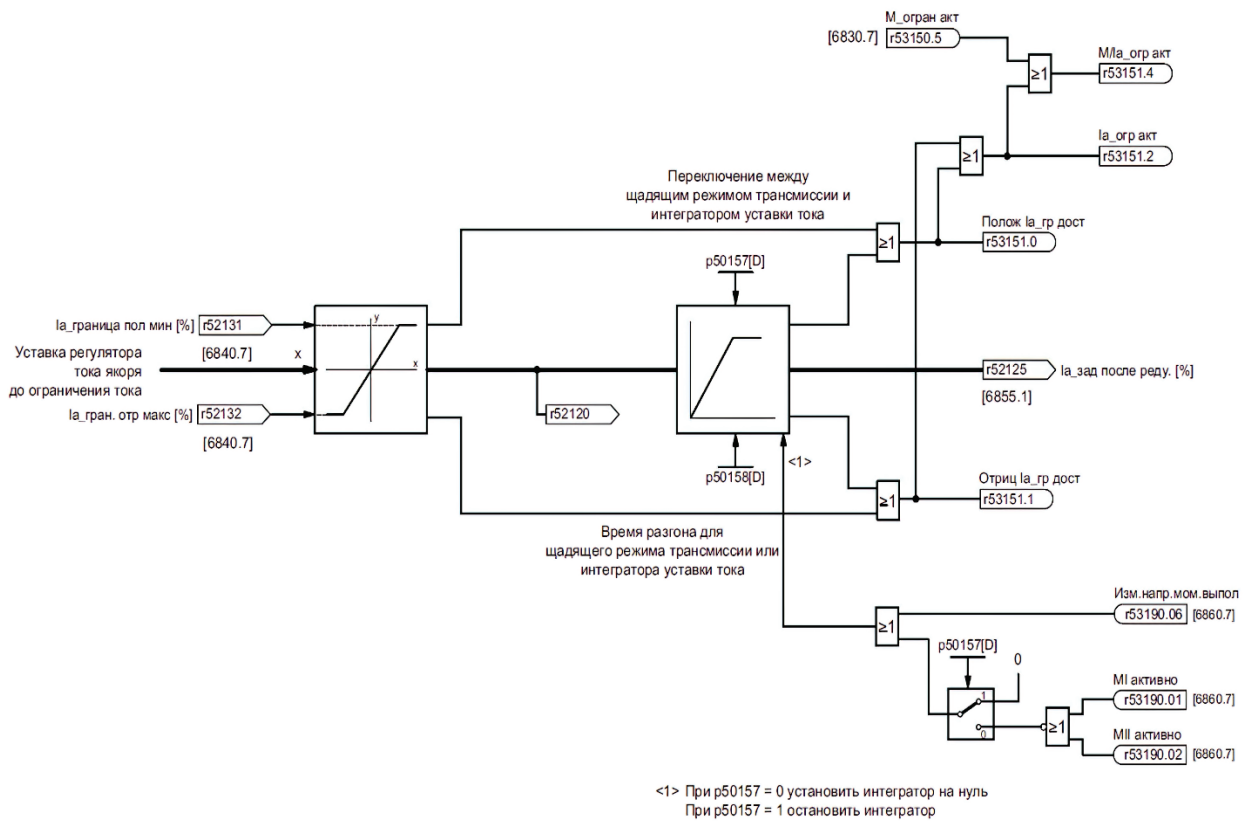


Рис. 6.12. Ограничения тока якоря и темпа нарастания тока якоря

В приведённой функциональной схеме после блока ограничения задания тока установлен блок датчика интенсивности.

Параметр **p50157** определяет выбор режима этого блока.

По значению = 0: Датчик интенсивности действует только после смены направления моментов (действует как датчик интенсивности для заданного значения тока, до достижения выходом в первый раз после смены направления моментов заданного значения на входе блока).

По значению = 1: Датчик интенсивности действует всегда.

Параметр **p50158** определяет темп нарастания задания тока якоря.

6.1.5. Предупреждение в контуре регулирования якорного тока

При реализации контура регулирования якорного тока в преобразователях фирмы Siemens применяется техническое решение, в котором параллельно регулятору тока включён блок предупреждения (см. функциональную схему на рис. 6.13). В зависимости от величины заданного якорного тока (сигнал, приходящий в параметр ВІСО **p50601**) на основании известных параметров привода: сопротивления якоря двигателя (R_a), индуктивности якорной цепи (L_a), информации о напряжении на якоре и ЭДС двигателя вычисляется управляющее задание для достижения требуемого тока (коннектор **r52121**), поступающее на сумматор. На второй вход сумматора подаётся выходной сигнал ПИ-регулятора тока (коннектор **r52110**), входным

сигналом для которого является ошибка регулирования якорного тока (коннектор **r52113**), которую регулятор тока сводит к нулю.

На выходе сумматора формируется результирующий сигнал задания угла управления тиристором (коннектор **r52102**), поступающий в систему импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорным мостом.

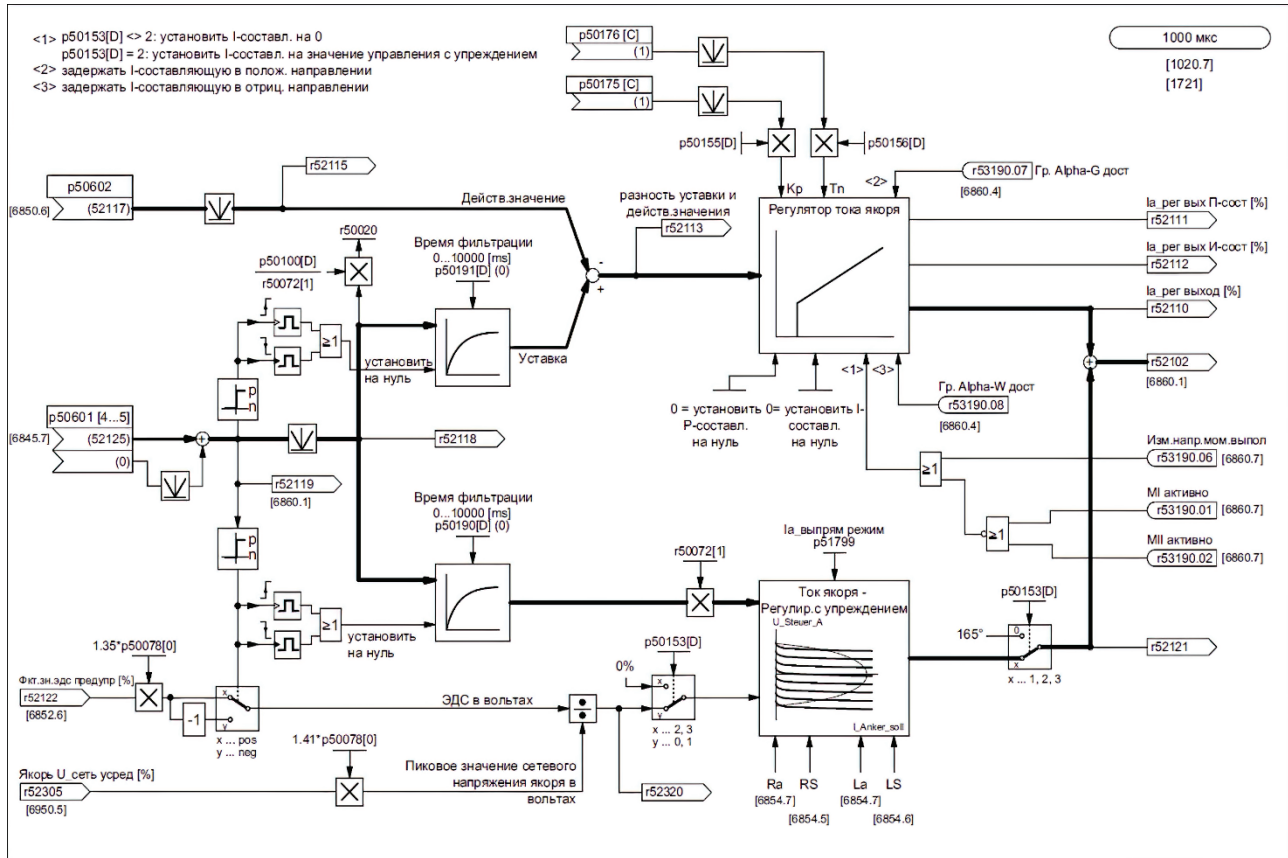


Рис. 6.13. Регулятор тока якоря в преобразователе Sinamics DCM

На блок предупредования возложена функция формирования необходимой величины якорного тока во всех режимах работы электропривода, а на регулятор тока возложена функция обеспечения динамических свойств токового контура и обеспечение нулевой ошибки регулирования тока. Заметим, что такой же принцип предупредования реализуется в регуляторах скорости при компенсации момента сопротивления и момента инерции (см. п. 5.4. Компенсация момента сопротивления, момента инерции).

