

# Как работает модуль автоматического управления FM 355

## 3

### Что включено в данную главу?

В данной главе представлены краткий обзор базовой структуры FM 355, режимы его работы и его свойства.

### Обзор главы

Раздел	Описание	Стр.
3.1	Базовая структура модуля FM 355	3-2
3.2	Основные параметры	3-5
3.3	Входы модуля FM 355	3-6
3.4	Регулятор	3-10
3.5	Выходы модуля FM 355	3-35
3.6	Режимы работы и обработка данных в модуле FM 355	3-37
3.7	Свойства модуля FM 355	3-43
3.8	Оптимизация параметров регулятора в системе терморегулирования	3-49

### 3.1 Базовая структура модуля FM 355

#### Краткий обзор

В данном разделе для объяснения базовой структуры и возможных соединений модуля FM 355 используются блок-схемы.

#### Базовая структура FM 355

FM 355 C и FM 355 S имеют схожую базовую структуру. В составе этой структуры можно выделить следующие функциональные блоки:

- Входы модуля FM 355
  - 4 аналоговых входа с соответствующими схемами сопряжения
  - 1 опорный вход для терморезистора термокомпенсации
  - 8 дискретных входов
- Регулятор
  - 4 независимых друг от друга канала управления, каждый из которых содержит блоки формирования системной ошибки, алгоритма управления и выхода регулятора
- Выходы модуля FM 355
  - 4 аналоговых выхода (только для FM 355 C)
  - 8 дискретных выходов (только для FM 355 S)

## Блок-схема модуля FM355 C

На рис. 3-1 показаны блок-схема модуля FM 355 C (регулятор непрерывного управления) и возможные соединения между его отдельными функциональными блоками.

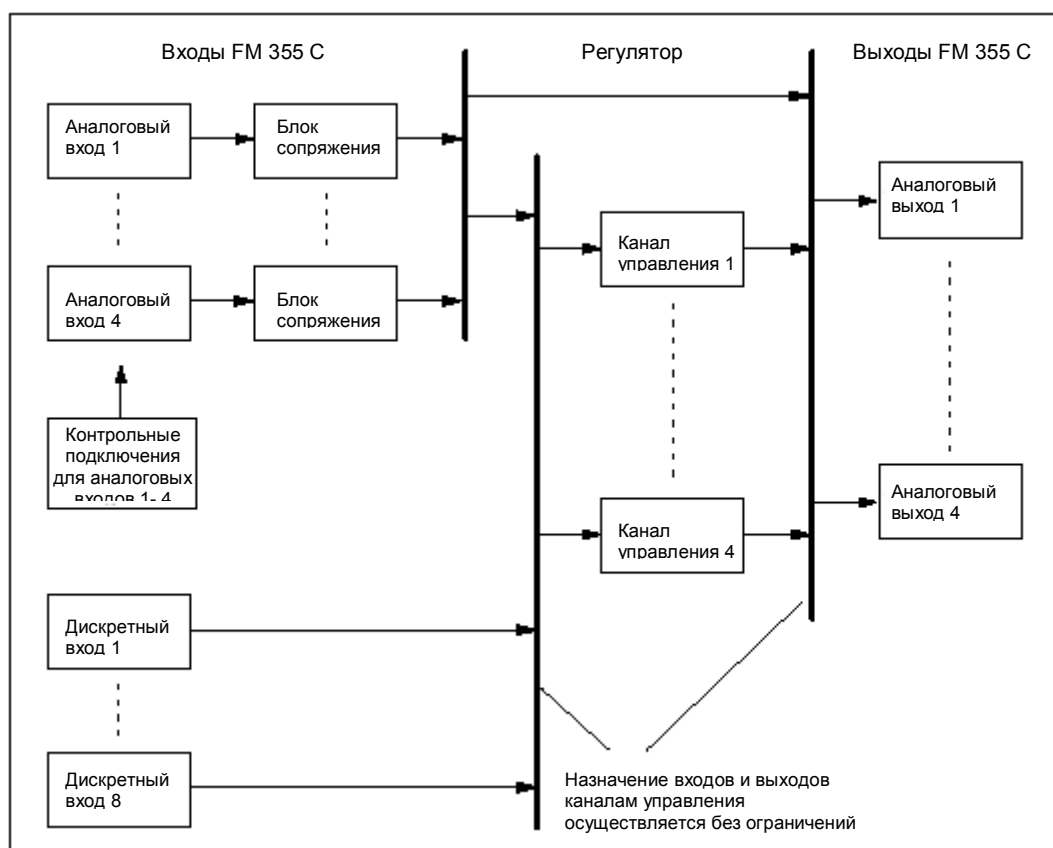


Рис. 3-1 Блок-схема модуля FM 355 C (регулятор непрерывного управления)

## Возможные соединения между отдельными блоками FM 355 C

Функциональные блоки FM 355 C не имеют фиксированных назначений по связи друг с другом. Их возможно соединить в соответствии с требуемой конфигурацией.

Каждый аналоговый вход имеет собственный аналоговый блок сопряжения, включающий в себя фильтр, устройство линеаризации и устройство масштабирования.

Вы можете назначить до 4 аналоговых входов и до 3 дискретных входов каждому каналу управления. Каждый канал может быть подключен к аналоговому блоку сопряжения, к дискретным входам, а также к выходу другого канала управления.

Каждый аналоговый выход может быть подключен к выходу регулятора или к аналоговому блоку сопряжения. Возможность подключения к аналоговому блоку сопряжения может использоваться, например, для преобразования нелинейной температурной характеристики в линейный выходной сигнал.

## Блок-схема модуля FM355 S

На рис. 3-2 показаны блок-схема модуля FM 355 S (регулятор пошагового управления) и возможные соединения между его отдельными функциональными блоками.

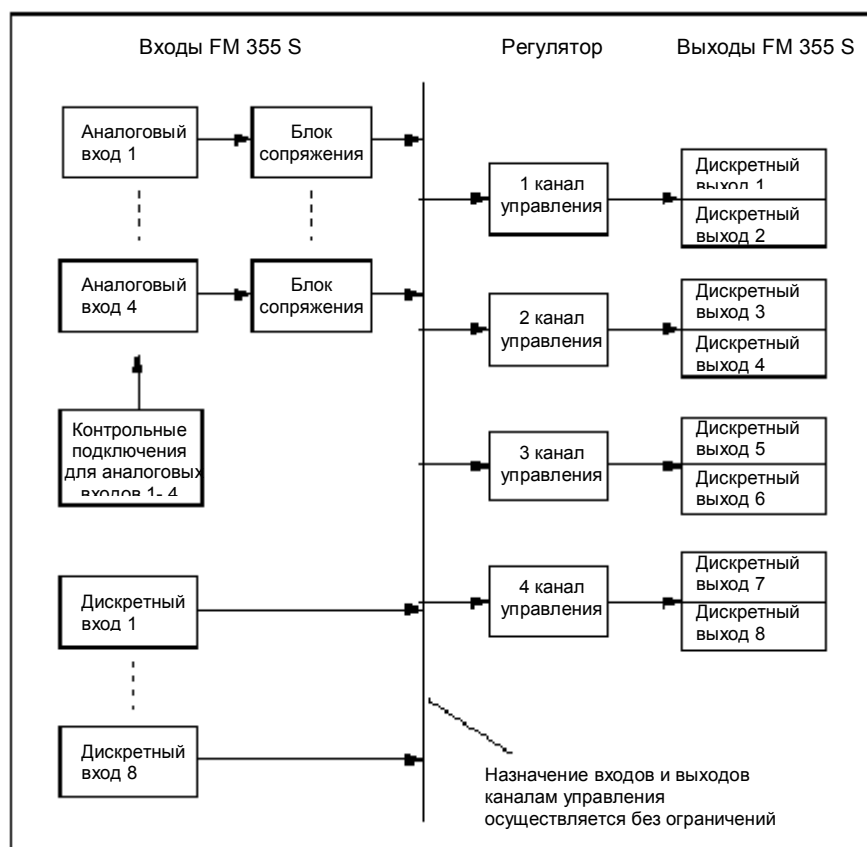


Рис. 3-2 Блок-схема модуля FM 355 S (регулятор пошагового управления)

## Возможные соединения между отдельными блоками FM 355 S

Функциональные блоки FM 355 S не имеют фиксированных назначений по связи друг с другом. Их возможно соединить в соответствии с требуемой конфигурацией.

Каждый аналоговый вход имеет собственный аналоговый блок сопряжения, включающий в себя фильтр, устройство линеаризации и устройство масштабирования.

Вы можете назначить до 4 аналоговых входов и до 5 дискретных входов каждому каналу управления. Каждый канал может быть подключен к аналоговому блоку сопряжения, к дискретным входам, а также к выходу другого канала управления.

Дискретные выходы попарно жестко назначены четырем каналам управления.

## 3.2 Основные параметры

### Краткий обзор

Модуль FM 355 имеет основные параметры, связанные с прерываниями и реакцией на режим процессора STOP.

### Основные параметры

Основные параметры могут устанавливаться в опции "HW CONFIG" ("Конфигурация оборудования") в меню "Basic Parameters" ("Основные параметры").

Возможны следующие установки:

- Генерация прерывания
  - Yes (Да)
  - No (Нет)
- Селекция прерываний
  - None (Отсутствует)
  - Diagnostic interrupt (Прерывание диагностики)
- Реакция на режим процессора STOP
  - Continue processing (Продолжение работы)

### 3.3 Входы модуля FM 355

#### Краткий обзор

К аналоговым входам могут быть подсоединены различные типы датчиков. Входные сигналы датчиков в схемах блока сопряжения приводятся в соответствие с требованиями, предъявляемыми к ним, для обработки в модуле FM 355.

Дискретные входы могут использоваться для переключения модуля FM 355 в различные рабочие режимы.

Регуляторы непрерывного управления и регуляторы пошагового управления имеют одинаковую структуру аналоговых и дискретных входов.

#### 3.3.1 Аналоговые входы

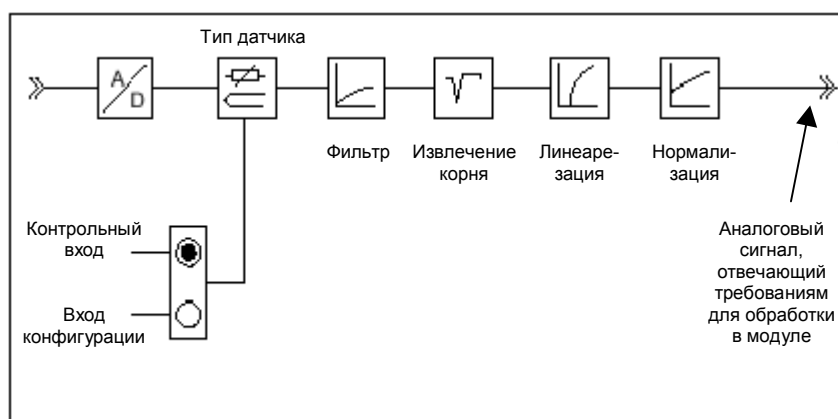


Рис. 3-3 Обработка входного аналогового сигнала для адаптации к техническим условиям

Аналоговые входы модуля могут быть приспособлены к различным датчикам с помощью настройки (конфигурирования) параметров. При этом возможны следующие установки:

- Аналоговый вход не работает (например, не задействован)
- Датчик тока в диапазоне 0 ... 20 мА
- Датчик тока в диапазоне 4 ... 20 мА
- Датчик напряжения в диапазоне 0 ... 10 В
- Pt 100, –200 ... 850 °C
- Pt 100, –200 ... 556 °C (удвоенное разрешение)
- Pt 100, –200 ... 130 °C (учетверенное разрешение)
- Термoeлементы типов B, J, K, R и S (аналоговый вход –80 мВ ... 80 мВ)
- Произвольный термoeлемент (аналоговый вход –80 мВ ... 80 мВ)

Аналоговые входы конфигурируются с помощью шаблона "Analog input" ("Аналоговый вход").

#### Адаптация к частоте питающей сети

При обработке входного сигнала может быть учтена частота питающей сети для подавления помех при измерении аналоговых сигналов. При этом возможны следующие установки:

- 50 Hz (Работа с сетью 50 Гц)
- 60 Hz (Работа с сетью 60 Гц)

Конфигурация производится на экране "Overview" ("Обзор") модуля FM355:  
опции меню: **Tools (Сервис) > Module Parameters (Параметры модуля)**

#### Выбор формата измерения температуры: Цельсий/Фаренгейт

Температура может измеряться в градусах Цельсия °C и градусах Фаренгейта °F.

Конфигурация производится на экране "Overview" ("Обзор") модуля FM355:  
опции меню: **Tools (Сервис) > Module Parameters (Параметры модуля)**.

#### Опорное подключение

Если в качестве датчика Вы подключаете термопару к аналоговому входу, Вы можете также к опорному входу модуля FM 355 подключить терморезистор термокомпенсации Pt 100 для настройки характеристики термопары.

Конфигурация производится на экране "Overview" ("Обзор") модуля FM355:  
опции меню: **Tools (Сервис) > Module Parameters (Параметры модуля)**.

При использовании входа опорного подключения, время опроса для каждого регулятора увеличивается на время преобразования для входа опорного подключения (см. рис. 3-32 и 3-33).

### Адаптация аналоговых значений входного сигнала

Блок сопряжения – блок, в котором выполняется адаптация аналоговых значений входных сигналов, имеет набор различных настраиваемых параметров. В следующей таблице представлен обзор этих параметров и их значений настройки.

Параметр	Значения настройки	Примечания
Resolution (Разрешение)	<ul style="list-style-type: none"> <li>12 bits (12 бит)</li> <li>14 bits (14 бит)</li> </ul>	Время преобразования 20 мс (50 Гц) Время преобразования $16^{2/3}$ мс (60 Гц) Время преобразования 100 мс
Filter (Фильтр)	<ul style="list-style-type: none"> <li>On/Off (Вкл/Выкл)</li> <li>Постоянная времени (с)</li> </ul>	Фильтр 1-го порядка, разрешение по времени которого определяется постоянной времени
Square root (Квадратный корень)	<ul style="list-style-type: none"> <li>On/Off (Вкл/Выкл)</li> </ul>	Для линеаризации сигналов от датчика, которые имеют квадратичную связь с измеряемой переменной процесса
Normalization (Нормализация)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bottom (Нижн.)</li> <li>Top (Верхн.)</li> </ul>	Для преобразования входных сигналов в требуемые технические единицы с помощью линейной интерполяции между начальной точкой (bottom) и конечным значением (top)
Polyline (Интерполяция)	<ul style="list-style-type: none"> <li>On/Off (Вкл/Выкл)</li> <li>13 точек для интерполяции в: мА (для тока) мВ (для напряжения)</li> </ul>	Для линеаризации характеристики датчика

#### Примечание:

Normalization/ Polyline: преобразование из единиц мА или мВ в технические единицы выполняется с помощью сплайнов или (если режим Polyline не активирован) с помощью нормализации.

