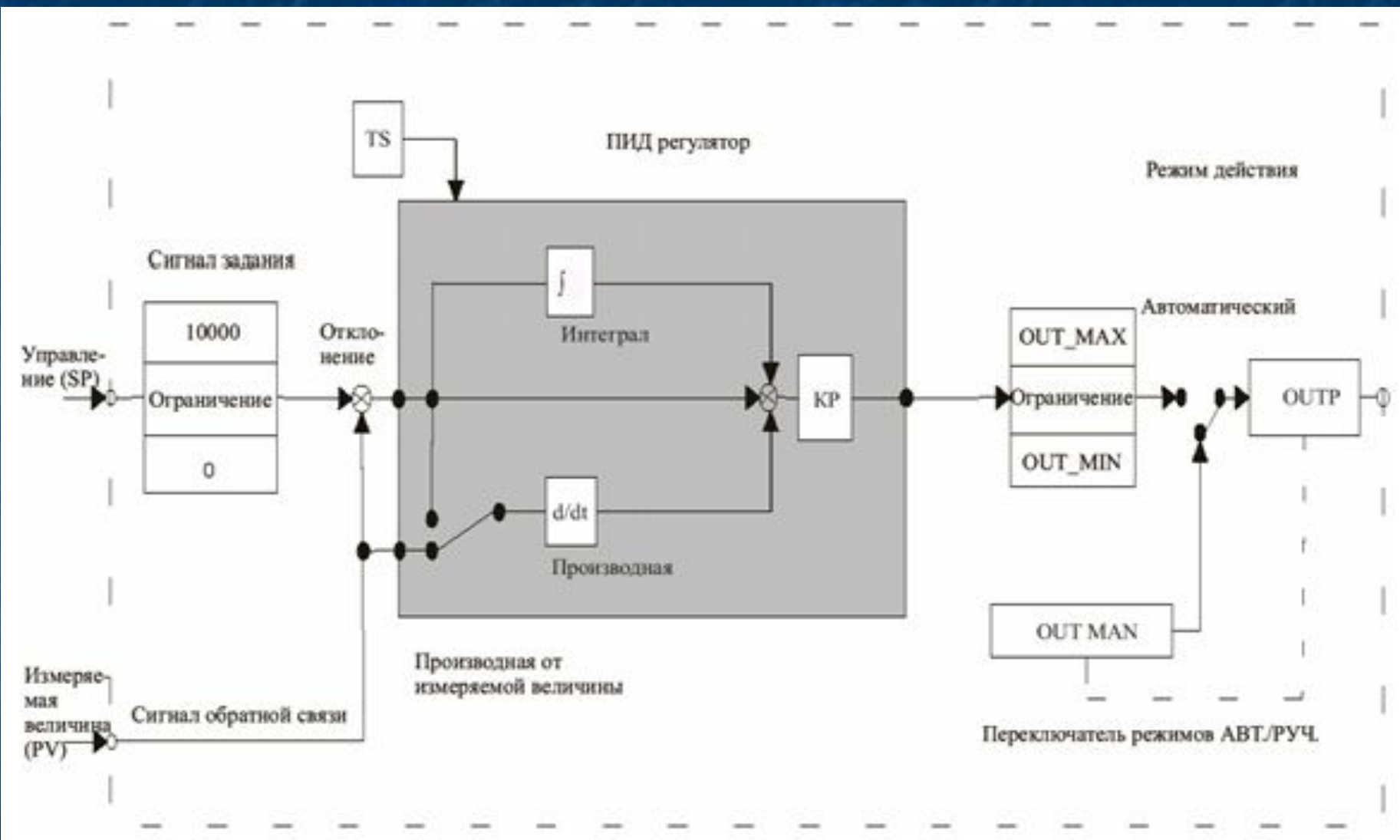


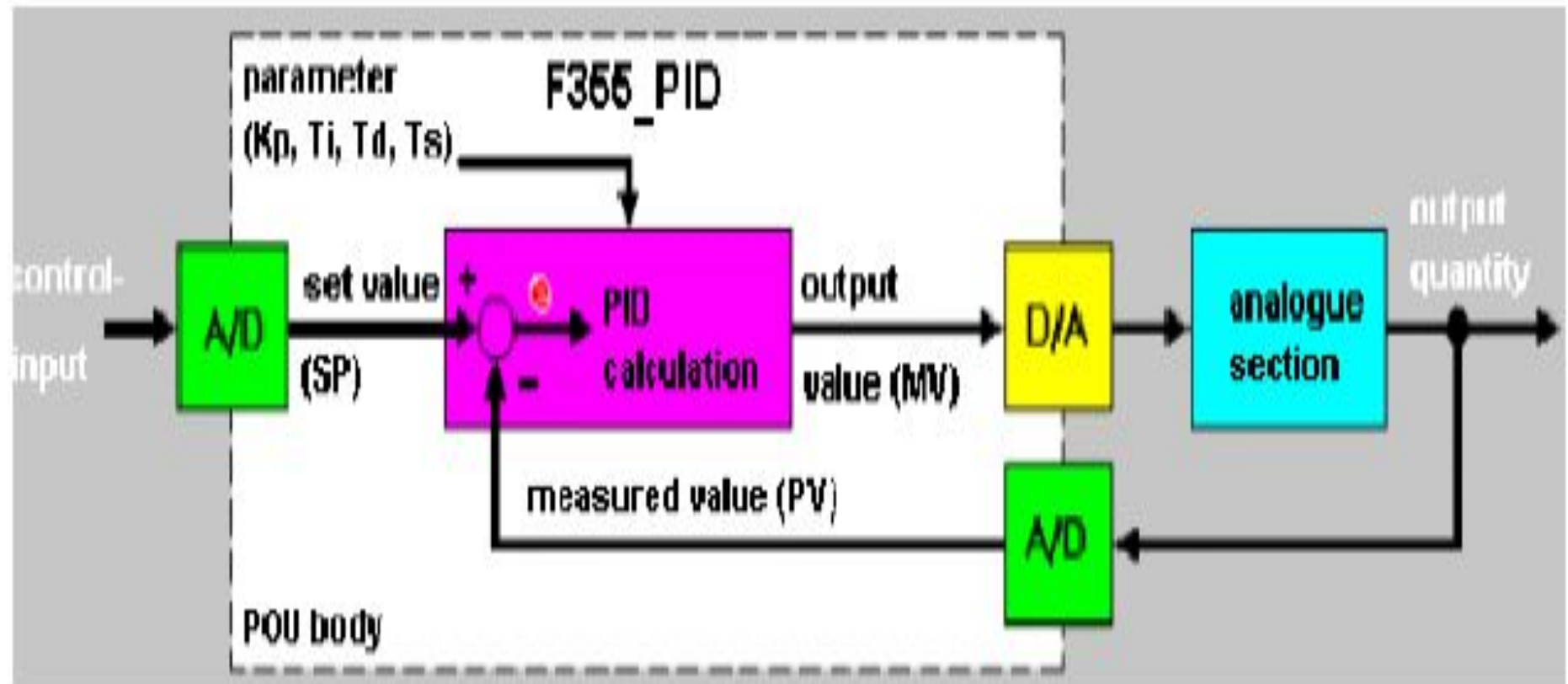
Специальные функции PLC

PID - регулятор



Регулятор в системе управления

Стандартная структура контура управления по ПИД-закону.



Расчёт управляющего воздействия (1)

Выражения для вычисления выхода регулятора MV

Следующие выражения используются для вычисления выхода регулятора MV при следующих условиях:

В целом:

Выходная величина в такте n вычисляется из предыдущей выходной величины ($n-1$) и изменения выходной величины на этом интервале времени.

$$MV_n = MV_{n-1} + \Delta MV$$

Обратная операция PI-D

$$\Delta MV = K_p \cdot [(e_n - e_{n-1}) + e_n \cdot T_s/T_i + \Delta D_n]$$

$$e_n = SP_n - PV_n$$

$$\Delta D_n = (\eta\beta - 1)D_{n-1} + \beta(PV_{n-1} - PV_n)$$

$$\eta = 1/8 \text{ (constant)}$$

$$\beta = T_d/(T_s + \eta T_d)$$