Блок предупредования устраняет влияние ЭДС двигателя на работу токового контура и обеспечивает оптимальную настройку контура тока во всех режимах работы электропривода, сохраняя одинаковое быстродействие как в режиме непрерывного тока, так и в режиме прерывистых токов.

6.1.6. Адаптация регулятора тока

В преобразователях частоты Sinamics с помощью адаптации регулятора тока возможна адаптация П-усиления регулятора K_p в зависимости от заданной величины I_{q_set} . Функциональная схема модуля адаптации подобна схемам модулей адаптации коэффициентов регулятора скорости Sinamics DCM, показанным на рисунке 5.3. Модуль адаптации П-усиления выделен на функциональной схеме регуляторов тока I_q и I_d преобразователя Sinamics S120, приведённой на рисунке 6.14.

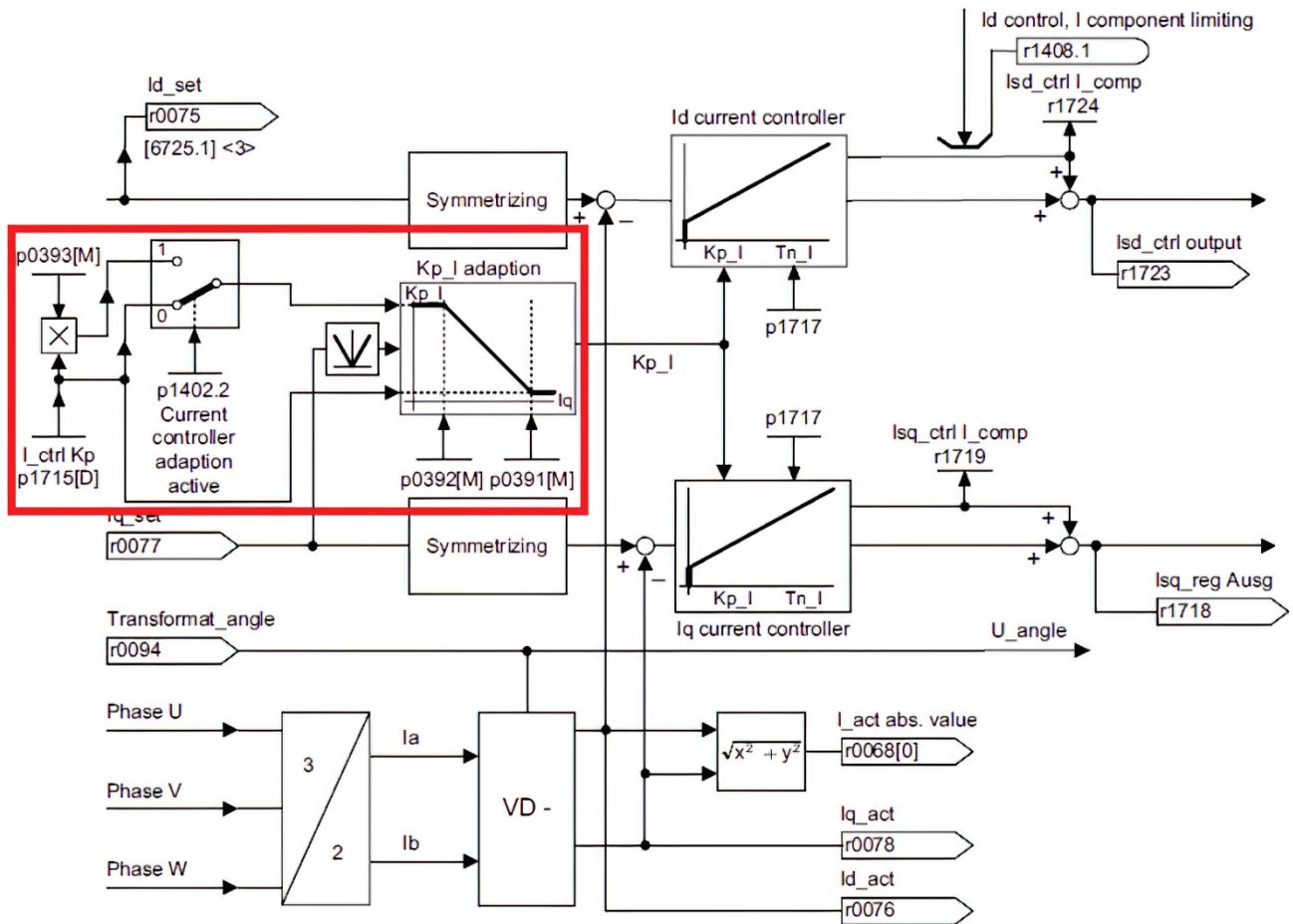


Рис. 6.14. Регуляторы тока I_q и I_d преобразователей Sinamics S120/S150/G130/G150

В преобразователях постоянного тока Sinamics DCM предусмотрена возможность адаптации регуляторов тока якоря и тока возбуждения, поскольку эти регуляторы работают на сильно нелинейный объект управления.

Существуют два типа нелинейности в контурах регулирования тока якоря и тока возбуждения.

1. Нелинейность системы управления

В цепи якоря существует значительная разница в усилении объекта регулирования между прерывистым и не прерывистым током, как показано на рис. 6.15.

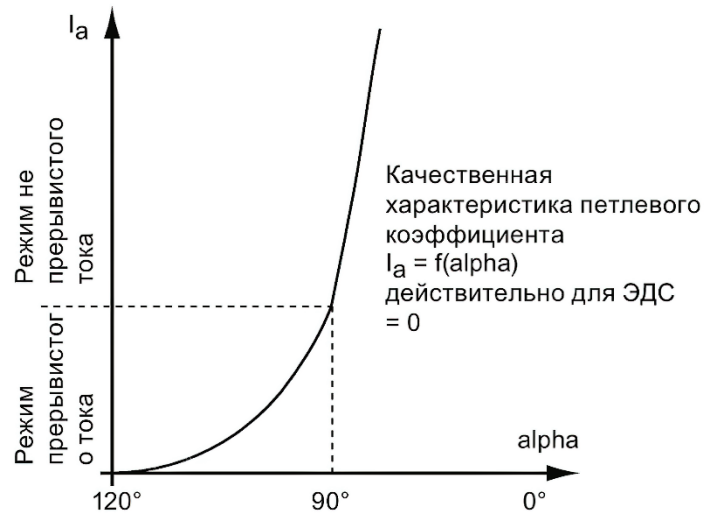


Рис. 6.15. Зависимость тока I_a от угла управления α в трёхфазном мостовом тиристорном выпрямителе якорной цепи

В цепи возбуждения характеристика управления однофазного моста демонстрирует ясную нелинейность, как показано на рисунке 6.16.

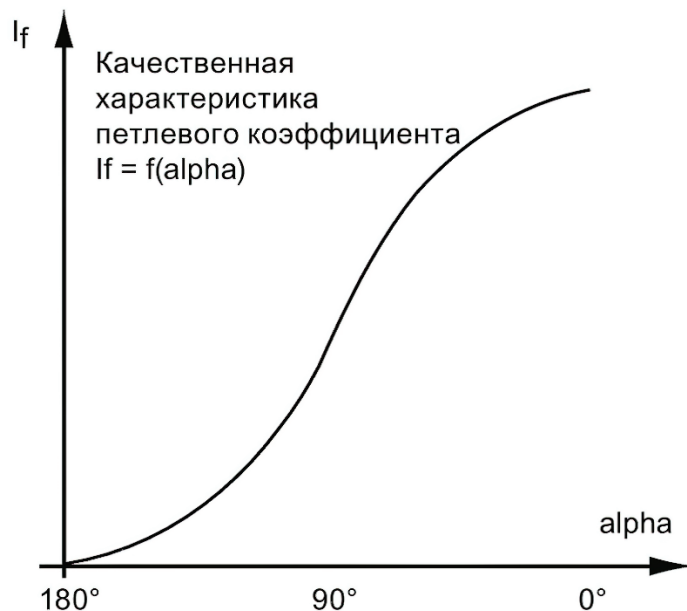


Рис. 6.16. Зависимость тока I_f от угла управления α в однофазном мостовом тиристорном выпрямителе цепи возбуждения

2. Нелинейность индуктивности цепи якоря и цепи возбуждения двигателя

Как обмотка якоря, так и обмотка возбуждения или в любом случае имеющийся в цепи якоря сглаживающий дроссель при высоких токах могут попасть в область магнитного насыщения и поэтому иметь значительно меньшую индуктивность, чем при малых токах. На рисунке 6.17 показана зависимость индуктивности от тока, на основании которой настраиваются модули адаптации регуляторов тока якоря и тока возбуждения.