Polyline используется для линеаризации характеристики произвольного термоэлемента или для линеаризации любых других характеристик.



### 3.3.2 Дискретные входы

Дискретные входы используются для переключения рабочих режимов отдельных каналов управления.

Работа дискретных входов может настраиваться (конфигурироваться).

При этом возможны следующие установки для каждого из восьми дискретных входов:

- High-active (Высокая активность)
- Low-active or open (Низкая активность или открытость)

Конфигурация производится на экране "Overview" ("Обзор") модуля FM355:

опции меню: **Tools (Сервис) > Module Parameters (Параметры модуля)**

Могут выбираться следующие рабочие режимы:

- Переключение на режим определения управляющей переменной с помощью FB PID\_FM
- Переключение на режим коммутирования (определение управляющей переменной с помощью аналоговых входов)
- Переключение на режим сохранения управляющей переменной

Более того, Вы можете назначить следующие сигналы с помощью дискретных входов для регуляторов пошагового управления:

- Position feedback (позиционная обратная связь (ОС)): регулятор на верхнем пределе
- Position feedback (позиционная обратная связь (ОС)): регулятор на нижнем пределе

### 3.4 Регулятор

#### Краткий обзор

Регуляторы каждого канала FM 355 состоят из следующих блоков:

- Блок формирования сигнала ошибки (рассогласования)
  - при адаптации величины уставки и переменной процесса
  - при селекции сигналов для заданного значения (уставки), переменной процесса, дифференциального входа и переменной помехи
- Блок алгоритма управления
  - управление термическим процессом
  - ПИД-регулятор
- Блок выходов
  - замена управляющей переменной
  - адаптация управляющей переменной

Конфигурация производится на экранах "Error signal formation" ("Формирование сигнала ошибки"), "Control algorithm" ("Алгоритм управления") и "Controller output" ("Выходы регулятора");  
опции меню: **Tools (Сервис) > Module Parameters (Параметры модуля)**

На рис. 3-4 показана структура регулятора.

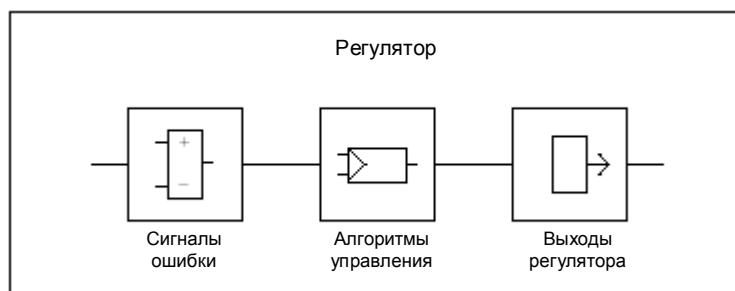


Рис. 3-4 Структура регулятора

## Типы регуляторов

Вы можете устанавливать различный тип управления (тип регулятора) для каждого канала управления FM 355 C или FM 355 S:

- стабилизация параметра на заданном уровне или каскадное управление
- трехпозиционное регулирование
- пропорциональное/смешанное управление

Вы можете выбрать следующие дополнительные режимы работы FM 355 S:

- импульсный регулятор
- регулятор пошагового управления с позиционной ОС
- регулятор пошагового управления без позиционной ОС

## Формирование сигнала ошибки (рассогласования)

В модулях FM 355 C и FM 355 S используются одинаковые базовые структуры блока формирования сигнала ошибки.

Эффективное значение уставки (заданного значения параметра) и эффективное значение переменной процесса формируются из значений уставки и переменной процесса посредством соответствующей их обработки (адаптации). При вычитании этих величин друг из друга соответствующее сообщение сигнала ошибки (рассогласования) поступит в регулятор.

Селекция сигнала может выполняться для значения уставки и переменной процесса. Это определяет универсальный характер модуля FM355 с точки зрения его применения (см. табл. 3-1).

Структуры формирования сигнала ошибки (рассогласования) отличаются для различных типов управления.

Эти различия показаны на рисунках: рис. 3-5 ... 3-8.

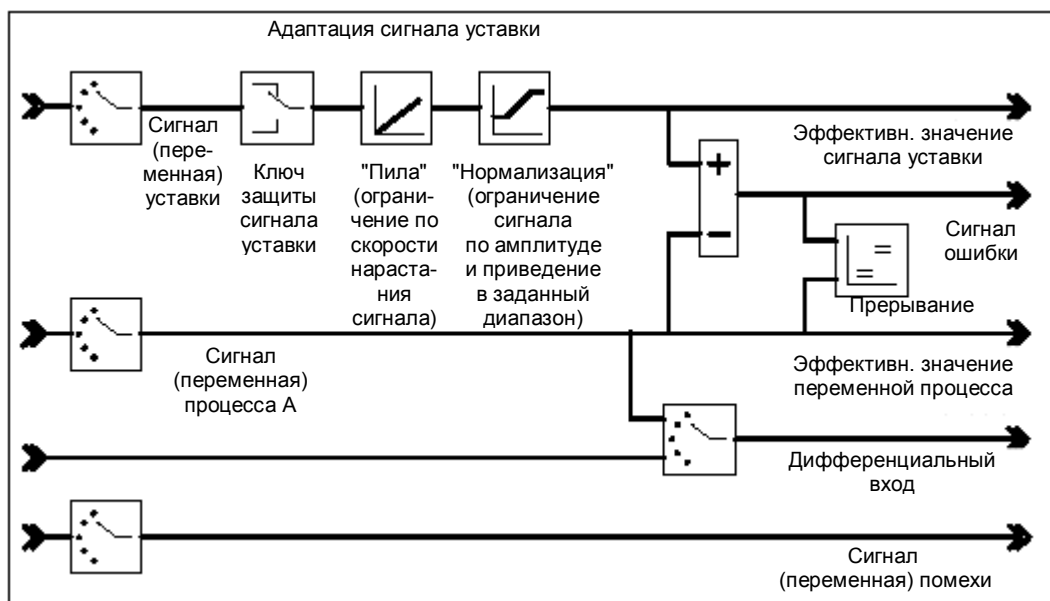


Рис. 3-5 Формирование сигнала ошибки в каскадной системе управления или в системе стабилизации параметра на заданном уровне

При каскадном управлении значение управляющей переменной для ведущего регулятора (Master) выбирается как задаваемая величина (значение уставки). В примере (Рис. 3-6) управляющая переменная регулятора 1 выбирается как значение уставки для регулятора 2.

Если вторичный (ведомый) (Secondary) регулятор, с конфигурацией режима стабилизации параметра на уровне значения уставки, переключен на ручной режим (из режима автоматического регулирования), в модуле соответствующий ведущий (Master) регулятор также будет автоматически переключен в ручной режим и будет находиться в этом режиме при последней введенной управляющей переменной. Но как только вторичный регулятор вернется к режиму автоматического регулирования, ведущий регулятор также автоматически переключится в режим автоматического регулирования.

Если управляющая переменная вторичного регулятора входит в ограничение или если фронт сигнала уставки вторичного регулятора ограничен функцией пилообразного сигнала в канале сигнала уставки, то интегральный компонент ведущего регулятора блокируется определенным образом, пока причина для ограничения не будет удалена во вторичном регуляторе.

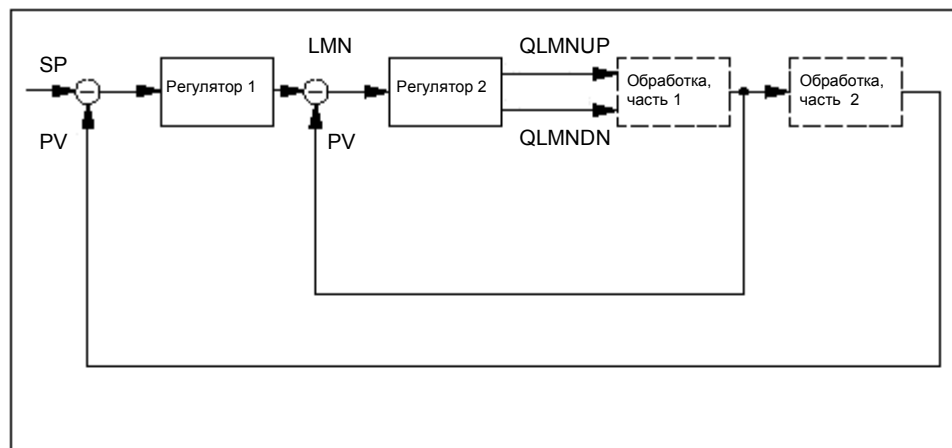


Рис. 3-6 Каскадная система управления с двумя петлями обратной связи

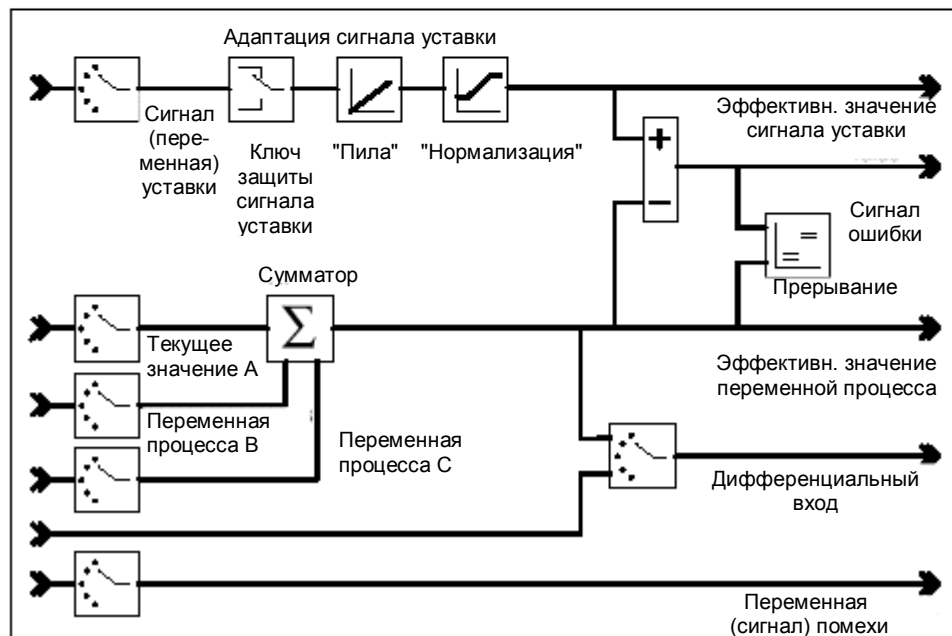


Рис. 3-7 Формирование сигнала ошибки в трехпозиционной системе управления

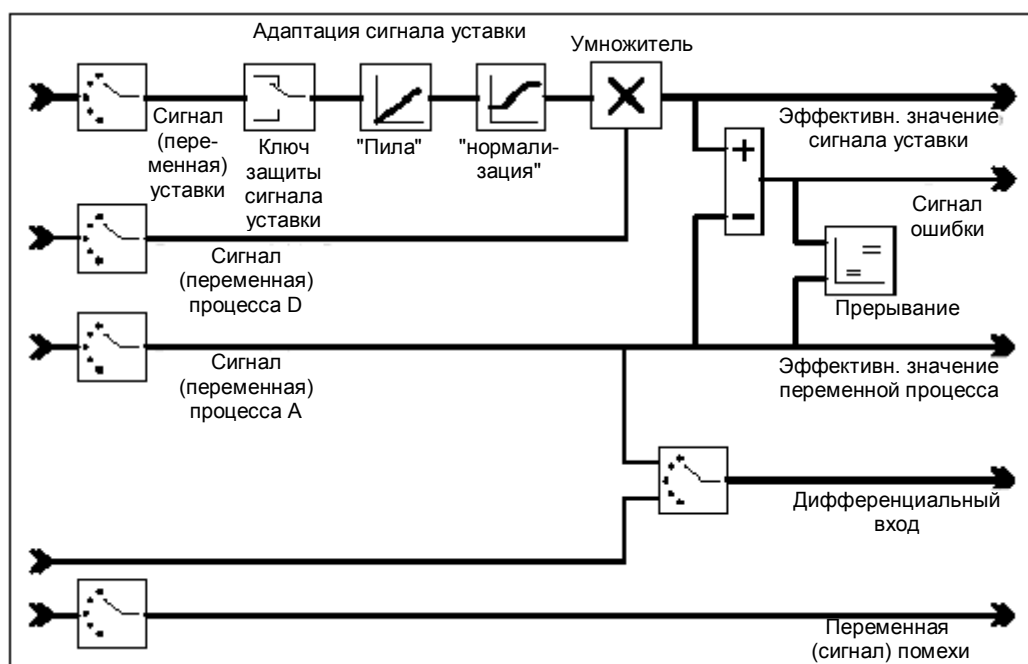


Рис. 3-8 Формирование сигнала ошибки в пропорциональной или смешанной системе управления

На рис. 3-9 показан система смешанного трехпозиционного управления:

регулятор синтезированного параметра (комплексного, многокомпонентного, "accumulated rate controller") выполнен в виде трехпозиционного регулятора / регулятора импульсного управления. Синтезированный параметр PV вычисляется с помощью входов "Переменная процесса A", "Переменная процесса B", "Переменная процесса C".

Вторичные регуляторы сконфигурированы как структуры пропорционального/смешанного управления. Управляющая переменная ведущего регулятора подается на вход "Переменная процесса D". Множители FAC1 ... FAC3 определяются с помощью значения уставки регулятора.

Управляющая переменная LMN регулятора синтезированного параметра определяется в диапазоне 0% ...100%. Вторичный регулятор переносит эту переменную на входе "Переменная процесса D" в диапазон значений переменной процесса A (диапазон значений переменной процесса A – это нормализованные значения "top" и "bottom" ("верхнее" и "нижнее") для выбранного аналогового входа).

Если управляющая переменная вторичного регулятора входит в ограничение или если фронт сигнала уставки вторичного регулятора ограничен функцией пилообразного сигнала в канале сигнала уставки, то интегральный компонент ведущего регулятора блокируется определенным образом, пока причина для ограничения не будет удалена во вторичном регуляторе.