Расчет управляющего воздействия (2) (продолжение)

Прямая операция PI-D

$$\Delta MV = K_p \cdot [(e_n - e_{n-1}) + e_n \cdot T_s/T_i + \Delta D_n]$$

$$e_n = PV_n - SP_n$$

$$\Delta D_n = (\eta\beta - 1)D_{n-1} + \beta(PV_n - PV_{n-1})$$

$$\eta = 1/8 \text{ (constant)}$$

$$\beta = T_d/(T_s + \eta T_d)$$

Обратная операция I-PD

$$\Delta MV = K_p \cdot [(PV_{n-1} - PV_n) + e_n \cdot T_s/T_i + \Delta D_n]$$

$$e_n = SP_n - PV_n$$

$$\Delta D_n = (\eta\beta - 1)D_{n-1} + \beta(PV_{n-1} - PV_n)$$

$$\eta = 1/8 \text{ (constant)}$$

$$\beta = T_d/(T_s + \eta T_d)$$

Прямая операция I-PD

$$\Delta MV = K_p \cdot [(PV_n - PV_{n-1}) + e_n \cdot T_s/T_i + \Delta D_n]$$

$$e_n = PV_n - SP_n$$

$$\Delta D_n = (\eta\beta - 1)D_{n-1} + \beta(PV_n - PV_{n-1})$$

$$\eta = 1/8 \text{ (constant)}$$

$$\beta = T_d/(T_s + \eta T_d)$$

Формула ПИД-закона состоит из трех компонент:

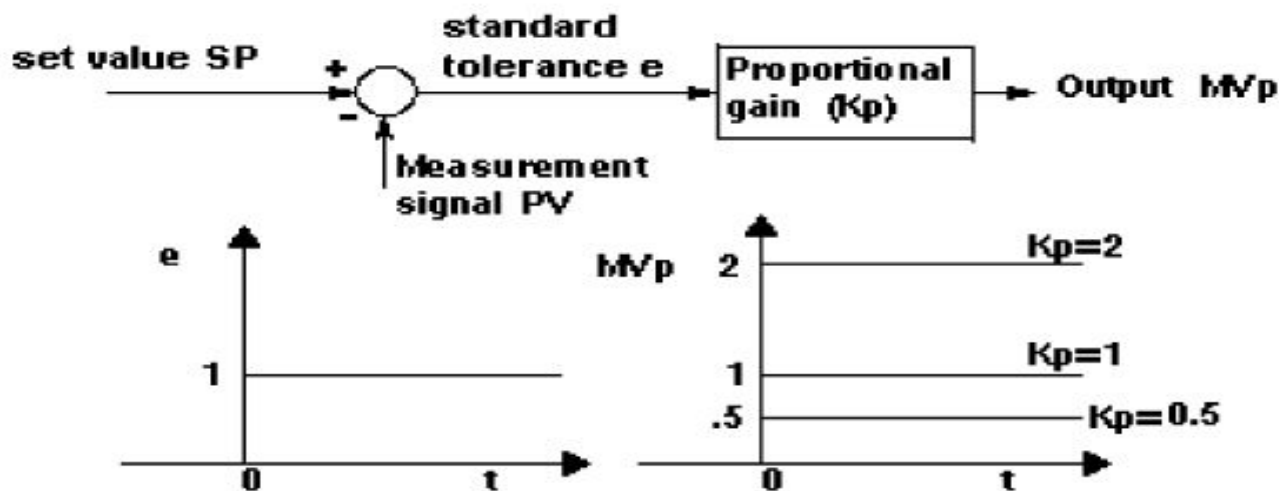
Пропорциональная составляющая регулятора

1. Пропорциональной составляющей (P составляющая)

Пропорциональная составляющая формирует выходной сигнал, пропорциональный входному. Пропорциональная составляющая K_p определяет, на сколько уменьшать или увеличивать значение входа.

Пример:

Пропорциональная составляющая может быть простым резистором или линейным усилителем, например.

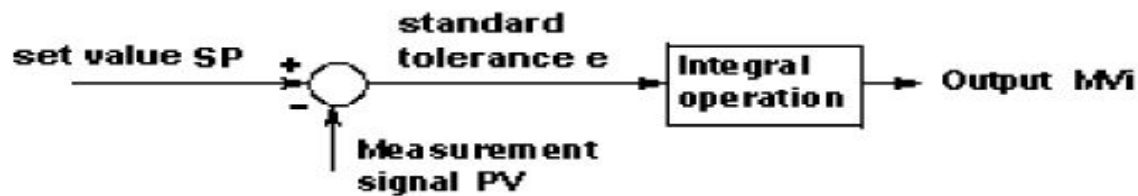


Использование только P-составляющей дает относительно большое перерегулирование, большое время настройки и постоянную стандартную ошибку регулирования.