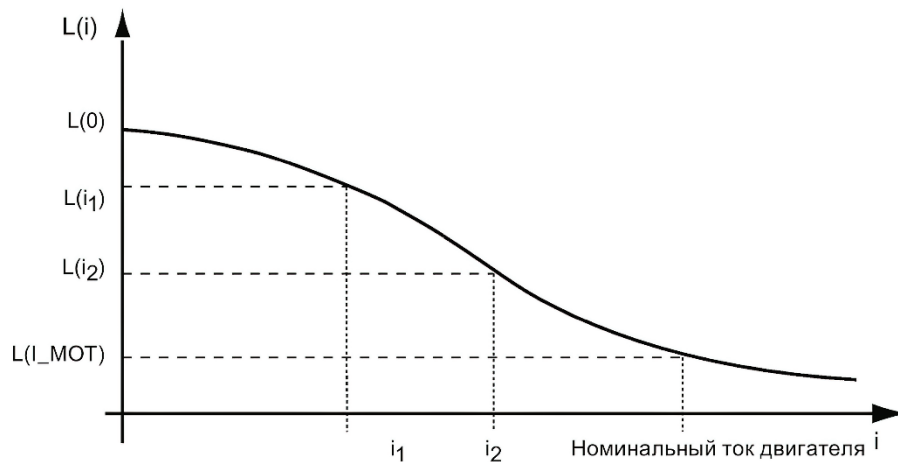


Рис. 6.17. Зависимость индуктивности от тока для определения параметров адаптации регуляторов тока якоря и возбуждения

Для настройки адаптации используются следующие параметры:

- Индуктивность при очень низком токе: $L(0) = p50111 (L_a)$ или $p50116 (L_f)$
- Индуктивность при ном. токе двигателя: $L(I_Mot) = p50111 \times p51591 (L_a \times \lambda_a)$ или $p50116 \times p51597 (L_f \times \lambda_f)$

Компенсация нелинейностей системы управления:

Коэффициент усиления регулятора обычно настраивается таким образом, что в области наибольшего петлевого коэффициента (т.е. для якоря в области не прерывистого тока или для возбуждения при управляющем угле в 90°) получается требуемая характеристика регулятора. При других токах регулятор тока соответственно становится более инертным. При активации адаптации регулятора тока усиление регулятора тока увеличивается обратно пропорционально петлевому коэффициенту. Тем самым достигается приблизительно равномерная характеристика регулятора при любом токе.

Компенсация нелинейных индуктивностей:

Коэффициент усиления регулятора обычно устанавливается таким образом, чтобы при высоком токе получалась бы требуемая характеристика регулятора. При низких токах регулятор тока соответственно становится более

инертным. При активации адаптации регулятора тока усиление регулятора тока увеличивается пропорционально индуктивности. Тем самым достигается приблизительно равномерная характеристика регулятора при любом токе.

Функциональная схема программного обеспечения адаптации регулятора тока якоря в Sinamics DCM представлена на рисунке 6.18. Значение тока якоря для расчёта адаптации выбирается параметром **p50570** из фактического значения **I_фкт** или из заданного значения тока якоря **I_зад**. Адаптация к нелинейным индуктивностям может быть активирована посредством **p50571**, адаптация прерывистого тока посредством **p50572**. Коэффициент адаптации может быть ограничен посредством **p50573**. Для запуска адаптации на регуляторе тока якоря, выходной коннектор **r52350** должен быть подключён к входному параметру **p50175** (см. функциональную схему регулятора тока якоря на рис. 6.13). Благодаря этому воздействию теперь усиление регулятора тока якоря будет увеличиваться или ослабевать в зависимости от фактического значения тока якоря или заданного значения (выбор через **p50570**). Расчёты адаптации предназначены только для изменения коэффициента усиления K_p .

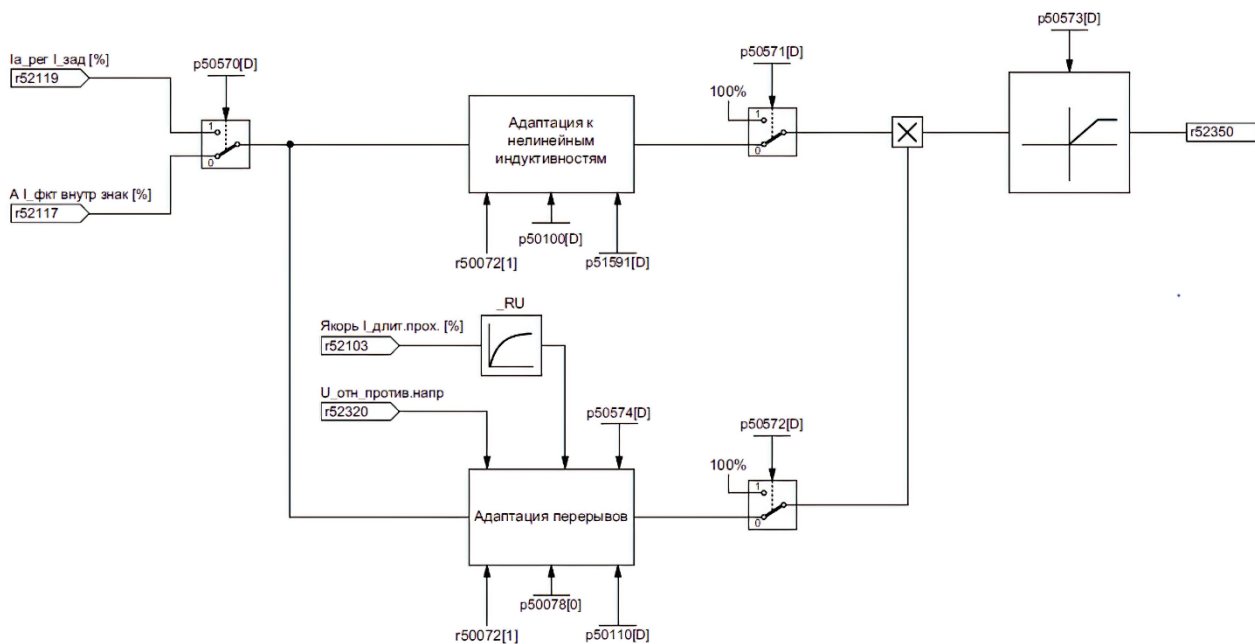


Рис. 6.18. Адаптация регулятора тока якоря в Sinamics DCM

Аналогичная функциональная схема программного обеспечения адаптации регулятора тока возбуждения в Sinamics DCM представлена на рисунке 6.19. Значение тока якоря для расчёта адаптации выбирается параметром **p50575** из фактического значения **I_возб фкт.зн** или из заданного значения **I_рег зад.зн** тока возбуждения. Адаптация к нелинейным индуктивностям может быть активирована посредством **p50576**, адаптация к нелинейности системы управления посредством **p50577**. Коэффициент адаптации может быть ограничен посредством **p50578**. Для запуска адаптации на регуляторе тока возбуждения, выходной коннектор **r52355** должен быть

подключен к входному коннектору **p50267** (адаптация K_p). Благодаря этому воздействию теперь усиление регулятора тока возбуждения будет увеличиваться или ослабевать в зависимости от фактического значения тока возбуждения или заданного значения (выбор через **p50570**). Расчеты адаптации предназначены только для изменения коэффициента усиления K_p .