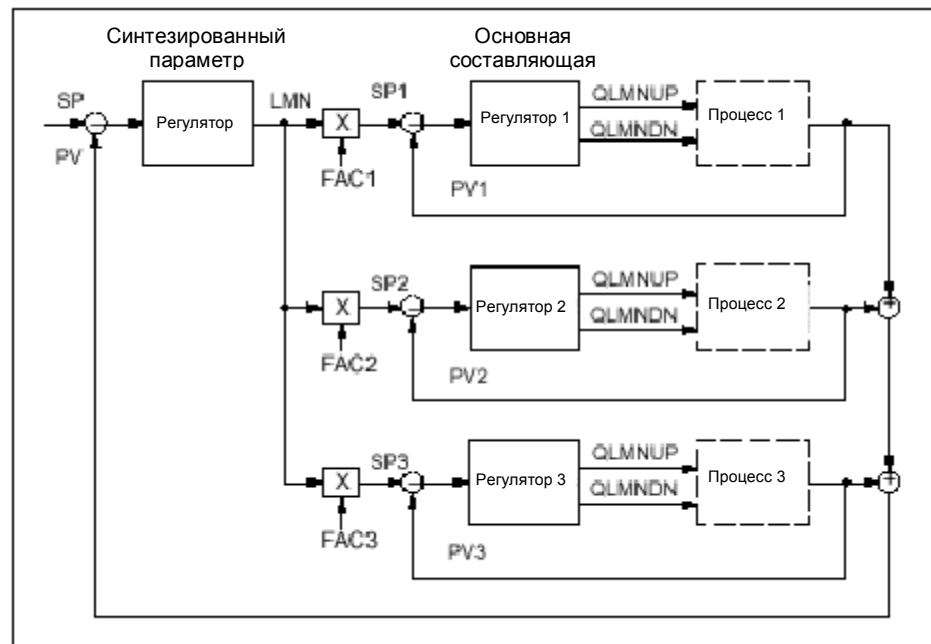


Рис. 3-9 Система смешанного трехпозиционного управления

На рис. 3-10 представлена двухконтурная система пропорционального управления:

Первый контур сконфигурирован как система стабилизации параметра на заданном уровне или как каскадный регулятор.

Второй контур сконфигурирован как система пропорционального/смешанного управления. Переменная процесса D регулятора 1 выбирается как переменная процесса регулятора 2. Коэффициент пропорциональности FAC задается с помощью входа заданного значения (значения уставки) регулятора 2. Если выходной сигнал регулятора выбирается в качестве сигнала "коэффициент пропорциональности FAC", то значение уставки будет нормализоваться и переводиться в допустимый диапазон от "Нижнего значения" до "Верхнего значения".

Если управляющая переменная вторичного регулятора входит в ограничение или если фронт сигнала уставки вторичного регулятора ограничен функцией пилообразного сигнала в канале сигнала уставки, то интегральный компонент ведущего регулятора блокируется определенным образом, пока причина для ограничения не будет удалена во вторичном регуляторе.

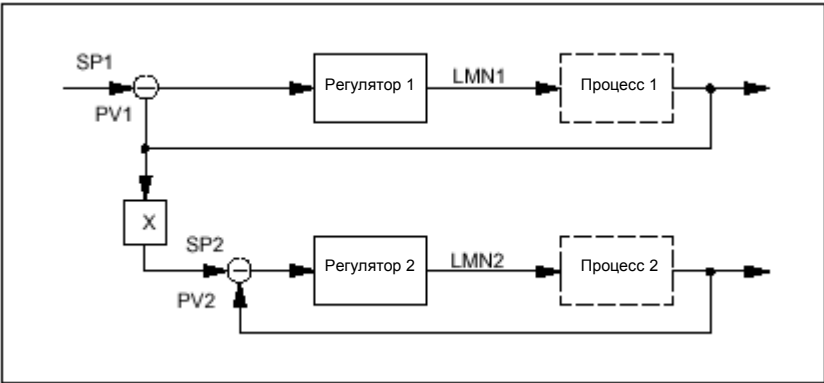


Рис. 3-10 Двухконтурное пропорциональное управление

**Селекция сигнала уставки, сигнала переменной процесса, сигнала дифференциального входа и сигнала переменной помехи**

Вы можете выбирать сигналы: сигнал уставки, сигнал переменной процесса, сигнал дифференциального входа и сигнал переменной помехи в каждом канале управления. В нижеследующей таблице представлен краткий обзор возможных вариантов селекции сигналов.

Таблица 3-1 Селекция сигнала уставки, сигнала переменной процесса, сигнала дифференциального входа и сигнала переменной помехи

Сигналы воздействия (переменные)	Выбираемый источник сигнала
Заданное значение (уставка)	<ul style="list-style-type: none"><li>Значение, определенное в программе пользователя с помощью функционального блока</li><li>Адаптированное значение от аналогового входа</li><li>Управляющая величина от другого канала управления (для каскадной структуры)</li></ul>
Сигнал процесса A, B, C	<ul style="list-style-type: none"><li>Адаптированное значение от аналогового входа (переменные B и C могут быть незадействованы)</li></ul>
Сигнал процесса D	<ul style="list-style-type: none"><li>Нуль (переменная D также может быть незадействована)</li></ul>
Сигнал дифференциального входа (только для PD- и PID-управления )	<ul style="list-style-type: none"><li>Сигнал ошибки после интервала блокирования собственного канала управления</li><li>Адаптированное значение от аналогового входа</li><li>Инвертированная эффективная переменная процесса собственного канала управления</li></ul>
Сигнал помехи	<ul style="list-style-type: none"><li>Адаптированное значение от аналогового входа (значение НУЛЬ также может быть назначено)</li></ul>



## Адаптация сигнала уставки

Адаптация заданного значения (уставки) для преобразования его в "эффективное заданное значение" зависит от следующих возможных факторов конфигурирования:

- "Ключ (переключатель) безопасности переменной уставки" = "Схема предохранителя уставки"

Здесь может быть установлено:

- безопасное значение уставки,
- реакция FM 355 на отказ CPU,
- реакция FM 355 на процесс запуска.

Возможные альтернативы реакции FM 355:

- заданное значение = последнее значение уставки,
- заданное значение = безопасное значение уставки.

- "Пила" (Пилообразный сигнал)

Скорость изменения величины заданного сигнала может быть ограничена фильтром с временной характеристикой пилообразной формы, синхронизируемым с началом воздействия сигнала и со слежением до конечного значения сигнала.

- "Ограничение/нормализация"

Если значение уставки определено в функциональном блоке или если оно является адаптированным значением сигнала аналогового входа, то значение этой заданной переменной лежит в выбираемом диапазоне значений между нижней и верхней границами.

Если выходной сигнал регулятора выбран в качестве заданного значения системы пропорционального управления, то этот сигнал перемножается с сигналом переменной D. Значение уставки, которое присутствует на входе в виде нормированного значения (%), в этом случае нормализуется – приводится в границы разрешенного диапазона значений.

Если управляющая переменная другого регулятора должна использоваться в качестве значения уставки в системе стабилизации параметра на заданном уровне или в каскадной системе регулирования, то она нормализуется – приводится к физическому значению с помощью нормализующих коэффициентов-констант для выбранного канала переменной процесса.

- "Перемножение"

Для случая пропорционального управления переменная процесса A используется как переменная процесса, в то время как переменная процесса D используется в качестве параметра пропорциональности. Сигнал со входа заданного значения (уставки) используется как коэффициент пропорциональности. Перемножением этого сигнала с переменной процесса D и суммированием с регулируемым напряжением смещения формируется эффективное значение уставки. Если значение переменной процесса D деактивировано, сигнал уставки просто складывается с напряжением смещения при формировании эффективного значения уставки.

### **Адаптация сигнала (переменной) процесса**

В структурах систем стабилизации параметра на заданном уровне, систем каскадного управления и систем пропорционального управления эффективная переменная процесса идентична переменной процесса А.

В структурах систем трехпозиционного управления эффективное значение переменной процесса формируется суммированием трех переменных процесса А, В и С с последующим добавлением постоянной смещения. При этом переменные процесса В и С могут быть нормированы посредством коэффициентов.

## Прерывания

Функция слежения за нарушением границ разрешенного диапазона параметра заложена в FM 355. При этом существуют два варианта реакции системы:

- или формируется сигнал ошибки (рассогласования)
- или формируется эффективное значение переменной процесса

при слежении за нарушением границ (верхней и нижней) "предупреждения" в разрешенном диапазоне и за нарушением границ (верхней и нижней) "сигнала тревоги" разрешенного диапазона значений параметра. Вдобавок, Вы можете установить "гистерезис" для этих границ (см. рис. 3-11).

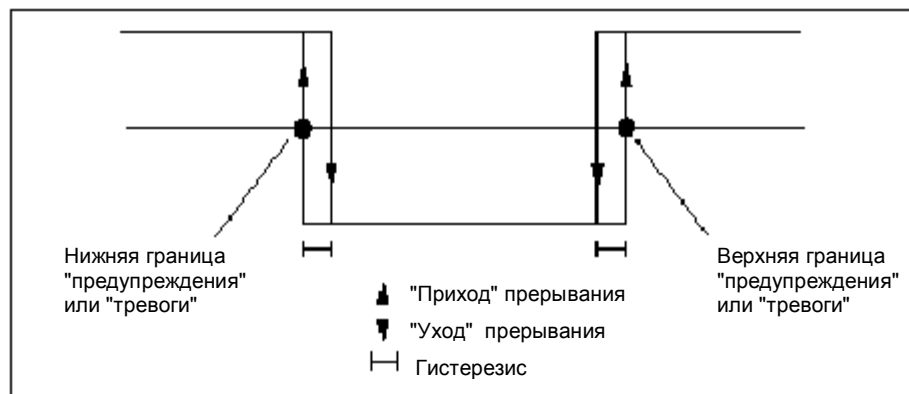


Рис. 3-11 Гистерезис на границах "предупреждения"/"сигнала тревоги" разрешенного диапазона значений для параметра

### Алгоритм управления

В соответствии с предусмотренными алгоритмами управления могут быть выбраны следующие режимы работы модуля:

- "Система управления температурой" (система управления термическим процессом – самонастраивающийся "fuzzy"-регулятор)
- ПИД-регулятор

С-регуляторы и регуляторы пошагового управления имеют схожую структуру алгоритма управления (см. рис. 3-12).

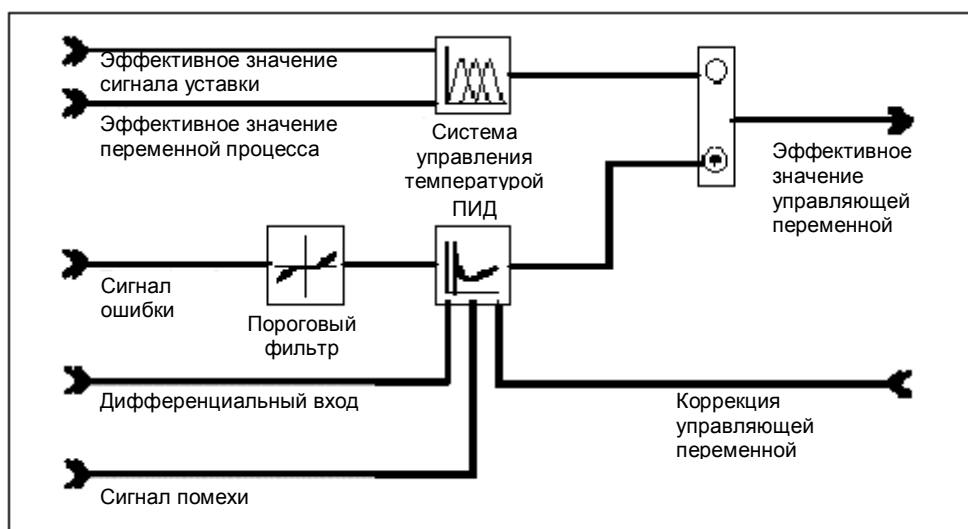


Рис. 3-12 Блок-схема алгоритма управления

## "Система управления температурой"

Система управления термическим процессом представляет собой самонастраивающийся регулятор терморегулирования с автоматическим назначением параметров управления после идентификации процесса.

Для температурного регулятора возможны следующие установки:

- Система управления охлаждением
- Система управления нагревом
- Агрессивность

Последний параметр (агрессивность) используется для влияния на динамику переходных характеристик.

Возможные значения этого параметра:

- $-1 \leq \text{Агрессивность} < 0$ : Более медленная переходная характеристика, чем было определено посредством распознавания.
- $\text{Агрессивность} = 0$ : Переходная характеристика идентична определенной посредством распознавания.
- $0 < \text{Агрессивность} \leq 1$ : Более быстрая переходная характеристика, чем было определено посредством распознавания.

Более детальное описание температурного регулятора представлено в разделе 3.8 "Система управления температурой модуля M 355".

## Алгоритм управления и структура регулятора

В цикле запланированного времени опроса управляемая переменная регулятора непрерывного действия вычисляется в соответствии с сигналом рассогласования (сигналом ошибки) PID алгоритма. Управление выполняется в отдельных параллельных структурах (рис. 3-13). "Пропорциональный", "интегральный" и "дифференциальный" компоненты могут быть отключены по отдельности. В случае "интегрального" и "дифференциального" компонентов это делается установкой соответствующего параметра TI или TD в ноль.

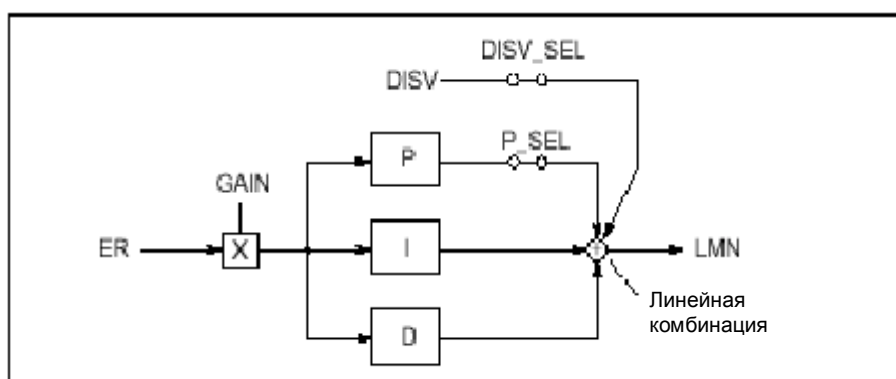


Рис. 3-13 Алгоритм управления модуля FM 355 (параллельная структура)

### Управление с прогнозированием параметров

Переменная помехи DISV может быть дополнительно наложена на выходной сигнал регулятора. Активация и деактивация этого режима выполняется в окне "Error signal" ("Сигнал ошибки") утилиты конфигурации с помощью переключателя "Signal selection disturbance variable controller" ("Выбор сигнала помехи").

### PD- компонент в цепи обратной связи

В параллельной структуре каждый компонент алгоритма управления получает сигнал ошибки (рассогласования) в качестве входного сигнала. В этой структуре все изменения заданного параметра (уставки) действуют непосредственно на управление. На управляющую переменную влияют непосредственно через пропорциональный и дифференциальный компоненты с помощью изменений значения уставки.

Тем не менее, структура управления, в которой пропорциональный и дифференциальный компоненты включены в цепь обратной связи, гарантирует плавный характер изменения управляющей переменной при ступенчатом изменении контрольной переменной (рис. 3-14). На вход цепей с пропорциональным и дифференциальным компонентами подаются значения переменной процесса только со знаком минус (для этого они перемножаются с параметром "-1"). Изменения в дифференциальном компоненте в цепи ОС выполняются в окне "Error signal" ("Сигнал ошибки") посредством переключателя "Differential input controller" ("Управление дифференциальным входом") выбором отрицательного эффективного значения переменной процесса в качестве входного сигнала. Входная переменная дифференциального компонента также может быть выбрана с помощью параметра D\_EL\_SEL функционального блока PID\_FM (см. раздел 7.1).