Интегральная составляющая регулятора

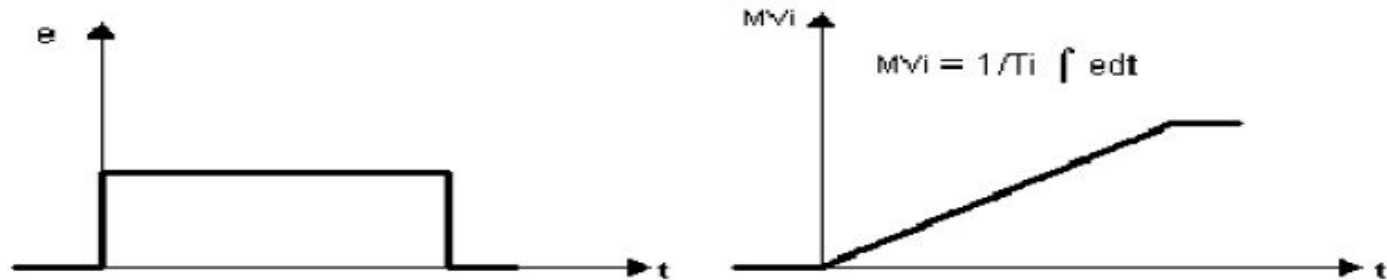
2. Интегральная составляющая (I-составляющая)

Интегральная составляющая вычисляет выходную величину как интеграл от изменения входной величины. Время интегрирования определяет изменение выходной величины MVi . Интегральная составляющая может быть представлена вычислением количества жидкости, заполняющей объем. Из-за большой инерционности использование только интегральной составляющей дает большую величину перерегулирования, чем P-составляющая, но не имеет ошибки регулирования.



Пример:

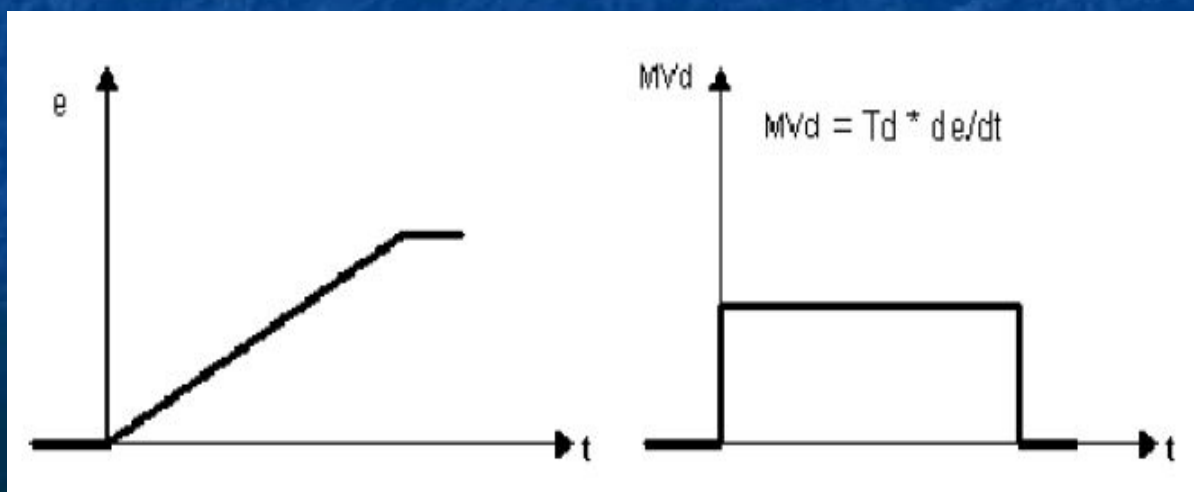
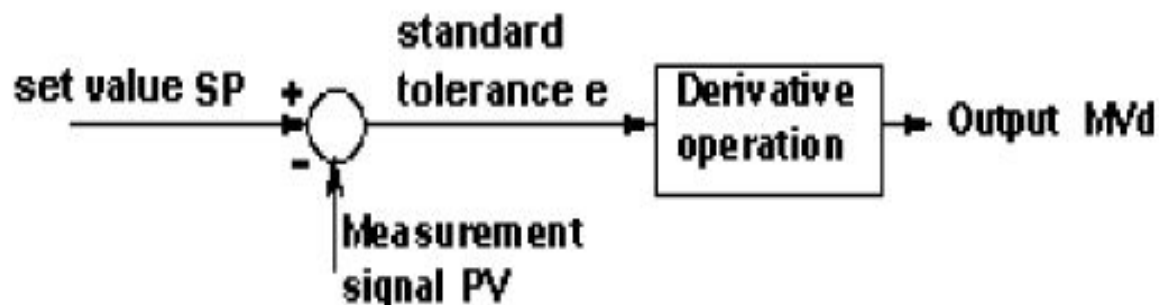
Изменение входа e и выхода MVi .