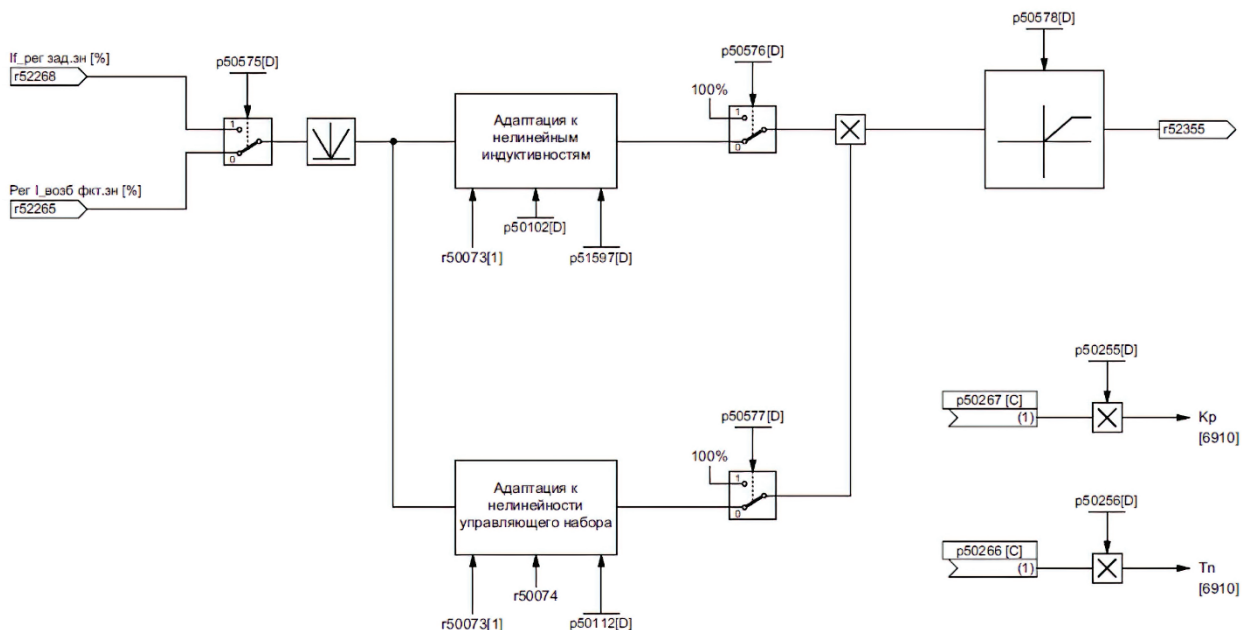


Рис. 6.19. Адаптация регулятора тока возбуждения в Sinamics DCM

6.2. Регуляторы тока как регуляторы магнитного потока

В преобразователях постоянного тока питание обмоток возбуждения двигателей обеспечивает регулятор тока возбуждения. В преобразователях частоты с векторным управлением регуляторы реактивной составляющей тока **Id** отвечают за создание магнитного потока.

В двигателях постоянного тока изменение тока возбуждения приводит к изменению момента; нелинейная зависимость магнитного потока возбуждения Φ от тока обмотки возбуждения **If** может быть учтена введением нелинейного звена, связывающего зависимость тока возбуждения и магнитного потока. Например, в преобразователях TPD32 EV и Power Flex DC drive заданная величина потока возбуждения с помощью зависимости, обратной кривой намагничивания $\Phi(I_f)$, преобразуется в задание тока возбуждения; это задание отрабатывается регулятором тока возбуждения. Функциональная схема задания магнитного потока двигателя в преобразователе TPD32 EV показана на рисунке 6.20.

Обратная зависимость кривой намагничивания $\Phi(I_f)$ **Ifield curve** настраивается с помощью параметров **P916 Ifield cnst40**, **P917 Ifieldcnst70** и **P918 Ifieldcnst90**, определяющих величину тока возбуждения в процентах для значений магнитного потока в 40 %, 70 % и 90 % от номинального значения.

Параметры **P280-Motor nom flux** и **P374-Nom flux curr** предназначены для нормирования заданного тока возбуждения. Регулятор тока возбуждения работает по пропорционально-интегральному закону, для его настройки предусмотрены параметры пропорционального **P91-FluxP** и интегрального **P92-FluxI** коэффициентов.

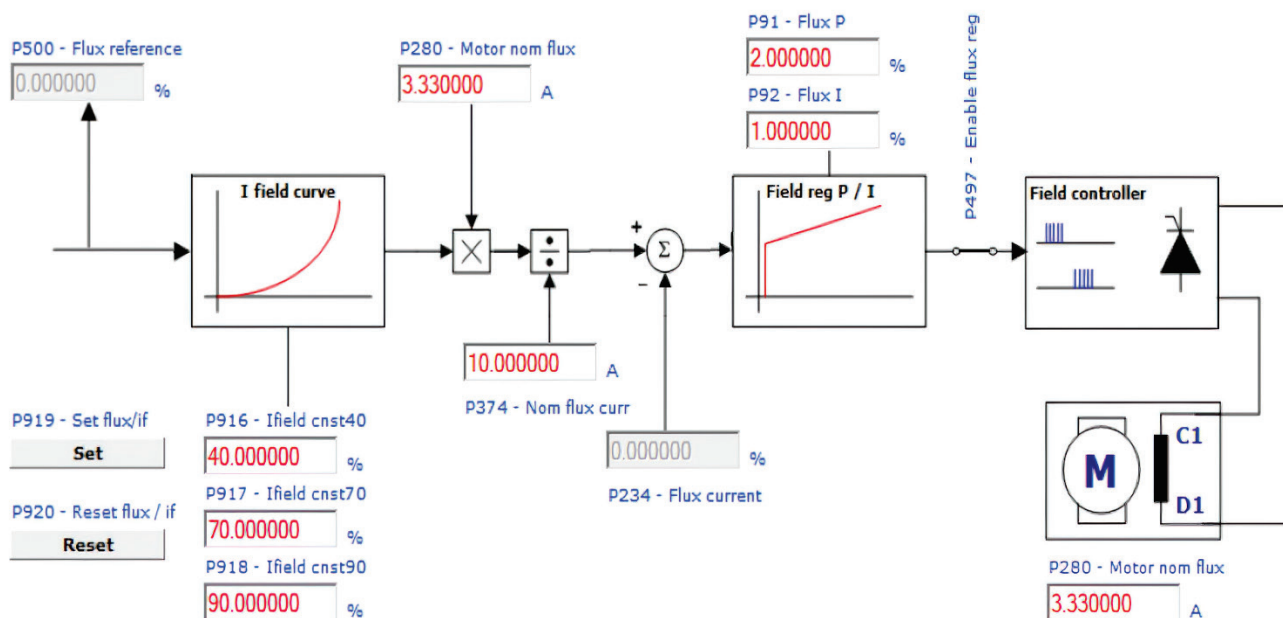


Рис. 6.20. Задание магнитного потока возбуждения в TPD32 EV

Регулятор тока возбуждения в преобразователе Sinamics DCM имеет более совершенную структуру, приведённую на рисунке 6.21. Как и в регуляторе тока якоря предусмотрена цепь предупредования, которая в зависимости от заданного тока возбуждения, величины сетевого напряжения питания, величин сопротивления и индуктивности цепи возбуждения двигателя рассчитывает величину угла управления **alpha** в однофазном мостовом тиристорном выпрямителе цепи возбуждения. Коннектор **r52271** представляет выходной сигнал цепи предупредования; в коннектор **r52260** выкладывается выходной сигнал ПИ-регулятора, результирующий сигнал задания угла управления **alpha** коннектором **r52252** подаётся на вход модуля формирования импульсов управления тиристорами.

Так же как и в регуляторе тока в регуляторе возбуждения привода Sinamics DCM предусмотрена возможность адаптации пропорционального коэффициента ПИ-регулятора к нелинейной индуктивности обмотки возбуждения и к нелинейности системы управления тиристорным выпрямителем (см. п. 6.1.6 и рис. 6.19).

В преобразователе предусмотрена возможность определения автоматически или вручную кривой намагничивания двигателя $\Phi(I_f)$. В параметрах от **p50120** до **p20139** хранятся значения тока возбуждения в

процентах от номинального для потоков от 0 % до 95 % номинального потока возбуждения. На основе заложенной кривой намагничивания определяется относительная величина потока возбуждения (коннектор **r52290**); эта величина позволяет правильно формировать задания на ток якоря двигателя, когда нужно создавать заданный момент двигателя при изменяющемся токе возбуждения. При необходимости регулирования момента двигателя задание на момент проводится через блок, выход которого обратно пропорционален величине потока двигателя; при этом задание на регулятор тока якоря увеличивается в соответствии с уменьшающимся потоком возбуждения. На рисунке 6.22 показан участок пути формирования задания регулятора тока якоря, на котором учитывается изменение потока возбуждения.