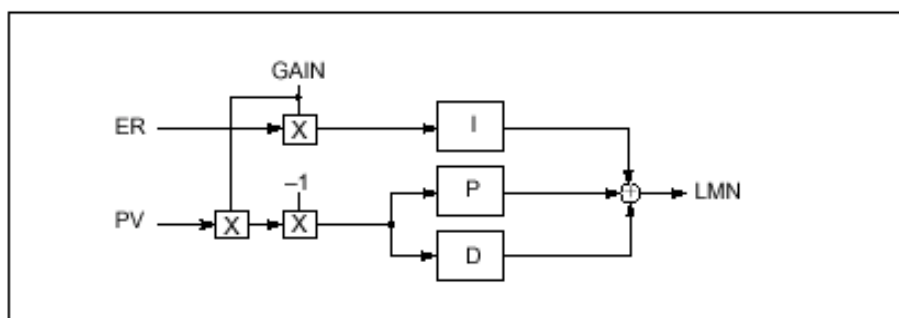


Рис. 3-14 Алгоритм управления с пропорциональным и дифференциальным компонентами в цепи обратной связи



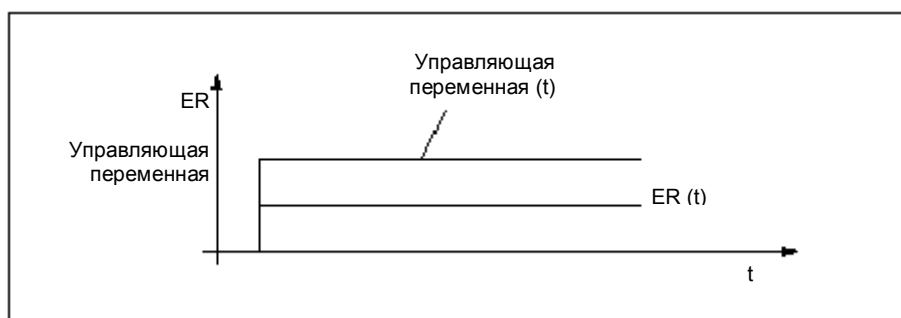


Рис. 3-16 Переходная характеристика пропорционального управления

### Пропорциональное плюс интегральное управление

В ПИ-регуляторе деактивируется дифференциальный компонент. ПИ-регулятор выдает выходную переменную, обработав входной сигнал в интегральном компоненте системы, пока сигнал ошибки не станет равным нулю. Однако, это справедливо только для случая, когда выходная переменная не выходит за границы диапазона регулирования процесса. Если границы управляющей переменной нарушены, интегральный компонент системы вернет выходной сигнал на границу диапазона регулирования.

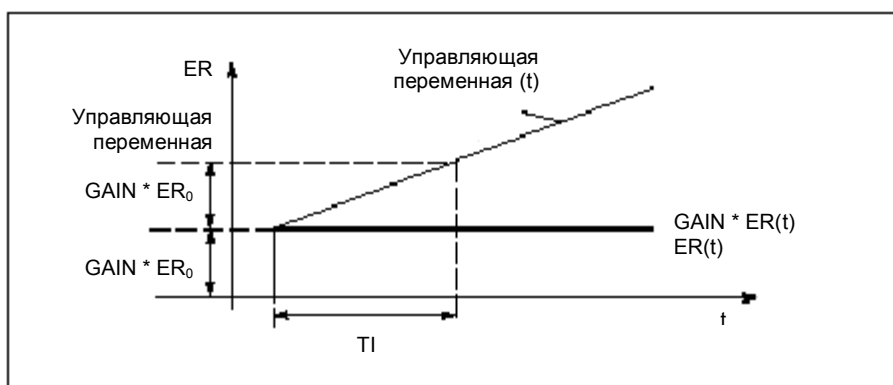


Рис. 3-17 Переходная характеристика ПИ-регулятора

### Плавное переключение с ручного управления на автоматическое

Для плавного переключения с ручного управления на автоматическое ПИ/ПИД-регулятора интегратор (интегральный компонент) должен быть переключен в ручной режим, так чтобы управляющая переменная не имела скачка благодаря пропорциональному и дифференциальному компонентам во время переключения с ручного управления на автоматическое. Тогда фактическая ошибка сигнала будет медленно компенсироваться с помощью интегратора. Если не выбран режим плавного переключения с ручного управления на автоматическое, управляющая переменная будет иметь скачок, который соответствует текущей ошибке сигнала в момент переключения. Фактическая ошибка сигнала в данном случае компенсируется быстро.



## Интегральное управление

Вы можете деактивировать пропорциональный компонент, для реализации в чистом виде интегрального управления в системе. Это выполняется с помощью параметра P\_SEL функционального блока PID\_FM.

## Пропорциональное плюс дифференциальное управление

В ПД-регуляторе деактивирован интегральный компонент системы управления. Это означает, что если сигнал ошибки равен нулю, то выходной сигнал также равен нулю. Если рабочая точка не должна быть равна нулю, то есть, численное значение для управляющей переменной должно быть задано при нулевом значении сигнала ошибки, то это достигается установкой рабочей точки:

- Automatically (Автоматический режим): Рабочая точка устанавливается регулятором в текущее (для режима "ручной") значение управляющей переменной в процессе переключения режимов "ручной" – "автомат".
- Not automatically (Неавтоматический режим): Рабочая точка устанавливается посредством конфигурирования.

ПД-регулятор представляет входную переменную  $ER(t)$  пропорционально выходному сигналу и добавляет дифференциальную компоненту после дифференцирования  $ER(t)$ , которая рассчитывается с двойной точностью по правилу трапеций (аппроксимация Паде). Временная характеристика определяется постоянной времени дифференцирования  $TD$ .

Чтобы сгладить сигнал и подавить помехи в алгоритм для формирования сигнала дифференциального управления должна быть интегрирована задержка первого порядка (настраиваемая постоянная времени  $TM\_LAG$ ). Обычно малого значения  $TM\_LAG$  уже достаточно для достижения требуемого эффекта.

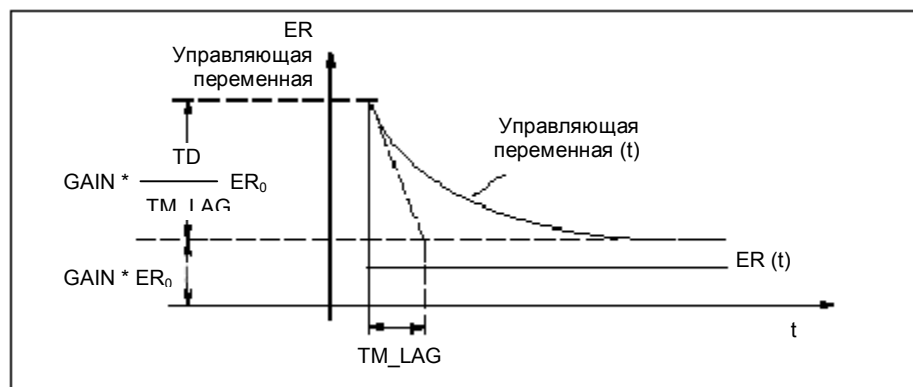


Рис. 3-18 Переходная характеристика ПД-регулятора

## ПИД-регулятор

В ПИД-регуляторе задействованы все три компонента: интегральный, дифференциальный и пропорциональный. ПИД-регулятор формирует выходную переменную с помощью интегратора до тех пор, пока сигнал ошибки не станет равным нулю  $ER = 0$ . Однако, это справедливо только для случая, когда выходная переменная не выходит за границы диапазона регулирования процесса. Если границы управляющей переменной нарушены, интегральный компонент системы вернет выходной сигнал на границу диапазона регулирования.

ПИД-регулятор представляет входную переменную  $ER(t)$  пропорционально выходному сигналу и добавляет интегральную и дифференциальную составляющие после обработки сигнала  $ER(t)$ , которые рассчитываются с двойной точностью по правилу трапеций (аппроксимация Паде). Временная характеристика определяется постоянными времени для дифференцирования  $TD$  и для интегрирования  $TI$ .

Чтобы сгладить сигнал и подавить помехи в алгоритм для формирования сигнала дифференциального управления должна быть интегрирована задержка первого порядка (настраиваемая постоянная времени  $TM\_LAG$ ). Обычно малого значения  $TM\_LAG$  уже достаточно для достижения требуемого эффекта.

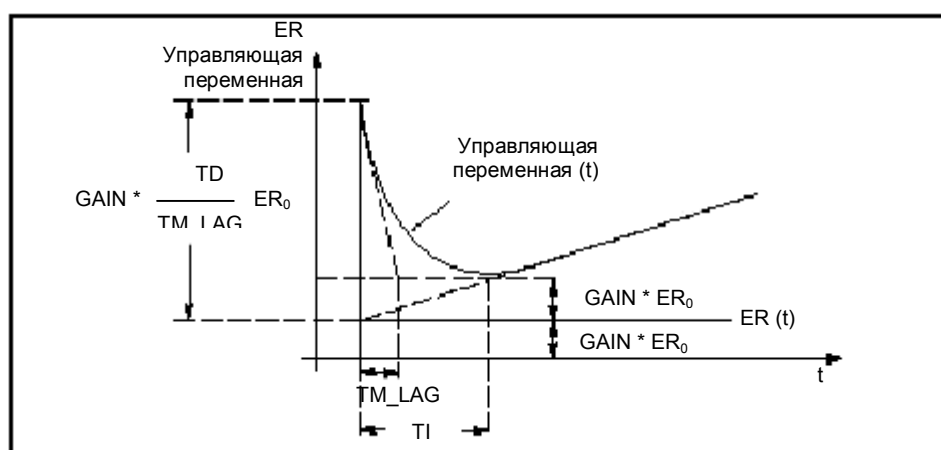


Рис. 3-19 Переходная характеристика ПИД-регулятора

## Использование и конфигурация ПИД-регулятора

Конфигурирование ПИ- и ПИД-регулятора, т.е., нахождение "правильных" установок для параметров регуляторов – это большая практическая задача. Качество такой конфигурации имеет решающее значение для того, чтобы система управления процессом во всем отвечала бы поставленной задаче, и требует или большого практического опыта и специальных знаний или очень больших затрат времени.

Функция "Optimize PID controller" ("Оптимизация ПИД-регулятора") из набора средств для конфигурирования ("configuration tool") допускает начальные установки параметров регулятора посредством адаптивного запуска. В этом случае модель процесса определяется после идентификации процесса и затем, исходя из результатов идентификации, вычисляются наиболее благоприятные (оптимальные) величины уставки для параметра регулятора. Эта процедура автоматизирована в значительной степени, что делает ненужной утомительную процедуру интерактивного подбора параметров установленного ПИД-регулятора вручную.

### Зона нечувствительности

В установившемся состоянии в ПИД-регуляторе с помощью ограничителя шумов, обладающего характеристикой передачи с зоной нечувствительности для малых уровней сигнала, производится подавление "шумовой" составляющей сигнала ошибки (рассогласования). Такой ограничитель позволяет предотвратить возрастание сигнала рассогласования за счет высокочастотной составляющей (шума), накладывающейся на сигнал ошибки, и таким образом в значительной мере снять колебания управляющего сигнала на выходе.

Ширину зоны нечувствительности можно устанавливать. Если сигнал ошибки лежит внутри зоны нечувствительности, на выходе ограничителя будет нулевой сигнал. Если сигнал ошибки лежит за пределами зоны нечувствительности, на выходе ограничителя будет сигнал, пропорциональный сигналу на его входе (см. рис. 3-20).

Это приводит к искажению сигнала рассогласования (сигнала ошибки) и вне полосы нечувствительности. Однако, ограничитель помех используют, чтобы избежать скачков сигнала ошибки в пределах зоны нечувствительности. Искажение сигнала ошибки в целом будет соответствовать величине зоны нечувствительности и может, следовательно, легко регулироваться.

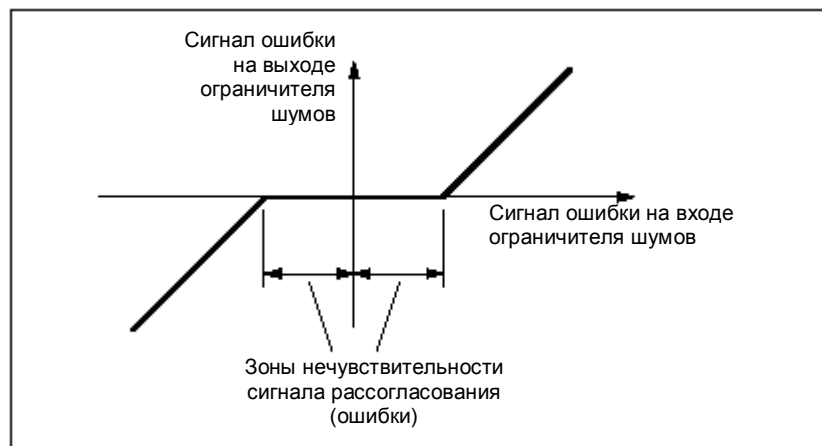


Рис. 3-20 Ограничитель шумов

## Выход регулятора

Выходной блок регулятора имеет различную структуру для разных вариантов исполнения устройства: регулятора непрерывного управления и трех режимов работы регулятора пошагового управления.

Различные монтажные соединения реализуются для вывода управляющего параметра, коммутируемого входа и схемы предохранителя управляющего параметра на выходе регулятора (для переключения управляющего параметра на резервные уставки).

Ограничения предусматриваются, чтобы гарантировать безопасные для процесса значения управляющей переменной.

Функция разбивки диапазона создает два различных выходных сигнала: управляющую переменную А и управляющую переменную В, которые могут быть нормализованы отдельно от управляющего сигнала, который является входным сигналом такой схемы. Это дает возможность, например, управлять сразу двумя сигналами с помощью одного управляющего сигнала.

Корректировка выходного управляющего сигнала предотвращает скачкообразное поведение управляющих сигналов в моменты переключения с ручного режима на автоматический. Управляющая переменная сохраняет свое значение в момент переключения. Корректировка выходного управляющего сигнала неактивна, если реализовано чисто П-управление с фиксированной рабочей точкой ("automatic" не определяется на экране ПИД-регулятора).

На рис. 3-21, 3-24, 3-27 и 3-28 показаны блок-схемы выходных блоков регуляторов следующих модификаций: регулятора непрерывного управления и для трех режимов работы регулятора пошагового управления.