Дифференциальная составляющая регулятора

3. Дифференциальная составляющая (D-составляющая)

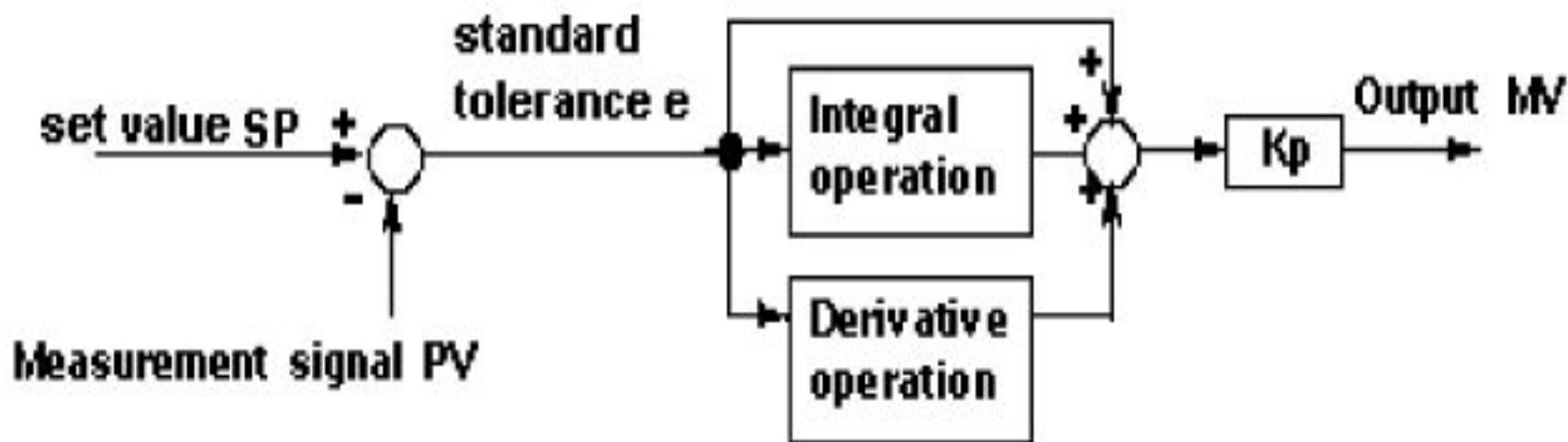
Дифференциальная составляющая вычисляет выходную величину как дифференциал по времени от входной величины.



PID - регулирование

4. ПИД-регулятор

ПИД-регулятор является комбинацией P-составляющей, I-составляющей и D-составляющей. Когда параметры K_p , T_i и T_d имеют оптимальные настройки, то ПИД-регулятор может быстро регулировать и поддерживать заданное значение.



Встроенный PID-регулятор

Параметр	Тип	Содержание	По умолчанию	Описание
TAG	Строка символов (8)	Вход	-	Имя PID, используемое ССХ
UNIT	Строка символов (6)	Вход	-	Единица измерений, используемая в ССХ
PV	Слово	Вход	-	Величина процесса в формате 0/10000
OUT	Слово	Выход	0	Выход модели PID
AUTO	Бит	Вх./Вых.	0	Режим работы PID: 0- ручной, 1 - автоматический
SP	Слово	Вх./Вых.	0	Задание управления в формате 0-10000
OUT_MAN	Слово	Вх./Вых.	0	Ручное задание выходной величины в формате 0-10000
KP	Слово	Вх./Вых.	100	Пропорциональный коэффициент передачи (x100). Знак KP определяет направление действия PID (<0: прямое направление, >0: обратное направление) (-10000 KP +10000).

Настройки регулятора

Параметр	Тип	Содержание	По умолчанию	Описание
TI	Слово	Вх./Вых	0	Постоянная интегрирования PID (от 0 до 20000), (вес единицы - 1/10 секунды).
TD	Слово	Вх./Вых	0	Постоянная дифференцирования (от 0 до 10000), (вес 1 - 1/10 секунды)
TS	Слово	Вх./Вых	Период для задачи, в которой находится PID	Период дискретности PID (1/100 секунды) от 10 мс до 5 мин. 20 с. Реальный период дискретности будет кратен периоду задачи, в которой находится PID, и должен быть, по возможности, приближен к TS
OUT_MAX	Слово	Вх./Вых	10000	Максимальное ограничение для выхода PID регулятора в автоматическом режиме (между 0 и 10000)