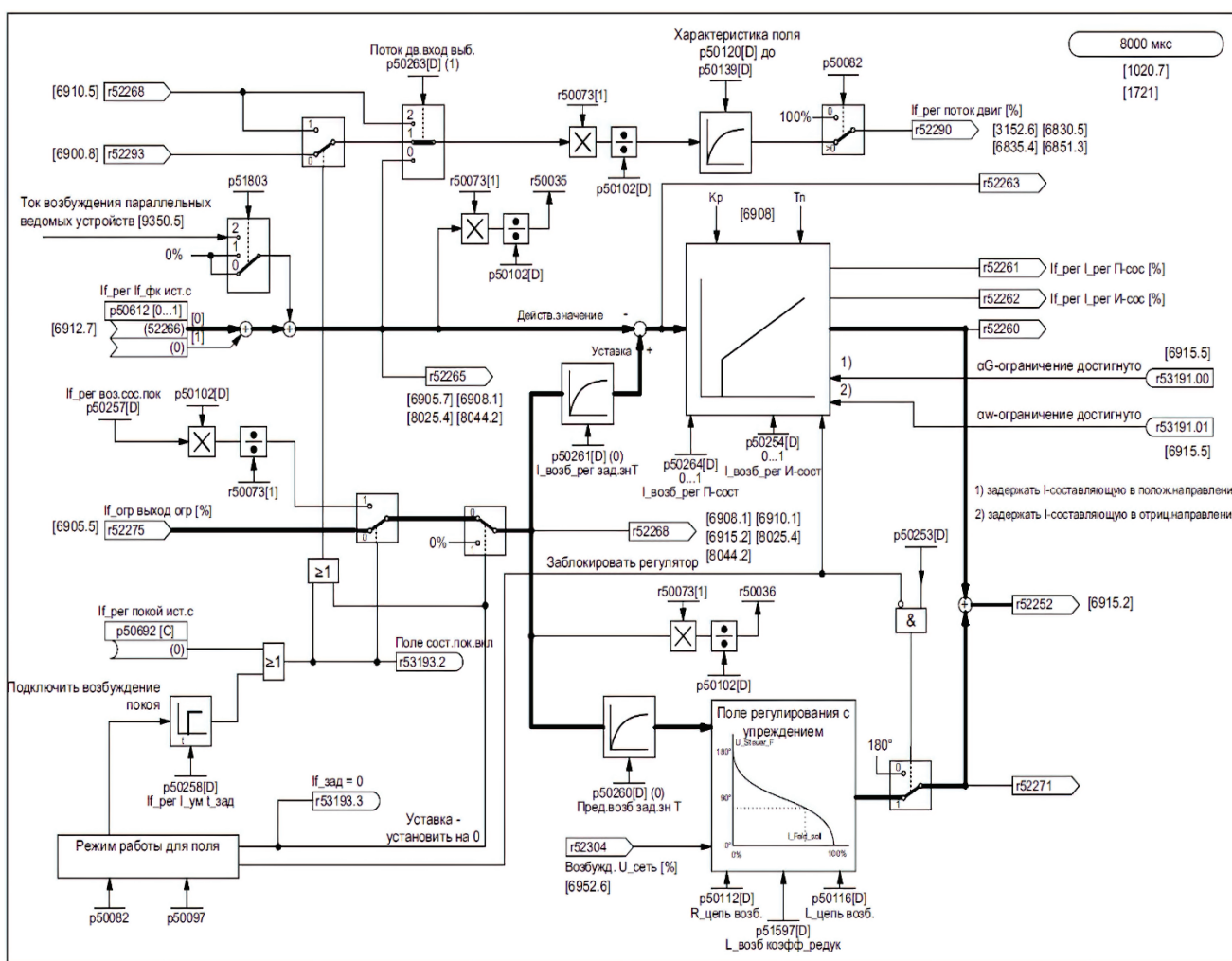


Рис. 6.21. Регулятор тока возбуждения преобразователя Sinamics DCM

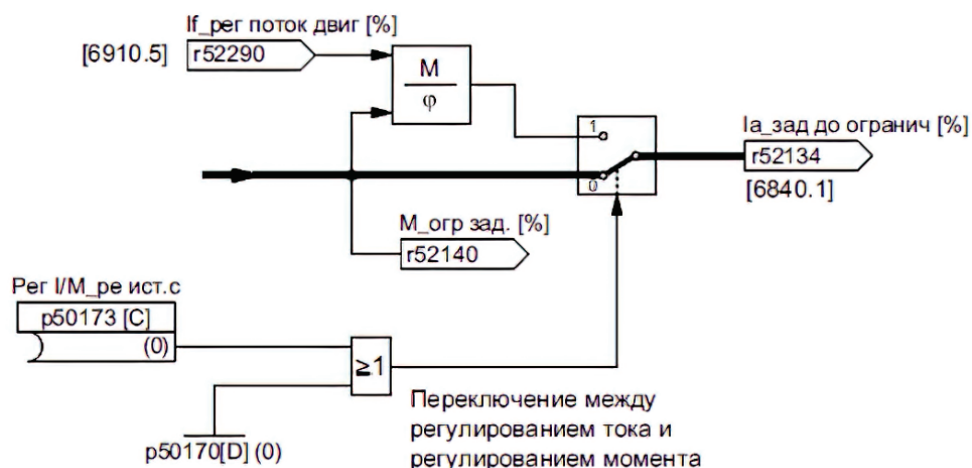


Рис. 6.22. Учёт изменения потока возбуждения при формировании задания тока якоря в Sinamics DCM

Во многих приводах постоянного тока предусмотрена функция “**Field economy**” – функция уменьшения тока возбуждения при неработающем двигателе. Во время стоянки двигателя ток возбуждения уменьшается до заданной минимальной величины I_{f_min} ; при пуске двигателя ток возбуждения восстанавливается до рабочего значения. Функция “**Field economy**” предотвращает перегрев двигателя номинальным током возбуждения в неподвижном состоянии; в то же время нагрев обмотки возбуждения током I_{f_min} предотвращает образование конденсата на обмотках двигателя, установленного в неотапливаемом помещении или на улице.

7. РЕГУЛЯТОР ЭДС

Регуляторы ЭДС позволяют регулировать ток возбуждения I_f таким образом, чтобы ЭДС E_a двигателя постоянного тока соответствовала заданному значению при любых величинах скорости n :

$$E_a = C_E \cdot n \cdot \Phi(I_f), \quad (7.1)$$

где C_E – конструктивная постоянная двигателя; $\Phi(I_f)$ – поток возбуждения, зависящий от тока возбуждения.

В приводах с двигателями постоянного тока независимого возбуждения для расширения диапазона регулирования применяется так называемое двухзонное регулирование скорости. В первой зоне регулирование скорости двигателя выполняется за счёт регулирования напряжения якоря при номинальном потоке возбуждения; во второй зоне используют режим ослабления потока возбуждения двигателя при номинальном напряжении на обмотке якоря или при номинальной ЭДС якоря. Регулятор ЭДС позволяет автоматически регулировать ток возбуждения двигателя при работе во второй зоне. Нужно отметить, что для работы во второй зоне источником сигнала обратной связи для регулятора скорости не может использоваться сигнал ЭДС.

На рисунке 7.1 показана функциональная схема регулятора в приводе TPD32 EV. Voltage regulator фактически выполняет функции регулятора ЭДС, поскольку, как следует из выражения (5.3), пренебрегая падением напряжения в цепи якоря, ЭДС двигателя и напряжение якорной цепи близки по величине.

Выход регулятора **Voltage regulator** представляет собой задание на поток возбуждения **P500 – Flux reference**, которое преобразуется в задание тока возбуждения (на рис. 6.20 показана функциональная схема задания магнитного потока возбуждения) при разрешённом режиме ослабления потока возбуждения (разрешение задаётся параметром **P469 – Flux reg mode**). Блок ограничения тока возбуждения **Field current limits** задаёт диапазон возможного изменения задания **P500 – Flux reference**.

На вход регулятора **Voltage regulator** поступает разность заданного выходного напряжения якоря **P175 – Max. Out voltage**, масштабируемого коэффициентом **P921 – Out vlt level**, и фактическим выходным напряжением **P233 – Output voltage**. Как правило, величину **Max. Out voltage** устанавливают равной номинальному напряжению якоря.

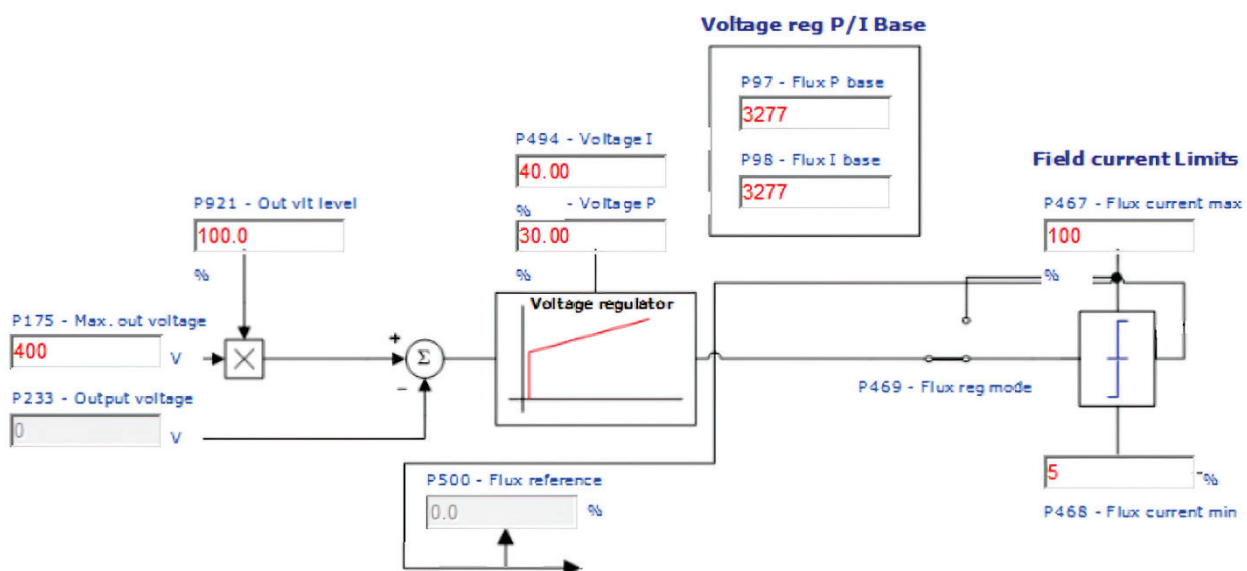


Рис. 7.1. Регулятор напряжения и задание потока возбуждения

Аналогичную структуру регулятора ЭДС можно увидеть в приводе постоянного тока Mentor MP (разработка Control Techniques), показанную на рисунке 7.2.