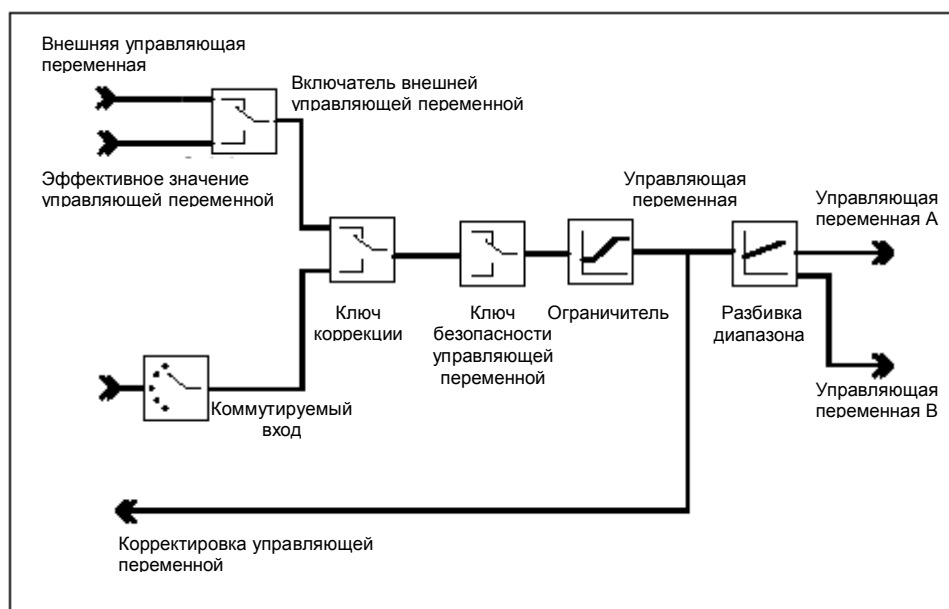


Рис. 3-21 Блок-схема выходного блока регулятора непрерывного управления

## Разбивка диапазона

Функция "split-range" ("разбивка диапазона") позволяет регулировать два управляемых параметра посредством одной управляющей переменной. Эта функция создает два выходных сигнала: управляющую переменную А и управляющую переменную В из управляющей переменной LMN, взятой в качестве входного сигнала.

На рис. 3-22 показано влияние параметров на выходную управляющую переменную А.

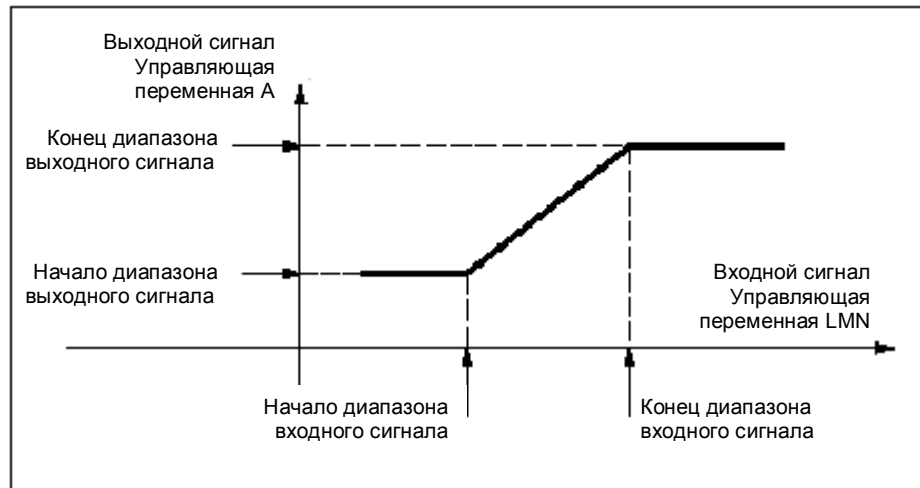


Рис. 3-22 Функция "split-range" ("разбивка диапазона"). Управляющая переменная А

На рис. 3-23 показано влияние параметров на выходную управляющую переменную В.

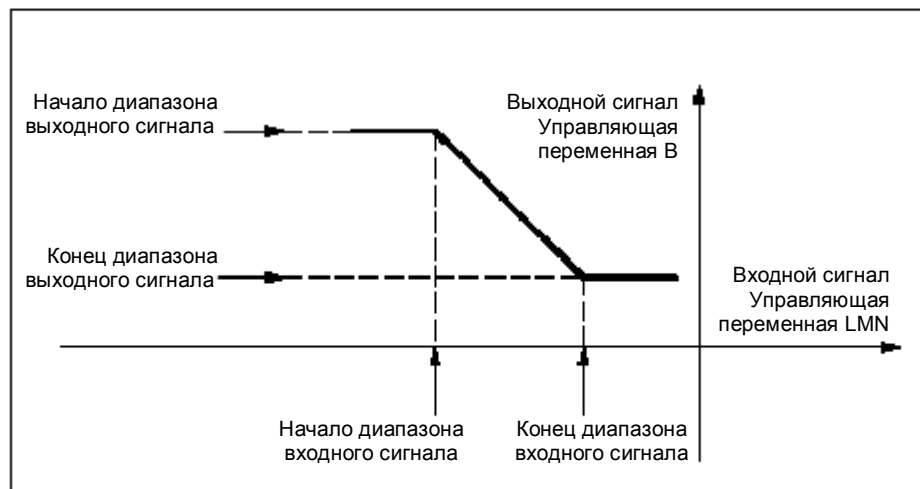


Рис. 3-23 Функция "split-range" ("разбивка диапазона"). Управляющая переменная В

Начальное значение диапазона (начало диапазона) входного сигнала должно быть меньше, чем конечное значение диапазона (конец диапазона) входного сигнала.

## Аналоговый выход

Для передачи на выход сигнала из любого канала Вы можете выбрать аналоговый выход. Этот сигнал обычно управляющая переменная А регулятора. Однако, Вы можете выбрать также и управляющую переменную В регулятора, а также входную аналоговую переменную. Последняя может использоваться для линеаризации аналоговой переменной. Так например, сигнал от термопары может быть линеаризован и переведен в диапазон 0 ... 10 В.

## Выходной блок импульсного регулятора

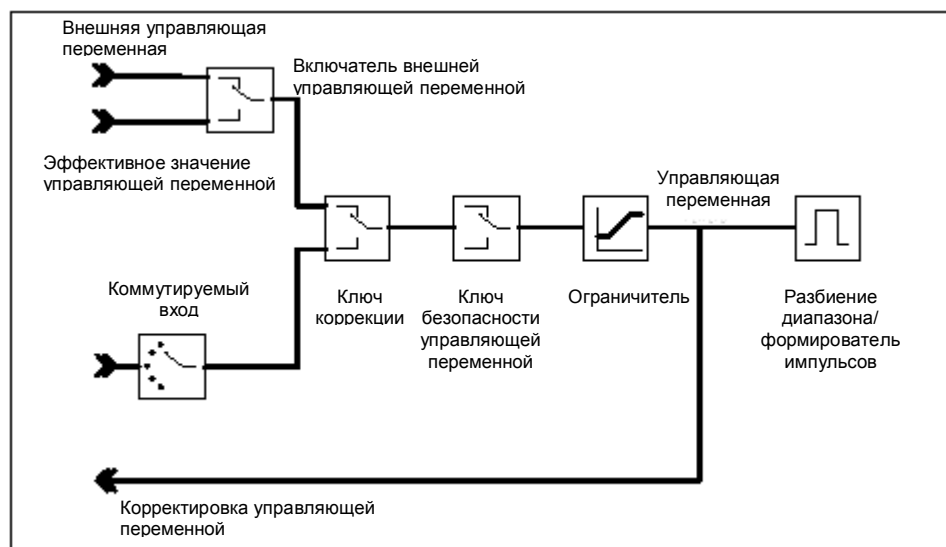


Рис. 3-24 Выход регулятора пошагового управления  
(Режим импульсного регулятора)

## Разбиение диапазона/ формирователь импульсов

Функция "split-range" ("разбиение диапазона") используется для подготовки аналогового сигнала к преобразованию в двоичный сигнал.

В случае **регулятора с двухуровневым выходом** (например, регулятор в системе нагрева) применяется только управляющая переменная А. На рис. 3-25 показано преобразование управляющей переменной в управляющую переменную А. Преобразование в двоичный выходной сигнал выполняется так, что отношение длительности импульса к длительности периода соответствует управляющей переменной А на соответствующем дискретном выходе. Например, для управляющей переменной А, составляющей 40% длительности периода времени 60 с, производится дискретный сигнал с длительностью импульса 24 с и паузой длительностью 36 с.

Назначение дискретных выходов каналам управления показаны в таблице 3-3.

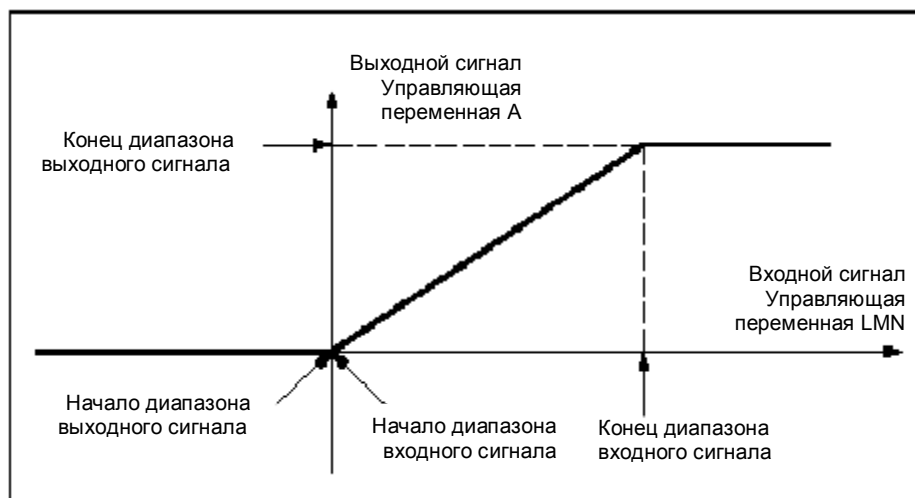


Рис. 3-25 Функция "split-range" ("разбивка диапазона") в регуляторе с двухуровневым выходом

В случае применения **регулятора с трехуровневым выходом** (например, регулятор в системе нагрев-охлаждение) вышеизложенное также применимо для управляющей переменной A. Вторым сигналом для управления охлаждением создается с помощью управляющей переменной B. На рис. 3-26 показано преобразование управляющей переменной в управляющие переменные A и B. Формирование двоичного выходного сигнала выполняется таким образом, что отношение длительности импульса к длительности периода соответствует управляющим переменным A или B на соответствующих дискретных выходах.

Назначение дискретных выходов каналам управления показаны в таблице 3-3.

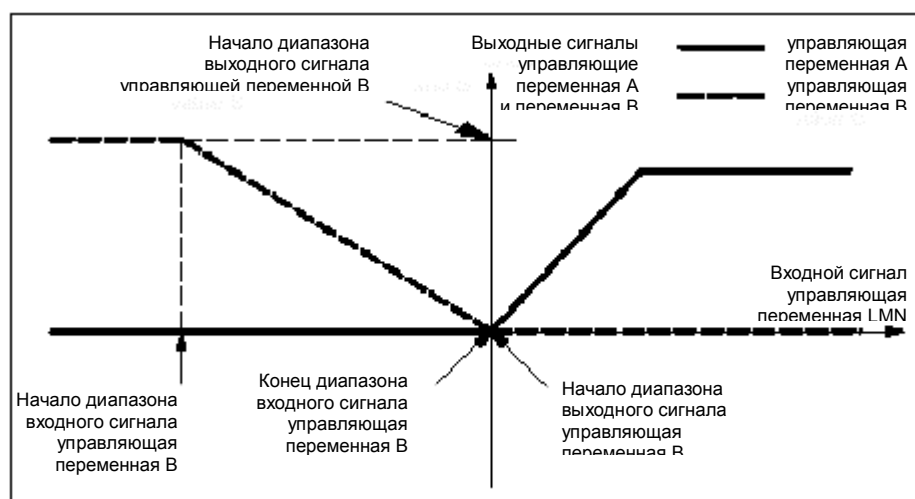


Рис. 3-26 Функция "split-range" ("разбивка диапазона") в регуляторе с трехуровневым выходом

## Выходной блок регулятора пошагового управления

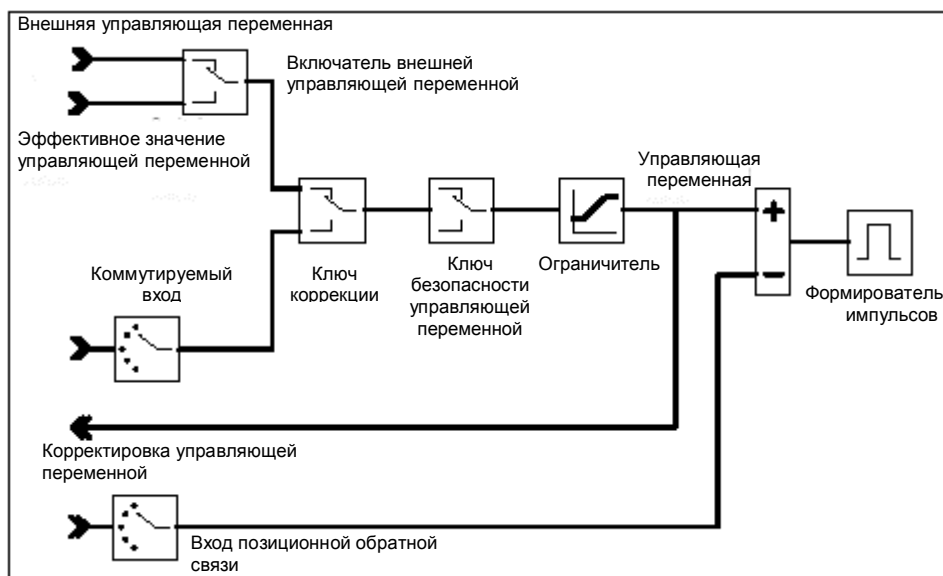


Рис. 3-27 Выходной блок регулятора пошагового управления (в режиме с позиционной ОС)

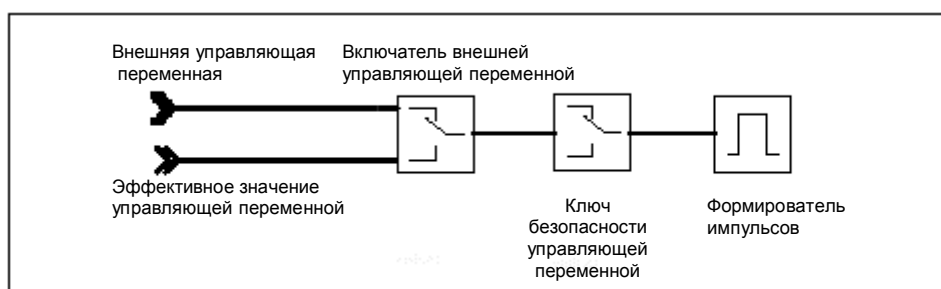


Рис. 3-28 Выход регулятора пошагового управления (режима без позиционной ОС)

При использовании регулятора пошагового управления без аналоговой позиционной ОС внешняя управляющая переменная и безопасное значение управляющей переменной выбираются следующим образом:

если определено значение в диапазоне 40.0%...60.0%, то двоичный выход не устанавливается и состояние привода остается без изменений;  
если определено значение  $> 60.0\%$ , то действует сигнал "Actuating signal high" ("Максимальный сигнал управления приводом") до тех пор, пока ОС выдает сигнал "Actuating device at upper stop" ("Датчик в состоянии "верхняя граница"");

В таблице 3-2 показаны функции выходного блока регулятора и возможные установки для него.