Настройки регулятора

Параметр	Тип	Содержание	По умолчанию	Описание
OUT_MIN	Слово	Вх./Вых.	0	Минимальное ограничение для выхода PID регулятора в автоматическом режиме (между 0 и 10000)
PV_DEV	Бит слова	Вх./Вых.	0	Выбор воздействия по производной над величиной процесса (0) или отклонения(1)
DEVAL_MMI	Бит слова	Вх./Вых.	0	Если значение установлено в 0, PID используется человеко-машинным интерфейсом. 1 – нет, тогда не нужно выполнять преобразование масштаба для панели.
PV_SUP	Слово двойной длины	Вх./Вых.	10000	Верхний предел для масштаба величины процесса, в физических единицах (x100) (между -9 999 999 и+ 9 999 999)
PV_INF	Слово двойной длины	Вх./Вых.	0	Нижний предел для масштаба величины процесса, в физических единицах (x100) (между -9 999 999 и +9 999 999)
PV_MMI	Слово двойной длины	Вх./Вых.	0	Изображение значений величин процесса, в физических единицах (x100)
SP_MMI	Слово двойной длины	Вх./Вых.	0	Задание уставки и её отображения в физических единицах (x100)

Режимы управления

J Детальное описание данных для F355_PID

ARRAY[0]: Режим управления
Выбор типа обработки по ПИД-закону и включение
автонастройки.

16#X000: Обратная операция PI-D

16#X001: Прямая операция PI-D

16#X002: Обратная операция I-PD

16#X003: Прямая операция I-PD

Прямая и обратная работа регулятора:

Выходная величина (MV) возрастает, когда измеряемая (PV) падает (например, нагрев).

Прямая операция: выходная величина (MV) возрастает, когда измеряемое значение (PV) возрастает (например, охлаждение).

Автонастройка

Когда самый старший бит ARRAY[0] устанавливается в 1, то автонастройка включается. Оптимальные настройки параметров K_p , T_i и T_d определяются измерением отклика процесса и хранятся в ARRAY[6], ARRAY[7] и в ARRAY[8]. После этого автонастройка выключается (самый старший бит в ARRAY[0] устанавливается в 0).

Поскольку некоторые операции не позволяют производить автонастройку, то самый старший бит в ARRAY[0] может быть сброшен в 0 во время процесса автонастройки, завершая его таким образом. В данном случае обработка продолжается с прежними параметрами.

Вызов функции PID-регулятора

- Синтаксис вызова функции:

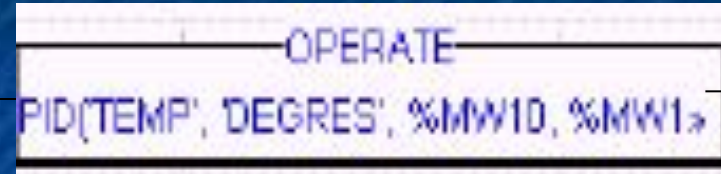
PID (TAG, UNIT, PV, OUT, AUTO, PARA)

TAG	Строка символов [8]	входная строка символов (до 8 символов), представляющая имя PID, используемое ССХ 17.
UNIT	Строка символов [6]	входная строка символов (до 6 символов), представляющая единицу измерений, используемую ССХ 17,
PV	Слово в формате целого	входная величина, представляющая измеряемую величину процесса для функции,
OUT	Слово в формате целого	выход функции,
AUTO	%Mi или %Qi.j бит	вход/выход, используемый как ССХ 17, так и PID функцией для режима работы MANU/AUTO,
PARA	Таблица в формате целых слов	таблица слов, состоящая из 43 последовательных слов типа вход/выход, и организованная как показано ниже:

Позиция (бит)	Параметр	Функция
%MWi	SP	входная уставка,
%MW(i+1)	OUT_MAN	ручное управление,
%MW(i+2)	KP	пропорциональный коэффициент (по умолчанию 100),
%MW(i+3)	TI	постоянная интегрирования в 1/10 с (по умолчанию 0),
%MW(i+4)	TD	постоянная дифференцирования в 1/10 с (по умолчанию 0),
%MW(i+5)	TS	период дискретности в 1/100 с,
%MW(i+6)	OUT_MAX	максимальное ограничение управления,
%MW(i+7)	OUT_MIN	минимальное ограничение управления,
%MW(i+8):X0 & %MW(i+8):X8	для %MW)	выбор воздействия по производной (бит 0) / PID-ММІ запрещающий бит (бит 8),
%MD(i+9)	PV_SUP (1 двойное слово: MD)	максимальное ограничение величины процесса,
%MD(i+11)	PV_INF (1 двойное слово MD)	минимальное ограничение величины процесса,
%MD(i+13)	PV_MMI (1 двойное слово MD)	отображение величины процесса для оператора,
%MD(i+15)	SP_MMI (1 двойное слово MD)	уставка оператора.