На вход регулятора поступает разность между заданным значением ЭДС **Back emf setpoint** и фактической ЭДС, вычисленной по значениям напряжения якоря **Armature voltage** и падения напряжения на сопротивлении цепи якоря **IR droop**. Выходной сигнал регулятора ЭДС отдаётся в регулятор тока возбуждения. Регулятор выполнен по ПИ закону; для настройки регулятора предусмотрены параметры **Pgain**, **Igain**. Выходной сигнал регулятора ограничивается сверху и снизу параметрами **Maximum flux**, **Minimum flux**.

Значение фактической ЭДС может быть использовано для определения скорости двигателя **Estimated speed**.

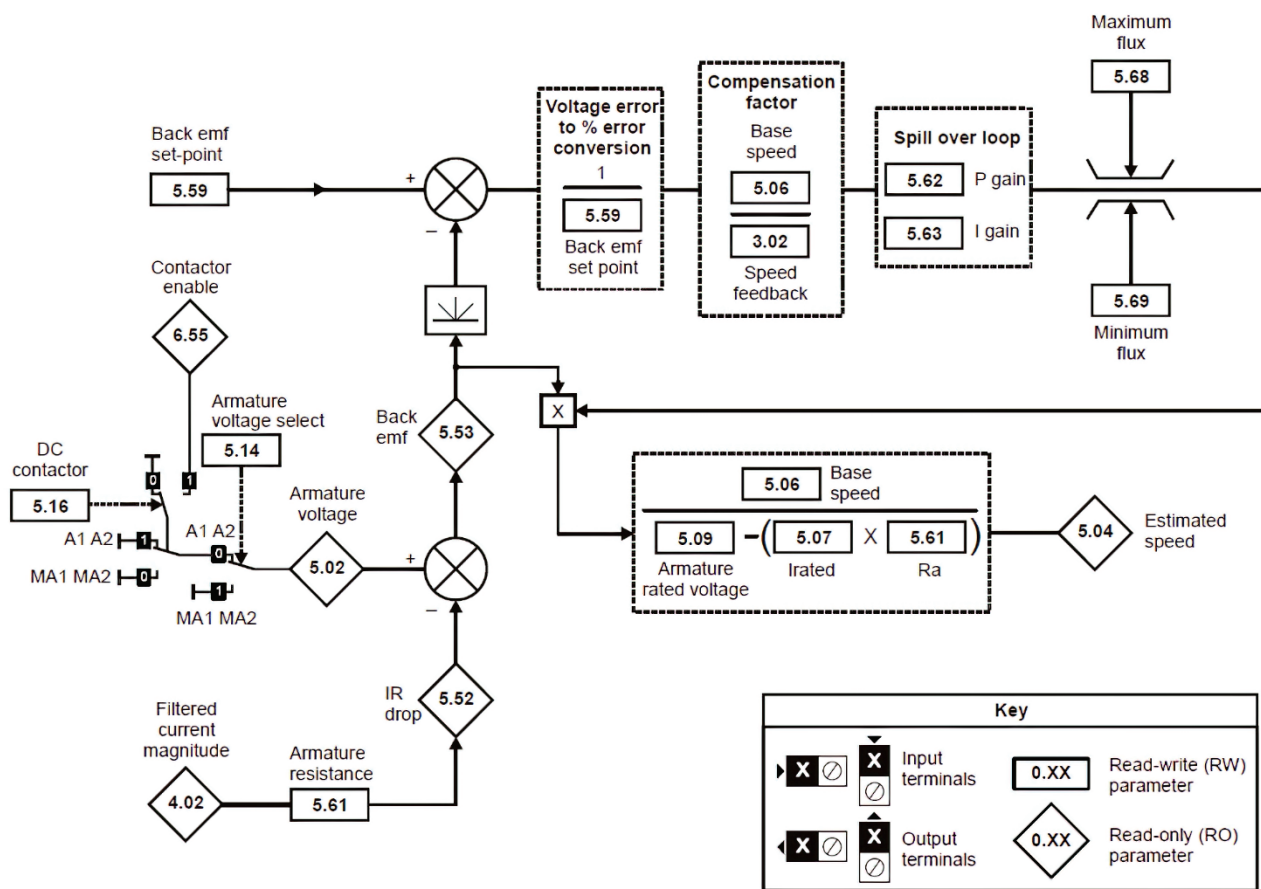


Рис. 7.2. Регулятор ЭДС привода постоянного тока MentorMP

Рассмотрим порядок работы регуляторов скорости, тока якоря, тока возбуждения и ЭДС при двухзонном регулировании скорости.

Зона 1. В этой зоне скорость двигателя меньше номинальной скорости и, соответственно, напряжение якорной цепи и ЭДС ниже номинального напряжения. На вход регулятора ЭДС приходит положительная величина разности номинального и фактического напряжения якоря; выходной сигнал ПИ-регулятора будет стремиться к увеличению. Однако блок ограничения выходного сигнала регулятора ограничивает задание потока возбуждения номинальной величиной. В этой зоне регулирования регулятор тока якоря получает задание на ток якоря, соответствующий заданному от регулятора скорости заданию момента при номинальном потоке возбуждения.

Зона 2. Изменение задания скорости, например, увеличение задания при постоянном моменте сопротивления $M_{ст}$, приведёт на выходе регулятора скорости к увеличению задания на ток якоря. Примем во внимание соотношения (5.3), (5.4), (5.5). Увеличение тока якоря I_a увеличит момент

двигателя $M_{дв}$, скорость двигателя ω будет увеличиваться и начнётся увеличение ЭДС E_a . Увеличение фактической ЭДС двигателя выше заданного значения (обычно это номинальная величина ЭДС) приведёт к тому, что выходной сигнал регулятора ЭДС уменьшится и уменьшится задание на регулятор тока возбуждения. После окончания переходного процесса ЭДС двигателя E_a установится равной заданному значению, поток двигателя $\Phi_{дв}$ уменьшится, ток якоря I_a увеличится.

Примечание. Из последних рассуждений следует, что нагрузочная способность двигателя при ослаблении магнитного потока уменьшается.

8. ТИПОВЫЕ ФУНКЦИИ

В предыдущих разделах рассмотрены типовые задачи системы управления приводами, относящиеся к обеспечению требуемых скоростей и моментов. Помимо рассмотренных задач в программном обеспечении большинства цифровых систем управления предусмотрены функции, реализующие также специальные режимы работы. Реализация таких функций может выполняться в виде свободно конфигурируемых программных модулей, в виде предварительно настроенных прикладных макросов (см., например, рис. 2.3.), с помощью опционально встраиваемых плат контроллера и т.п. Некоторые из этих функций рассмотрены ниже.

Заметим, что рамки данного учебного пособия не позволяют представить весь спектр специальных функций, популярных в большинстве цифровых приводов постоянного и переменного тока. Информацию об этих функциях следует получать из руководств по программированию соответствующих преобразователей.

8.1. ПИД-регулятор

Преобразователи постоянного и переменного тока часто выступают в роли подчинённого звена сложной системы управления. Например, в системе водоснабжения преобразователь частоты используется для регулирования скорости центробежного насоса; цель регулирования – поддержание постоянного давления в линии водоснабжения при изменении расхода. В такой системе задание на преобразователь частоты формируется регулятором давления.

В программном обеспечении многих приводов постоянного и переменного тока предусматривается дополнительный модуль регулятора, включающего пропорциональную, интегральную и дифференциальную составляющие. Кроме того, в этот модуль обычно включают такие блоки, как фильтры, ограничения и т.п. Такие регуляторы часто называют технологическими. При активации регулятора надо определить источники сигналов задания и обратной связи, а также точку подключения выходного сигнала регулятора.

На рисунке 8.1 приведена функциональная схема технологического ПИД-регулятора в преобразователях частоты Sinamics G130/G150. Задание на регулятор может быть составлено из двух входных сигналов, подключаемых к параметрам **p2253** и **p2254**; для каждого из входных сигналов предусмотрено масштабирование параметрами **p2255** и **p2256**. Сигнал задания пропускается через задатчик интенсивности; в цепи задания также предусмотрен блок фильтра с постоянной времени, выставляемой в параметре **p2261**. Сигнал обратной связи регулятора подключается к параметру **p2264**; параметры **p2266** и **p2267** задают максимальную и минимальную границы изменения сигнала обратной связи; дискретным параметром **p2254.3** обнуляется канал обратной связи. В структуре регулятора предусмотрен блок дифференцирования **p2274**, добавляющий во входной сигнал модуля ПИ-регулятора производную от сигнала обратной связи или от ошибки (**Tec_ctrsetaft.flt** – **Tec_regIstw.skala**). Параметры K_p и T_n ПИ-регулятора, входящего в состав технологического регулятора, задаются параметрами **p2280** и **p2285**. Предусмотрено прохождение сигналов пределов ограничения выходного сигнала ПИ-регулятора через задатчики интенсивности, настраиваемые параметром **p2293**.