Таблица 3-2 Функции выходного блока регулятора и возможные установки для него

Функции выходного блока регулятора	Параметры настройки
Включатель внешней управляющей переменной	<p>По-другому переключение между внешней управляющей переменной и эффективной управляющей переменной может выполняться:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• либо двоичным значением из функционального блока</li> <li>• либо сигналом, который является результатом операции "ИЛИ" для двоичной величины из функционального блока и сигнала дискретного входа</li> </ul>
Коммутируемый вход	<p>Возможны 2 варианта установок:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вход имеет нулевое значение сигнала</li> <li>• Вход имеет уровень адаптированного аналогового сигнала от аналогового входа</li> </ul>
Вход позиционной обратной связи (только для регуляторов пошагового управления)	<p>Возможны 2 варианта установок:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вход позиционной ОС имеет нулевое значение сигнала</li> <li>• Вход позиционной ОС имеет уровень адаптированного аналогового сигнала от аналогового входа</li> </ul>
Ключ коррекции	<p>По-другому переключение между управляющей переменной и сигналом коммутируемого входа может выполняться:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Двоичным значением из функционального блока</li> <li>• Сигналом, который является результатом операции "ИЛИ" для двоичной величины из функционального блока и сигнала дискретного входа</li> </ul>
Ключ безопасности управляющей переменной	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Определение безопасного уровня управляющего сигнала</li> <li>• Варианты реакции блока FM 355 во время запуска <ul style="list-style-type: none"> <li>- FM 355 переключается в режим автоматического управления</li> <li>- на выходе - безопасное значение управляющей переменной</li> </ul> </li> <li>• Переход к безопасному значению управляющей переменной выполняется: <ul style="list-style-type: none"> <li>- либо двоичным значением из функционального блока;</li> <li>- либо сигналом, который является результатом операции "ИЛИ" для двоичной величины из функционального блока и сигнала дискретного входа.</li> </ul> </li> <li>• Реакция на сбой переменной процесса А на измерительном преобразователе на аналоговом входе: <ul style="list-style-type: none"> <li>- при установке "Closed-loop control" ("Автоматическое управление") рабочий режим регулятора остается неизменным;</li> <li>- при установке "Manipulated value = Safety manipulated value" ("Управляющая переменная = безопасному значению управляющей переменной") система переключает выходной сигнал на безопасное значение управляющей переменной</li> </ul> </li> <li>• Реакция на сбой измерительного преобразователя: <ul style="list-style-type: none"> <li>- при установке "Closed-loop control" ("Автоматическое управление") рабочий режим регулятора неизменным;</li> <li>- при установке "Manipulated value = Safety manipulated value" ("Управляющая переменная = безопасному значению управляющей переменной") система переключает выходной сигнал на безопасное значение управляющей переменной.</li> </ul> </li> </ul>

Таблица 3-2 Функции выходного блока регулятора и возможные установки для него (продолжение)

Управляющая переменная ограничивается	Ограничение сверху и снизу (нельзя отключить этот режим)
Формирование двух управляющих переменных в режиме "разбивка диапазона" ("split-range")	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ON/OFF (Вкл/Выкл) (только для регуляторов непрерывного управления)</li> <li>• Начальные и конечные значения входного сигнала</li> <li>• Начальные и конечные значения выходного сигнала</li> </ul>
Формирователь импульсов (Только для регуляторов пошагового управления)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Время включения мотора</li> <li>• Минимальное время импульса</li> <li>• Минимальное время паузы</li> </ul>

### 3.5 Выходы модуля FM 355

#### Аналоговые выходы модуля FM 355 C

Вы можете выполнить для каждого аналогового выхода FM 355 C следующие определения с помощью их конфигурирования:

- Выбор сигнала
- Тип сигнала

Выходы можно конфигурировать на экранах "Signal selection analog output" ("Выбор сигнала для аналогового выхода") и "Signal type analog output" ("Тип сигнала для аналогового выхода").

#### Выбор сигнала на аналоговых выходах

С помощью этой операции Вы можете определить, какие именно сигналы будут выведены на аналоговые выходы модуля:

- Значение 0
- Адаптированное аналоговое значение одного из четырех аналоговых выходов
- Управляющая переменная A одного из четырех каналов управления
- Управляющая переменная B одного из четырех каналов управления

#### Выбор типа сигнала на аналоговых выходах

С помощью этой операции Вы можете определить типы сигналов для каждого аналогового выхода модуля:

- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| • Токовый выход    | 0 ... 20 mA   |
| • Токовый выход    | 4 ... 20 mA   |
| • Выход напряжения | 0 ... 10 V    |
| • Выход напряжения | -10 ... +10 V |

### Дискретные выходы модуля FM 355 S

Дискретные выходы модуля FM 355 S используются для управления встроенными и внешними оконечными элементами управления.

Таблица 3-3 показывает назначение дискретных выходов для каналов управления и их значения.

Таблица 3-3. Назначение дискретных выходов для каналов управления и их значение

Канал управления	Дискретные выходы, назначенные каналу управления	Значение дискретных выходов регулятора импульсного управления	Назначение дискретных выходов импульсного регулятора
1	1	Открыт	Управляющая переменная А
	2	Закрыт	Управляющая переменная В
2	3	Открыт	Управляющая переменная А
	4	Закрыт	Управляющая переменная В
3	5	Открыт	Управляющая переменная А
	6	Закрыт	Управляющая переменная В
4	7	Открыт	Управляющая переменная А
	8	Закрыт	Управляющая переменная В

Открыт = открытый элемент управления приводом  
 Закрыт = закрытый элемент управления приводом

## 3.6 Режимы работы и управление данными в модуле FM 355

### Краткий обзор

В этом разделе описаны важнейшие механизмы режимов работы и принципы управления данными модуля FM 355.

Интерфейс конфигурации параметров программатора или ПК может использоваться для

- конфигурации
- оптимизации
- управления и мониторинга модуля FM 355

Функциональный блок (FB) PID\_FM, используемый в FM 355, может применяться для включения модуля в пользовательскую программу.

### Конфигурация параметров

FM 355 можно конфигурировать с помощью вышеуказанного интерфейса на экране программатора (PG) (см. главу 5). Все данные конфигурирования параметров сохраняются в SDB в программаторе.

#### Примечание:

Вы можете загружать параметры конфигурации в SDB с помощью интерактивной связи между PG и CPU в CPU и в модуль FM 355, только если CPU находится в STOP-режиме. Это можно сделать только с помощью HW Config. Интерфейс конфигурации параметров должен быть закрыт.

Параметры пересылаются из SDB (в CPU) в FM 355 во время каждого запуска и во время каждого переключения CPU из режима STOP в режим RUN.

### Загрузка параметров непосредственно в FM 355

Вы можете также загружать параметры с помощью интерфейса конфигурации параметров непосредственно в FM 355, так что Вы не должны закрывать интерфейс конфигурации параметров и переводить CPU в STOP-режим раз за разом во время тестирования Вашей конфигурации во время подбора установок. Помните, что загруженные параметры перезаписываются значениями из SDB из CPU, когда происходит запуск CPU, и когда CPU переходит из режима STOP в режим RUN. При вызове FB могут быть также перезаписаны параметры, загруженные из интерфейса конфигурации.

Загрузка в FM, следовательно, имеет смысл только при тестировании конфигурации во время отладки конфигурации.

Если Вы изменяли параметры с помощью интерфейса конфигурации параметров и затем непосредственно загрузили их в FM 355, то могут происходить скачки управляющей переменной. Мы рекомендуем следующую процедуру для сохранения управляемости этого сигнала:

1. Переключитесь в ручной режим.
2. Измените параметры.
3. Загрузите их непосредственно в модуль FM 355.
4. Переключитесь вновь в автоматический режим (напр., с помощью Loop Display).

### Поток данных при конфигурировании с помощью интерфейса конфигурации параметров

На рис. 3-29 показан путь движения данных конфигурации от интерфейса конфигурации параметров к FM 355.

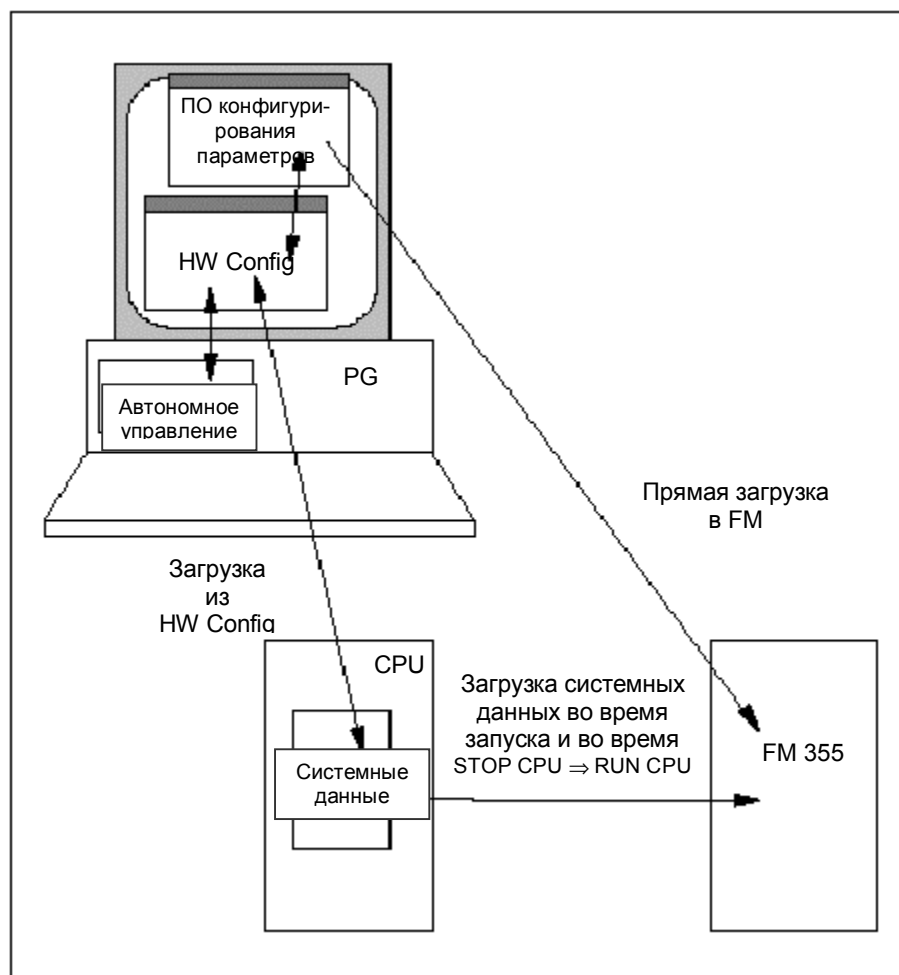


Рис. 3-29 Конфигурирование FM 355 из CPU с помощью программатора.

### Включение FM 355 в программу пользователя

Если Вам необходимо изменить параметры управления (такие например, как усиление канала управления) для блока FM 355 из пользовательской программы или с помощью команды из программатора, Вы должны использовать функциональный блок FB PID\_FM. Назначьте экземпляр DB для данного блока FB для каждого используемого канала управления (см. главы 7 и 11). Если параметр LOAD\_PAR установлен, в то время как FB PID\_FM вызывается программой пользователя, все параметры управления FB переносятся в FM 355. Параметры управления – это все параметры, которые находятся в используемом блоке данных привязки после переменной cont\_par.

Параметры, которые находятся в BD привязки, имеют заранее заданные установки. Эти заранее заданные установки могут быть изменены с помощью редактора STL/LAD Editor.

#### Примечание:

Вы должны сначала вызвать FB PID\_FM один раз с помощью COM\_RST = TRUE при запуске CPU так, чтобы параметры, которые Вы не хотите изменять, не были заменены заранее заданными значениями из экземпляра DB. Тогда FB PID\_FM читает из FM 355 параметры, которые были перенесены из CPU в FM заранее, и сохраняет их в его экземпляре DB. После этого Вы можете изменить отдельные параметры и перевести все параметры в FM 355 с помощью LOAD\_PAR = TRUE.

Пожалуйста, примите во внимание, что параметры в FM 355 заменяются значениями из системных данных всякий раз, когда запускается CPU (переходит из режима STOP в режим RUN).

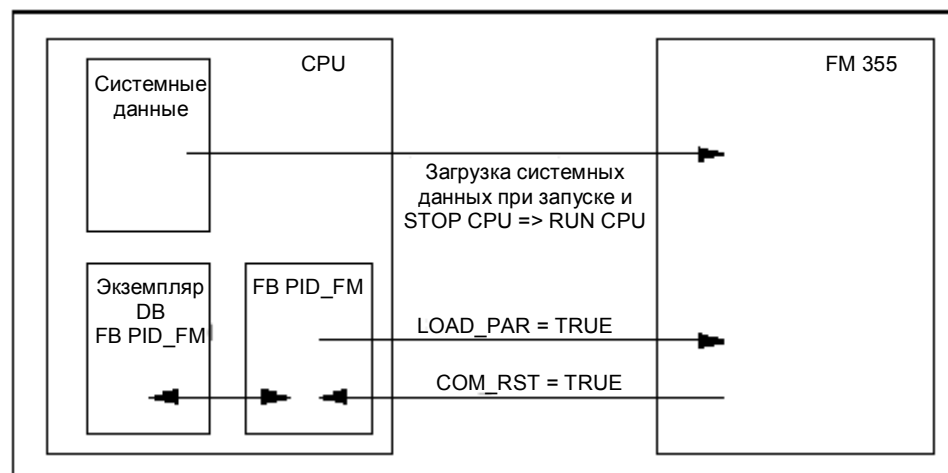


Рис. 3-30 Конфигурация FM 355 с помощью системных данных и FB PID\_FM

Рабочие параметры (например, величина уставки, управляющая переменная "ручн.") FM 355 циклически передаются из FB PID\_FM в FM 355.

Рабочие параметры – это все параметры, находящиеся в экземпляре DB между переменными `op_rag` и `cont_rag`. Чтобы передавать данные без больших потерь времени процессора, передача обычно производится с использованием прямого доступа, а не с помощью SFC WR\_REC. Данные мультиплексируются, так как только четыре байта на канал доступны в области адреса ввода/вывода модуля. Следовательно, передача может занимать до трех циклов CPU или FM 355 пока рабочие параметры не будут перемещены в FM 355, при этом самый длинный цикл - определяющий.

Если Вы установили параметр `LOAD_OP = TRUE`, то тогда рабочие параметры передаются в модуль за один программный цикл с помощью SFC WR\_REC. Тем не менее, в этом случае требуется большее рабочее время (см. технические условия).