Примеры вызова функции PID

1. Программирование на языке Ladder



C PID('TEMP', 'DEGREES', %MW10, %MW11, %M10, %MW20:43)

2. Программирование на языке Structured Text

! (*PID коррекция контура регулирования температуры*)

**PID('TEMP', 'DEGREES', %IW3.1, %QW4.0, LOOP1_MA,
LOOP1:43);**

Программная реализация PID-регулятора

Расчёт управляющего воздействия для PID-регулятора

- • Алгоритм без интегральной составляющей ($TI = 0$) выполняет следующие действия:
 - для $e_t = SP - PV$,
 - выход $OUT = KP [e_t + Dt] / 100 + 5000$
 - где Dt = операция дифференцирования.
- Алгоритм с учетом интегральной части ($TI \neq 0$) выполняет следующие действия:
 - для $e_t = SP - PV$,
 - выход $\Delta OUT = KP [\Delta e_t + (TS/10TI) e_t + \Delta Dt] / 100$
 - $OUT = OUT + \Delta OUT$
 - где Dt = операция дифференцирования.
- • При холодном перезапуске, PID перезапускается в ручном режиме с нулевыми начальными условиями. Для того чтобы, после холодного старта, в автоматическом или ручном режиме установить не нулевые начальные условия, после вызова PID должна быть запрограммирована его инициализация.

Настройка параметров PID

- Существуют различные способы настройки параметров PID регулятора. Здесь описан метод Ziegler и Nichols с двумя вариациями:

- настройка замкнутого контура,
- настройка разомкнутого контура.

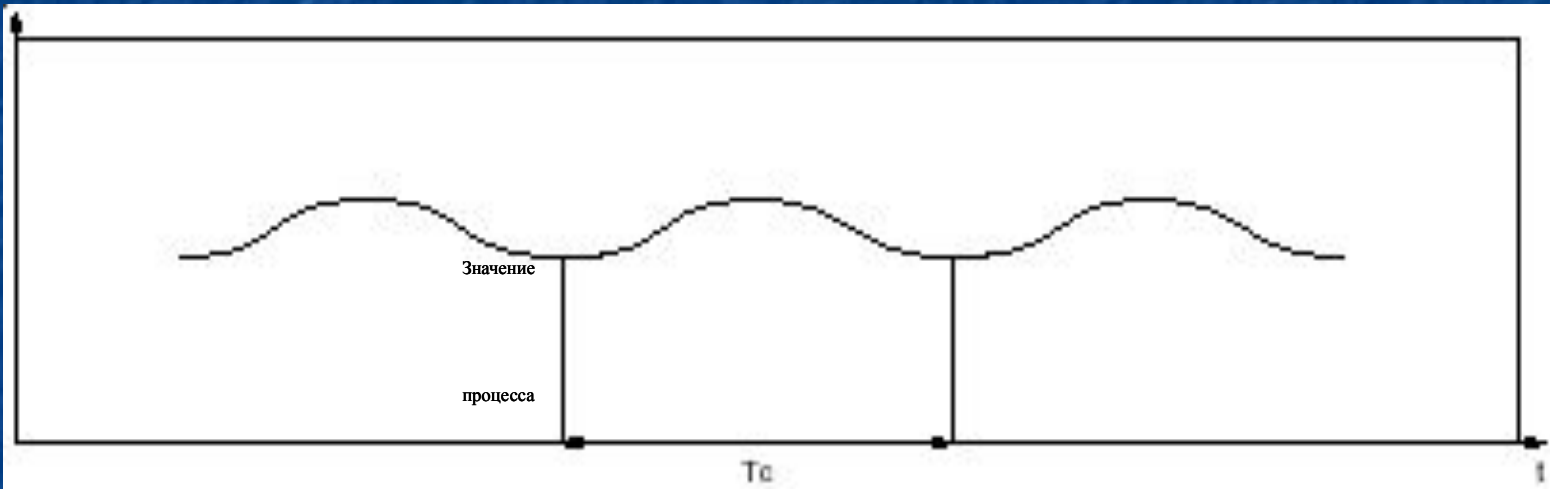
Перед тем как использовать один из этих методов, необходимо определить направление действия PID:

- Если увеличение значения на выходе OUT вызывает увеличение значения PV, установите PID в инверсный режим ($K_P > 0$).
- В противном случае, если оно вызывает уменьшение PV, установите PID в прямой режим ($K_P < 0$).