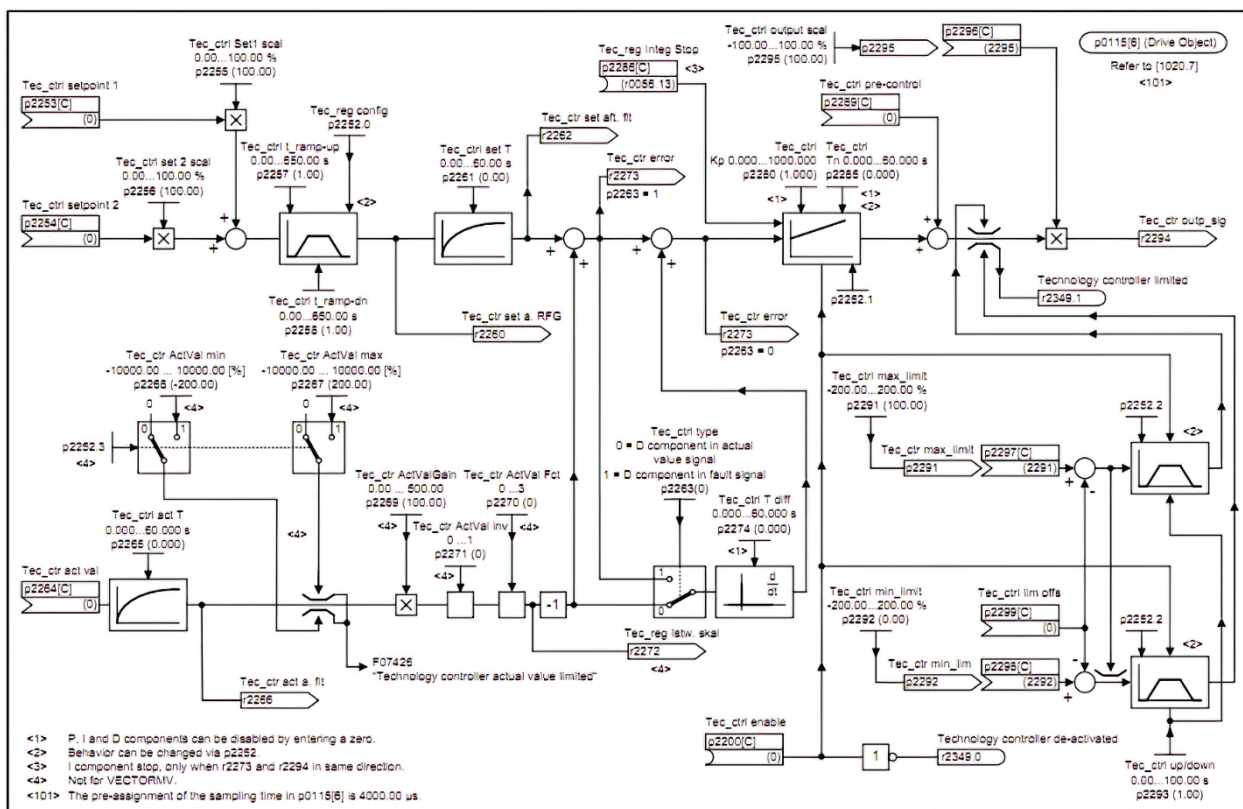


Рис. 8.1. Функциональная схема технологического регулятора в Sinamics G130/G150

Например, для регулирования давления воды в системе водоснабжения посредством частотно-регулируемого привода насоса можно выполнить следующую конфигурацию преобразователя Sinamics G130/G150:

- 1) к аналоговому входу преобразователя подключить датчик давления в системе водоснабжения, коннектор с сигналом этого аналогового входа подключить к параметру входа обратной связи **p2264**;
- 2) к параметру входа задания подключить коннектор с сигналом задания, например, получаемого по шине управления Profibus;
- 3) выходной коннектор технологического регулятора **r2294** подключить к параметру входного задания **p1070**.

Примечание. На рисунке 3.12 показано подключение коннектора **r2050[1]** телеграммы Profibus с заданием скорости к параметру главного задания **p1070**. При использовании технологического регулятора в слове телеграммы **r2050[1]** должно быть задание на давление, а к параметру **p1070** надо подключить коннектор **r2294**.

8.2. Функции автонастройки регуляторов

В системах управления преобразователями присутствуют регуляторы тока, регуляторы скорости, входящие в структуру подчинённого регулирования; как правило, эти регуляторы работают по пропорционально-интегральному закону. В преобразователях обычно предусматриваются функции автоматической настройки этих регуляторов.

Для настройки регуляторов тока (токов якоря и возбуждения машин постоянного тока, активных и реактивных составляющих токов статора машин переменного тока) предусматриваются функции автоматического измерения активных и индуктивных сопротивлений цепи соответствующего тока. Отметим, что алгоритмы функций автоматического измерения сопротивлений обмоток электродвигателей повторяют алгоритмы типовых испытаний электрических машин. Измеренные значения этих сопротивлений используются для автоматического расчёта параметров ПИ-регулятора тока.

При автоматической настройке регулятора скорости выполняется определение момента инерции двигателя и связанного с ним механизма; результаты измерений используются для расчёта параметров ПИ-регулятора скорости. Определить момент инерции **J** можно при разгоне без нагрузки двигателя с механизмом; для этого задаётся постоянный момент двигателя **M₀** и определяется время Δt при увеличении скорости на величину $\Delta\omega$:

$$J = M_0 \cdot \Delta t / \Delta\omega \quad (8.1)$$

В деталях процедуры автоматической настройки регуляторов тока, регуляторов скорости и других регуляторов у различных производителей отличаются. Например, для регуляторов скорости преобразователей Sinamics возможна установка характера переходной характеристики. Процесс можно сделать более плавным или более интенсивным.

8.3. Функции для повышения устойчивости электрооборудования к нарушениям электроснабжения

Как правило, при возникновении таких неполадок, как пропадание питающего напряжения, при кратковременном избыточном или недостаточном напряжении и т.п. преобразователь фиксирует ошибку, переходит в состояние аварии и привод останавливается. В ряде технологических процессов аварийная остановка привода может приводить к тяжёлым последствиям.

В программном обеспечении цифровых приводов предусматриваются специальные функции, повышающие устойчивость привода к кратковременным нарушениям электроснабжения. Приводные функции преобразователей позволяют удерживать в рабочем состоянии привод при возникновении кратковременных нарушений электроснабжения, а также выполнить автоматический перезапуск. Выбор параметров этих функций определяется:

- запасом кинетической энергии механизма и тормозящим моментом со стороны нагрузки, что характеризует время свободного выбега при отключении питания привода;
- допустимым временем реализации приводных функций со стороны системы противоаварийной защиты;
- допустимым временем останова или допустимым уровнем снижения скорости привода по условиям технологии.

8.3.1. Автоматика повторного включения

Автоматика повторного включения предназначена для автоматического повторного включения установленного устройства, отключившегося из-за минимального напряжения в сети или сбоя в сети. При этом автоматически подтверждаются имеющиеся предупреждения, и привод вновь автоматически запускается.

Возможны два случая повторного пуска привода.

- Нормальный пуск привода, начинающийся из состояния останова.
- Пуск двигателя с помощью функции «улавливания».

Для приводов с малыми моментами инерции и нагрузки, позволяющие приводу останавливаться в пределах секунд (например, приводы насосов с водяным столбом), рекомендуется пуск из состояния останова.

Для приводов с большими моментами инерции (например, приводы вентиляторов) можно дополнительно активировать функцию «улавливания», которая позволяет подключаться к ещё вращающемуся двигателю.

При конфигурации функции повторного включения задаются такие параметры, как количество попыток включения, временные интервалы задержек включения.

8.3.2. Подхват на лету (улавливание)

Возможны два случая:

1. Привод вращается в результате внешних воздействий, например, поток воды в приводах насосов при отсутствии или неисправности обратных клапанов, или тяга воздуха в приводах вентиляторов. Причём привод может также вращаться против направления вращения (например, при отсутствии или неисправности обратных клапанов после насосов).

2. Привод вращается в результате произошедшего до этого отключения, например, OFF2 или сбоя в сети. Из-за накопленной в ветви привода кинетической энергии привод медленно выбегает. (Пример: вытяжной вентилятор с высоким моментом инерции и резко идущей вниз характеристикой нагрузки в нижнем диапазоне частоты вращения).