Параметры процесса (например, переменная процесса, управляющая переменная) могут также быть считаны FB\_PID\_FM с использованием прямого доступа (I/O). Такая передача не требует много времени, тем не менее имеются следующие функциональные ограничения. Если установлен параметр `READ_VAR = TRUE`, то переменные процесса читаются из FM 355 посредством SFC RD\_REC. Однако, это требует большего количества времени выполнения (см. технические условия).

Функциональные ограничения для случая, когда параметр `READ_VAR` не установлен:

- Переменные SP (заданная переменная из FM), ER (сигнал ошибки), DISV (переменная помехи), LMN\_A и LMN\_B (см. главу "Назначения блоков данных привязки") не модифицированы.
- Данные мультиплексируются. Переменная процесса, управляющая переменная и двоичные отображения не модифицируются до окончания четырех вызовов блока.
- Если заданное значение и управляющая переменная "ручн." были обработаны с помощью регулятора непрерывного действия, во время запуска CPU FB эти рабочие параметры не модифицирует (считывание из FM).

### **Управление оператора и текущий контроль FM 355 с помощью ОП посредством FB PID\_FM**

Управление оператора и текущий контроль FM 355 возможны с помощью ОП посредством FB PID\_FM.

Если один из следующих параметров "Operating setpoint value SP\_OP" ("заданное оператором значение"), "Operating manipulated variable LMN\_OP" ("управляющая переменная оператора") и соответствующие положения переключателей "SP\_OP\_ON" и "LMNOP\_ON" были изменены с панелей оператора ОП, то FB PID\_FM принимает эти значения из FM после того, как CPU запускается, при условии, что установлен параметр `READ_VAR = TRUE`.

### **Управление оператора и текущий контроль FM 355 с помощью ОП посредством MPI**

К одному FM 355 можно подключить до трех панелей оператора ОП.

Управление оператора FM 355 с помощью панелей ОП возможно только в режиме CPU "STOP" или в случае сбоя в работе CPU.



Текущий контроль FM 355 с помощью панелей оператора ОП возможен в любой момент.

Интерфейс переменных модуля FM 355 содержит четыре блока данных с номерами от 101 до 104 для каналов управления с номерами от 1 до 4 (см. рис. 3-31). Эти блоки данных описаны в разделе 11.8 “Назначение блоков данных DB для управления оператора и текущего контроля посредством панелей оператора ОП”.

**Примечание**

В содержании блоков данных 101...104 автоматически не отражаются значения параметров, эффективные для FM 355.

Параметры, измененные с помощью ОП, передаются в FM 355 только после того, как будут установлены биты режима LOAD\_PAR или LOAD\_OP.

Если используется панель управления ОП для изменения параметра без установки соответствующих битов режима, модифицированное значение параметра будет существовать в блоке данных, но FM 355 продолжит использовать значение параметра, которое было до его изменения.

Только после того, как будут установлены биты режима LOAD\_PAR или LOAD\_OP и параметры будут пересланы в FM 355, биты режима вновь окажутся сброшенными в модуле FM 355.

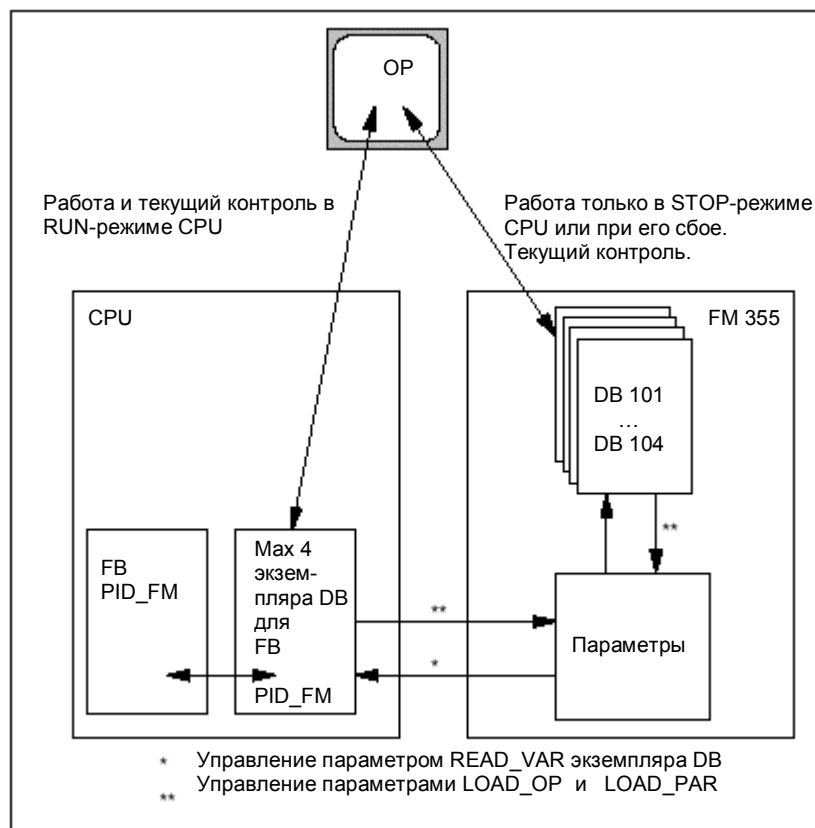


Рис. 3-31 Управление оператора и текущий контроль FM 355

### 3.7 Свойства модуля FM 355

#### Краткий обзор

В данном разделе рассматриваются:

- Последовательность процесса обработки и время опроса
- Выполнение операций
- Характеристики запуска
- Операции резервирования
- Модификация микропрограммы

#### Последовательность процесса обработки

FM 355 работает с аналоговыми входами и каналами управления, соблюдая определенную последовательность. Каждый канал управления обрабатывается непосредственно после аналогового входа с таким же, как у канала номером, и в котором входной сигнал был обработан и приведен в соответствие с требованиями для дальнейшей обработки в модуле. Затем выполняется обработка сигнала в аналоговом входном блоке со следующим порядковым номером (и так вплоть до номера 4), после чего обрабатывается 4-й канал управления. Затем выполняется переход по ссылке. На рис. 3-32 показана последовательность обработки в FM 355.

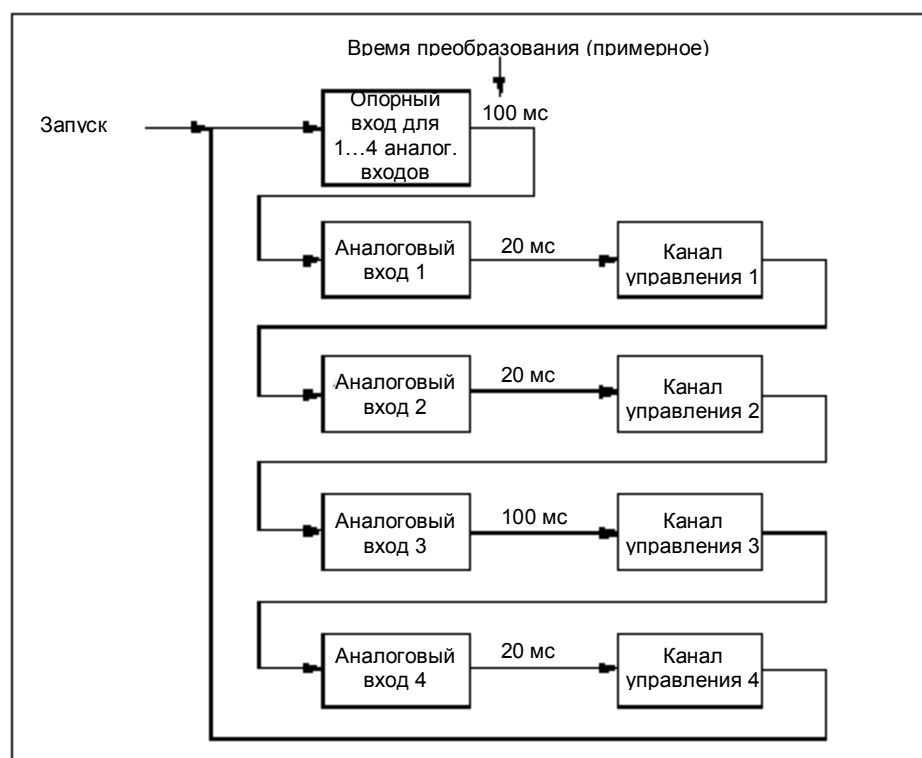


Рис. 3-32 Последовательность обработки данных в FM 355.

## Время опроса

Общее время опроса всех каналов управления FM 355 получается при суммировании всех значений времени преобразования для отдельных аналоговых входов. Время преобразования для опорного входа, если таковой используется, также добавляется к этой сумме.

Время преобразования аналогового входа зависит от разрешения, частоты сети электропитания и типа используемого регулятора (см. табл. 3-4):

Таблица 3-4 Время преобразования аналоговых входов

Разрешение	Частота питающей сети	Тип регулятора	Время преобразования аналогового входа
12 битов	60 Гц	Не для терморегулирования	16 и 2/3 мс
12 битов	50 Гц	Не для терморегулирования	20 мс
14 битов	50 или 60 Гц	Не для терморегулирования	100 мс
12 или 14 битов	50 или 60 Гц	Для терморегулирования	100 мс

Если аналоговый вход не обрабатывается, то канал управления с таким же порядковым номером также не обрабатывается (время обработки = 0).

Никакое дополнительное время преобразования не учитывается для аналоговых выводов. Выходные аналоговые сигналы выводятся на аналоговые выходы модуля FM 355 немедленно после вычисления соответствующего начального значения.

В таблице 3-5 показано, как формируется значение времени преобразования

Если ...	... то
12-битовое разрешение было выбрано для всех аналоговых входов	Опорный вход требует такого же времени преобразования, как и аналоговый вход
Наивысшее 14-битовое разрешение выбрано только для одного аналогового входа.	Опорный вход требует значения для времени преобразования, равного 100 мс
Один из регуляторов был сконфигурирован как регулятор терморегулирования	

Время опроса показано в интерфейсе конфигурации параметра в меню:  
**Tools (Сервис) > Module Parameters (Параметры модуля).**

В примере (Рис. 3-32) для каждого регулятора (при частоте питающей сети 50 Гц) получается следующее время опроса:

$$t_{\text{sampling}} = 100 \text{ мс} + 20 \text{ мс} + 20 \text{ мс} + 100 \text{ мс} + 20 \text{ мс} = 260 \text{ мс}$$

На рис. 3-33 показан пример последовательности обработки данных в модуле для случая, когда задействовано только три аналоговых входа.

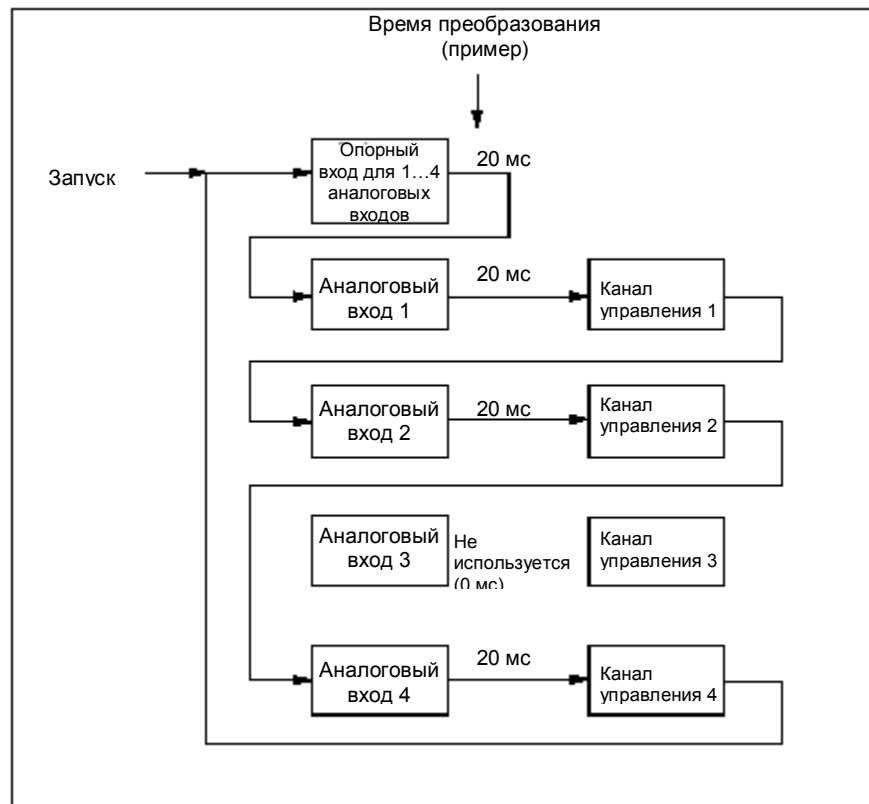


Рис. 3-33 Пример последовательности обработки данных в FM 355 для случая, когда задействовано только три аналоговых входа.

В примере (Рис. 3-33) для каждого регулятора (при частоте питающей сети 50 Гц) получается следующее время опроса:

$$t_{\text{sampling}} = 20 \text{ мс} + 20 \text{ мс} + 20 \text{ мс} + 0 \text{ мс} + 20 \text{ мс} = 80 \text{ мс}$$

## Принципы функционирования FM 355

Для обобщения материала, посвященного работе FM 355, предлагаются следующие пункты:

- Регуляторы модуля можно как угодно размещать в каскадных схемах. Это значит, что Вы можете использовать управляющую переменную канала управления в качестве заданного сигнала для другого канала управления.
- Обработка канала управления выполняется немедленно после окончания процесса адаптации входного аналогового сигнала (при этом имеется в виду, что порядковые номера канала и блока сопряжения одинаковы).

Если регулятор имеет несколько аналоговых входов, Вы должны будете выбрать канал управления, номер которого соответствует наибольшему из номеров этих аналоговых входов, для уменьшения времени нечувствительности.

**Пример:** Регулятор запрашивает сигналы от аналоговых входов 1, 2 и 3. Наименьшее время нечувствительности будет при использовании регулятора №3.

- Если Вы выбираете установку для аналогового входа "Analog input is not processed" ("Аналоговый вход не задействован"), то канал управления с номером как у аналогового входа также не будет обрабатываться. Время опроса для данного канала управления будет равно 0.
- Если используется опорный вход, то он требует такого же времени преобразования, как и аналоговый вход с наивысшим временем преобразования.
- Параметр регулятора "время опроса" равен сумме всех параметров "время преобразования" используемых аналоговых каналов плюс "время преобразования" опорного входа.

## Характеристики запуска

Во время запуска FM 355 сначала считывает текущие параметры из Вашего EEPROM и управляет системой, учитывая полученные параметры. Этим параметрам процессором будут присвоены новые значения, полученные из системных данных, как только связь по Р – шине между процессором и модулем будет установлена. Если системные данные не содержат каких-либо параметров для регулятора, модуль будет продолжать управлять в соответствии с параметрами, содержащимися в EEPROM. Модуль FM 355 не будет знать об изменении заданных параметров.