Пуск улавливания осуществляется в следующих случаях:

- после восстановления напряжения в сети при активированной автоматике повторного включения;
- после отключения с помощью команды ВЫКЛ2 (импульсная блокировка) при активированной автоматике повторного включения;
- при поданной команде включения.

Примечание. Функцию «Улавливание» необходимо использовать в тех случаях, когда двигатель по возможности ещё работает или приводится в движение нагрузкой. В противном случае происходят отключения из-за тока перегрузки.

8.3.3. Регулирование напряжения Vdc, кинетическое буферирование

С помощью функции «Регулирование Vdc» возможны ответные реакции на перенапряжение или минимальное напряжение в звене постоянного тока преобразователя частоты в виде соответствующих мер.

Минимальное напряжение в промежуточном контуре. Типичная причина: исчезновение сетевого напряжения или питания для промежуточного контура.

Способ устранения:

Имеющиеся потери компенсируются путём ввода момента генераторного режима для вращающегося привода, в результате чего стабилизируется напряжение в промежуточном контуре. Привод сохраняет полную работоспособность до тех пор, пока двигатель вращается и вырабатывает энергию для питания привода. Если главный контактор остаётся в замкнутом состоянии, привод может продолжить работу после восстановления питания.

Данный метод называется кинетической буферизацией. Кинетическая буферизация может поддерживаться до тех пор, пока движущийся привод вырабатывает энергию.

Благодаря этой функции во время кратковременного сбоя в сети используется кинетическая энергия двигателя для буферизации напряжения промежуточного контура и при этом привод тормозит.

Недостаток этой функции: электродвигатель и приводимый технологический механизм, продолжающие инерционное вращение (с

постепенной потерей производительности), ускоренно замедляют вращение и при восстановлении электроснабжения начинают разгон с меньшей скорости. Кроме того, следствием ускоренного замедления вращения приводимого механизма является повышение вероятности срабатывания технологической защиты оборудования.

9. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Часть 1.

1. Назовите основные элементы функциональной схемы асинхронного привода.
2. Назовите основные элементы функциональной схемы привода постоянного тока.
3. Перечислите задачи, выполняемые цифровой системой управления преобразователями приводов постоянного и переменного тока.
4. Назначение параметров цифровой системы управления приводом; типы параметров.
5. Назначение ВІСО системы в преобразователях фирмы Siemens.
6. Приведите примеры построения структуры параметров в преобразователях от различных производителей.
7. Приведите примеры типовых интерфейсов преобразователей постоянного и переменного тока.
8. Приведите примеры приложений для настройки преобразователей с помощью персонального компьютера. Перечислите основные функции таких программных продуктов.

Часть 2.

1. Назначение слова управления в преобразователе. Приведите примеры состава слова управления.
2. Назначение слова состояния в преобразователе. Приведите примеры состава слова состояния.
3. Приведите примеры связи бит слов управления и слов состояния преобразователя с алгоритмом его работы.

Часть 3.

1. Назовите интерфейсы, через которые преобразователи постоянного и переменного тока могут получать задание на управление приводом.
2. Перечислите форматы аналоговых сигналов, применяемые в аналоговых входах преобразователей.
3. Какие способы обработки аналоговых входных сигналов предусмотрены в приводах?
4. Перечислите функции встроенных панелей управления в приводах постоянного и переменного тока.

5. Приведите примеры реализации фиксированных заданий в цифровых приводах.

6. Назначение функции «мотор-потенциометр», типовые настройки этой функции на примерах цифровых приводов.

Часть 4.

1. Приведите примеры вариантов логических схем ограничения задания скорости цифрового привода.

2. Назначение функции пропуска критических частот; варианты реализации этой функции в цифровых приводах.

3. Назначение задатчика интенсивности; приведите примеры параметрирования задатчика интенсивности.

4. Объясните назначение параметров задатчика интенсивности преобразователя Sinamics DCM.

Часть 5.

1. Объясните разницу в настройках двух ПИ-регуляторов, структура которых показана на рисунке 5.2.

2. Чем отличаются параметры «постоянная интегрирования» и «интегральный коэффициент усиления» ПИ-регулятора?

3. Объясните работу программных блоков адаптации пропорционального и интегрального коэффициентов ПИ-регулятора скорости.

4. Перечислите способы получения обратной связи по скорости в цифровых приводах постоянного тока. Сравните эти способы по точности, надёжности, помехоустойчивости.

5. Перечислите способы получения обратной связи по скорости в цифровых приводах переменного тока. Сравните эти способы по точности, надёжности, помехоустойчивости.

6. Назначение функции статизма, приведите примеры функциональных диаграмм.

7. Назначение, физический смысл функции компенсации момента сопротивления; примеры функциональных диаграмм.

8. Назначение, физический смысл функции компенсации момента инерции; примеры функциональных диаграмм.

9. Назначение форсировки сигнала обратной связи; функциональные диаграммы.

Часть 6.

1. Назначение регуляторов тока в приводах постоянного и переменного тока.

2. Каким образом выполняется ограничение момента в преобразователе TRD32 EV?

3. Приведите примеры функциональных схем ограничения момента в приводах постоянного и переменного тока.

4. Зачем применяется функция ограничения тока в зависимости от частоты вращения двигателя?

5. Приведите примеры настройки функции ограничения тока в зависимости от частоты вращения.

6. Зачем и как применяются звенья динамической коррекции в преобразователях?

7. Зачем в цепях задания момента в приводах постоянного и переменного тока применяют задатчики интенсивности?

8. Назначение цепей предупреждения в контурах регулирования тока; принцип действия цепей предупреждения.

9. С какой целью применяются программные блоки адаптации регулятора тока?

10. Как меняется пропорциональный коэффициент ПИ-регулятора тока при адаптации к нелинейности индуктивности цепи якоря?

11. Как меняется пропорциональный коэффициент ПИ-регулятора тока при адаптации к нелинейности системы управления (СИФУ) тиристорного выпрямителя?

12. Как в цифровых приводах учитывается нелинейность магнитного потока от тока возбуждения в регуляторах магнитного потока?

13. Как в цифровых приводах учитывается ослабление магнитного потока, когда надо задавать момент двигателя при регулировании скорости во второй зоне?

14. Назначение и принцип действия функции FieldEconomy.

Часть 7.

1. Что обозначает понятие «двухзонное регулирование» скорости привода?

2. Назначение регулятора ЭДС в приводе постоянного тока. На задание какого параметра поступает выходной сигнал регулятора ЭДС?

3. Каким образом можно установить желаемый порог напряжения, с которого привод переходит во вторую зону регулирования?

4. Какие регуляторы привода постоянного тока участвуют в двухзонном регулировании скорости? Опишите взаимодействие этих регуляторов.

Часть 8.

1. Назначение технологического регулятора в структуре цифровой системы управления приводом. Как подключить этот регулятор в работу?

2. Приведите примеры конфигурации и включения функций автоматической настройки контуров регулирования цифрового привода.

3. Назначение функции повторного включения привода.

4. Назначение функции подхвата на лету.

5. Назначение функции кинетического буферирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sinamics DCM. Справочник по параметрированию. Siemens AG. Process Industries and Drives Large Drives / Nurnberg, 2015.
2. Sinamics S120/S150. Справочник по параметрированию. Siemens AG. Industry sector Drive Technologies Motion control systems / Erlangen, 2014.
3. Sinamics G120. CU250S-2 Control Units. Siemens AG. Digital factory Motion control systems / Erlangen, 2017.
4. TPD32-EV. Instruction manual. GEFRAN S.P.A. / Provaglio, Italy 2016.
5. DCREG2, DCREG4. Руководство по эксплуатации. Elettronica Santerno S.P.A. Casalfiumanese, Italy 2004.
6. PowerFlex Digital DC Drive. Catalog Numbers 20P, 23P. Allen-Bradley. Rockwell Automation / USA 2017.
7. Промышленные приводы АББ ACS880, одиночные приводы 0,55–3200 кВт [Текст] : каталог. – 2015.
8. Руководство по микропрограммному обеспечению. Основная программа управления ACS880 [Текст] : руководство. – 2015.
9. Unidrive M700 / M701 / M702. Руководство пользователя. www.controltechniques.com. : [сайт]. – 2023. – URL: www.controltechniques.com
10. Преобразователи частоты FR-A800 [Текст] : руководство / Mitsubishi Electric. – 2017.
11. Vacon NX. Руководство по прикладным программам «All in One» / Vaasa, 2006.

Учебное издание

Ковалев Евгений Николаевич

**Компьютерная и микропроцессорная
техника в электроприводе
Типовые функции системы управления
электроприводами**

Учебное пособие

Редактор и корректор М. Д. Баранова
Техн. редактор Д. А. Романова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 30.05.2023 г. Рег.№ 5036/22

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.