Для **управляющей переменной** существуют следующие настройки конфигурации, которые включаются при перезапуске после сбоя источника питания:

- Регулятор запускается с безопасным значением управляющей переменной.  
Такие установки имеют силу до тех пор, пока они не отменены программой пользователя с помощью функционального блока.
- Регулятор переключается в режим автоматического регулирования.

Для **заданного значения** существуют следующие настройки конфигурации, которые включаются при перезапуске после сбоя источника питания:

- После перезапуска остается действующим предаварийное значение заданной переменной.
- Система переключается на безопасное значение заданной переменной.

Это переключение имеет силу только до тех пор, пока значение заданной переменной определено программой пользователя с помощью функционального блока. Иначе, заданное

значение определяется на аналоговом входе или выходе регулятора в соответствии с конфигурацией.

### Характеристики запуска в S7-300 и собственный источник питания модуля FM 355

Если FM 355 имеет собственный источник питания 24 В, независимый от CPU системы S7-300, связь CPU и FM 355 будет разрываться при сбое, при этом модуль переключится на питание от собственного источника 24 В. Последнее выражается в следующем:

- В FB\_PID\_FM выходной параметр RET\_VALU содержит значение ошибки.
- CPU не переключается в RUN-режим из-за ошибки в конфигурации.

Чтобы переустановить связь между CPU и FM 355, выполните следующее:

CPU или другие модули	Номер	Процедура
313	6ES7 313-1AD00-0AB0	Выключите питание CPU и затем включите вновь.
314	6ES7 314-1AE00-0AB0 6ES7 314-1AE01-0AB0	
314 IFM	6ES7 314-5AE00-0AB0	
315	6ES7 315-1AF00-0AB0	
315-2 DP	6ES7 315-2AF00-0AB0	
614	6ES7 614-1AH00-0AB0	
C7-623	6ES7 623-1AE00-0AE3 6ES7 623-1CE00-0AE3	
C7-624	6ES7 624-1AE00-0AE3 6ES7 624-1CE00-0AE3	
C7-626	6ES7 626-1AG00-0AE3 6ES7 626-2AG00-0AE3 6ES7 626-1CG00-0AE3 6ES7 626-2CG00-0AE3	

Для CPU выполните следующие действия:

CPU	Номер	Процедура
313	6ES7 313-1AD01-0AB0	Переключите CPU в STOP-режим, затем включите вновь RUN-режим.
314	6ES7 314-1AE02-0AB0	
314 IFM	6ES7 314-5AE01-0AB0	
315	6ES7 315-1AF01-0AB0	
315-2 DP	6ES7 315-2AF01-0AB0	
614	6ES7 614-1AH01-0AB0	

На работу FM 355 по управлению процессами не влияют сбои в его сетевом окружении. В зависимости от конфигурации регуляторы модуля FM 355 запускаются в одном из следующих режимов работы:

- Режим автоматического регулирования
  - Управление с установленным безопасным заданным значением параметра
  - Управление с последним заданным значением параметра
- Управляющая переменная = безопасное значение управляющей переменной

### **Работа в защищенном режиме**

Если CPU перешел в STOP-режим или отказал или разорвалась связь между FM 355 и CPU, тогда модуль FM 355 переходит в защищенный режим и продолжает управлять процессом, используя значения параметров, которые были в момент отказа. Модуль FM 355 использует или последнее значение уставки или безопасное ее значение, в зависимости от конфигурации.

Этот режим индицируется желтым светодиодом "Backup" ("Защищенный режим").

При работе в защищенном режиме FM 355 может управляться непосредственно с панели оператора OP. Как только CPU возвращается в RUN-режим, модуль перестает управляться с панели оператора OP (см. раздел 3.6).

### **Модификация микропрограммы**

Чтобы расширить функции и устранить отказы, возможно изменение микропрограммы в памяти операционной системы модуля FM 355. Как это сделать, описано в контекстной справке в интерфейсе конфигурации параметров.



### 3.8 Оптимизация параметров процессора терморегулирования

#### Требования к процессу при терморегулировании

Если регулируемый процесс отвечает нижеизложенным требованиям, то управление с помощью регулятора для терморегулирования может быть оптимальным.

- В случае нагревания ванны с жидкостью, последняя должна хорошо перемешиваться.
- В случае нагревания в системе "ванна к ванне" жидкости в обеих ваннах также должны хорошо перемешиваться. В то же время должна обеспечиваться хорошая передача тепла всеми теплоносителями. В случае использования материалов с плохими теплопроводящими характеристиками нужно увеличивать поверхность соприкосновения с теплоносителем для улучшения теплопередачи.
- В случае системы кондиционирования воздуха должно быть обеспечено перемешивание воздуха (например, вентиляторами).
- Коэффициент усиления для процесса (Gain) не должен превышать значения 3.
- Время нечувствительности не должно превышать 3 % от времени задержки.
- Контролируемая температура не должна изменяться быстрее, чем на 1  $^{\circ}\text{C}$  от значения максимальной температуры во время опроса регулятора при максимальном значении управляющей переменной на выходе.

#### Классификация процессов

Процесс всегда характеризуется такими параметрами, как теплота сгорания, тепловая масса или теплоемкость нагреваемой среды. В отношении регулятора для терморегулирования "критические" и "некритические" тепловые процессы различаются следующим образом: система управления становится более критической:

- при высоких значениях теплоты сгорания;
- при высоких значениях теплоемкости нагревателя;
- при низких значениях теплоемкости нагреваемой среды;
- при высоких значениях теплового сопротивления системы теплопередачи;
- при малой площади теплового контакта нагревателя и среды.

После того, как появилось "управляющее воздействие" на процесс, он реагирует в соответствии с переходной характеристикой. Процессы можно также классифицировать в соответствии с их переходными характеристиками: Система терморегулирования становится более критичной при высоких значениях коэффициента  $t_u/t_a$  и при высоких значениях коэффициента усиления GAIN. Если  $t_u/t_a < 0,1$ , то процесс не является критическим (см. рис. 3-34).

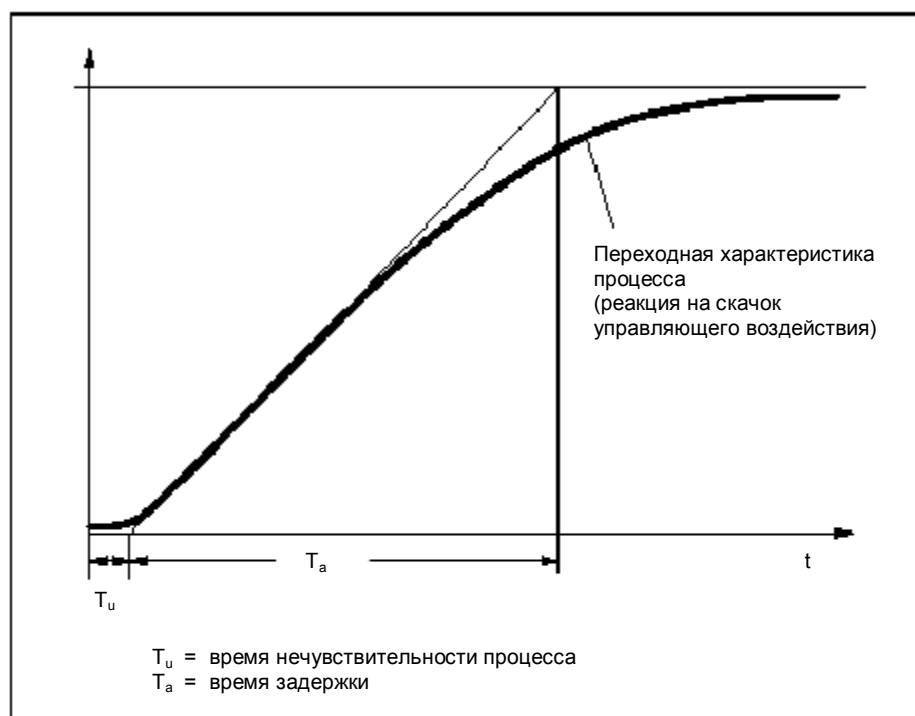


Рис. 3-34 Переходная характеристика процесса

### Оптимизация параметров регулятора для терморегулирования

Оптимизация параметров основывается на свойствах саморегулирующегося "fuzzy"-регулятора.

Чтобы регулятор для терморегулирования функционировал оптимальным образом, необходимо сначала оценить процесс (произвести его идентификацию). Для этого активизируют процесс идентификации, установив параметр FUZID\_ON = 1 в экземпляре DB функционального блока PID\_FM и величину шага изменения заданного значения не менее 12%.

Идентификация процесса начинается с фазы мониторинга без тепловыделения. Продолжительность фазы мониторинга составляет:

- для регулятора непрерывного управления: ~ 1 мин
- для регулятора пошагового управления: ~ 1 мин + 0,5 \* (Время срабатывания)

Этот период используется для установления трендов температуры в нагреваемой среде. Затем включается нагрев с максимально большим тепловыделением (100%). Здесь определяется выходной параметр LMN в экземпляре DB функционального блока PID\_FM.

Для идентификации используется область первых 4% температурного диапазона вверх от заданного значения (уставки), тем самым будет получена информация о поведении процесса на временном промежутке при возрастании температуры от 1% до 4%.

Процесс идентификации завершается, когда тепловыделение падает ниже 100%. Такое поведение может использоваться, например, для выключения процесса идентификации процесса с помощью программы пользователя. После фазы идентификации регулятор продолжает работать с определенными параметрами.

При каждом последующем приращении величины уставки на 12 % идентификация процесса выполняется вновь, пока не будет выключена посредством установки параметра FUZID\_ON = FALSE.

Если шаг приращения уставки неправилен и тепловыделение постоянно держится на нуле, значит идентификация завершена безуспешно и регулятор не может управлять процессом.

### Предпосылки для идентификации

Насколько это возможно, Вы должны обеспечить, чтобы процесс был устойчивым перед началом идентификации (нет нагрева или охлаждения) или температура должна изменяться достаточно медленно и монотонно. Критерием здесь может быть такой процесс, когда изменение температуры аппроксимируется прямой линией в течение периода в одну минуту. В случае более быстро меняющихся процессов это требование особенно важно.

Так как регулятор выводит управляющую переменную "нуль" для приблизительно одной минуты в начале идентификации, температура объекта (среды), которой нужно управлять, должна быть близкой к температуре окружающей среды.

### Как запустить процесс идентификации

Чтобы начать процесс идентификации, Вы должны сначала перевести регулятор в режим идентификации. Это достигается установкой бита FUZID\_ON в экземпляре DB функционального блока FB PID\_FM или из программы пользователя, или с помощью утилиты конфигурирования параметра:

#### Вызов: **Debug (Отладка) > Controller Optimization (Оптимизация управления)**

Идентификация начинается с положительного приращения значения уставки, с помощью чего могут быть достигнуты следующие условия:

- условие 1: Минимальный размер приращения (шага) для уставки (Setpoint value): не менее 5°;
- условие 2: После приращения значения уставки (Setpoint value):

(Величина уставки)<sub>после</sub> > (Переменная процесса) + (Граничная величина уставки) \* 0,12  
где "Граничная величина уставки" = верхняя граница для величины уставки регулятора.

Также процесс идентификации запустится, если сначала уменьшить, а затем вновь увеличить значение уставки. При этом значение уставки после увеличения должна отвечать условию 2.

### Завершение процесса идентификации

Пока бит FUZID\_ON = TRUE, следующая идентификация будет начинаться всякий раз, когда значение уставки получит достаточно большое приращение. По этой причине мы рекомендуем деактивировать режим оптимизации (FUZID\_ON = FALSE) немедленно после завершения идентификации.

Информация относительно состояния идентификации может быть получена при использовании параметра IDSTATUS из FB CH\_DIAG (см. стр. 3-53).

### Прерывание выполнения процесса идентификации

Идентификация может быть прервана:

- регулятором, если при идентификации выявлен "критический" процесс. После прерывания выполнения процесса идентификации регулятор переходит в состояние отказа. Это состояние выявляется по тому факту, что управляющая переменная постоянно задерживается регулятором. И это его поведение не изменяется даже после деактивации оптимизации. Когда запускается новый процесс идентификации, состояние отказа регулятора снимается.

Информация относительно состояния идентификации может быть получена при использовании параметра IDSTATUS из FB CH\_DIAG (см. стр. 3-53).

- оператором, задающим отрицательное приращение для значения уставки; приращение должно лежать ниже требований условия 2 (см. выше, "Как запустить процесс идентификации").

#### Примечание

Выключение режима оптимизации (FUZID\_ON = 0) до завершения процесса идентификации этот процесс не останавливает. Начавшийся процесс идентификации продолжает выполняться, если приращение значения уставки неотрицательно.

Если процесс "некритический", то для управления таким процессом не существует проблем ни в фазе идентификации, ни в системе управления.

Идентификация процесса, который оказывается "слишком критическим", прерывается. Управление идентификацией процесса, который оказывается "критическим" (без дополнения "слишком"), выполняется медленно, "осторожно".

## Информация о состоянии регулятора

Параметр IDSTATUS функционального блока FB CH\_DIAG обеспечивает информацию о состоянии идентификации.

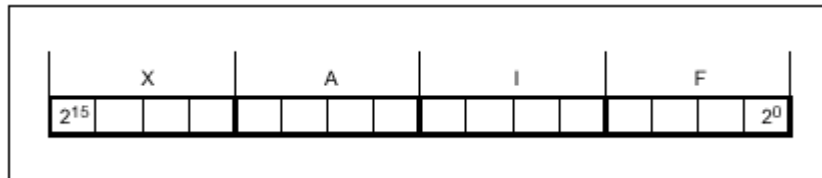


Рис. 3-35 Параметр IDSTATUS функционального блока FB CH\_DIAG

Параметр IDSTATUS содержит четыре шестнадцатеричных значения X, A, I и F. Их значения следующие:

X: Без значения (всегда 0)

A: Номер действия:

- 0 = Ручной режим (или "неавтоматическое" регулирование);
- 2 = Автоматическое регулирование;
- 4 = Оптимизация запущена (FUZID\_ON = TRUE);
- 6 = Переходное состояние от ручного режима к режимам 2 или 4;

I: "Идентификация запущена" или "Параметры определены, но еще не сохранены в EEPROM"

- 0 = Идентификация не запущена, но никакие новые параметры не определены
- 1 = Идентификация запущена, но никакие новые параметры не определены
- 2 = Идентификация не запущена, новые параметры определены, но не сохранены в EEPROM
- 3 = Идентификация запущена, новые параметры определены, но не сохранены в EEPROM

F: Номер ошибки:

- 0 = Нет ошибок.
- 4 = Шаг изменений переменной процесса во время идентификации слишком велик.
- 5 = Отношение времени нечувствительности к постоянной времени системы слишком велико или высока нелинейность изменения температуры в процессе.
- 6 = Колебания температуры слишком велики на начальном этапе идентификации. Процесс недостаточно стабилен.