Настройка замкнутого контура

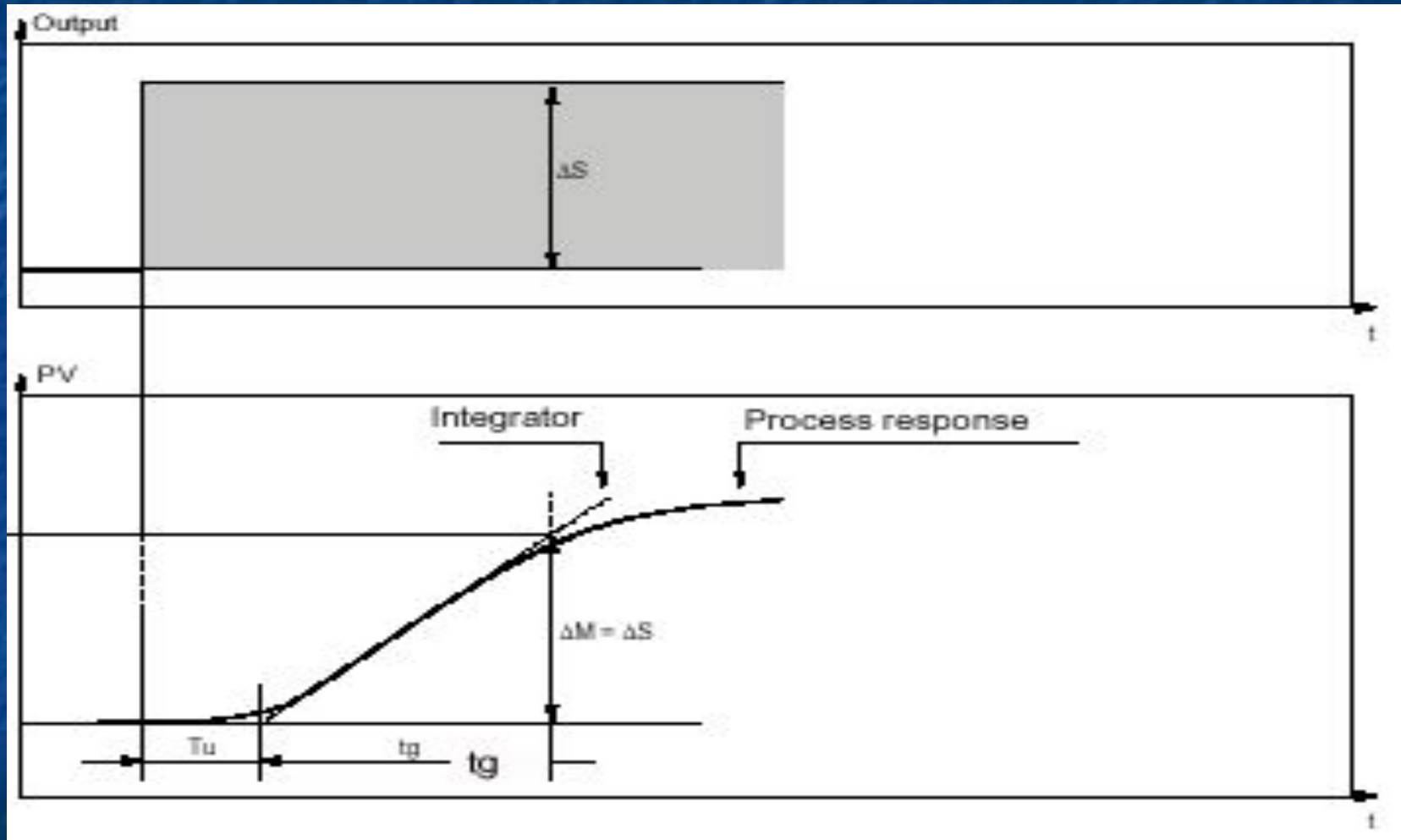
- Правило требует использования пропорционального управления ($TI = 0$, $TD = 0$) при оценке переходных характеристик, получаемых путем подачи ступенчатого воздействия ко входу PID регулятора, до тех пор, пока они не станут колебательными в результате увеличения коэффициента усиления.
- После чего, просто увеличьте значение критического коэффициента усиления ($K_{рс}$), что вызовет незатухающие колебания с периодом колебаний (T_c), для того чтобы выбрать требуемые значения для оптимальной настройки системы управления.

В зависимости от типа используемого устройства управления процессом (PID или PI), настраиваемым коэффициентам присваиваются следующие значения:




	Кр	Ti	Td
PID	$\frac{K_{pc}}{1.7}$	$\frac{T_c}{2}$	$\frac{T_c}{8}$
PI	$\frac{K_{pc}}{2.22}$	$0.83 * T_c$	

Настройка разомкнутого контура



Переключите регулятор в ручной режим, задайте приращение на выход и анализируйте начальную реакцию процесса, для того чтобы оценить чистое запаздывание интегральной составляющей в нем.

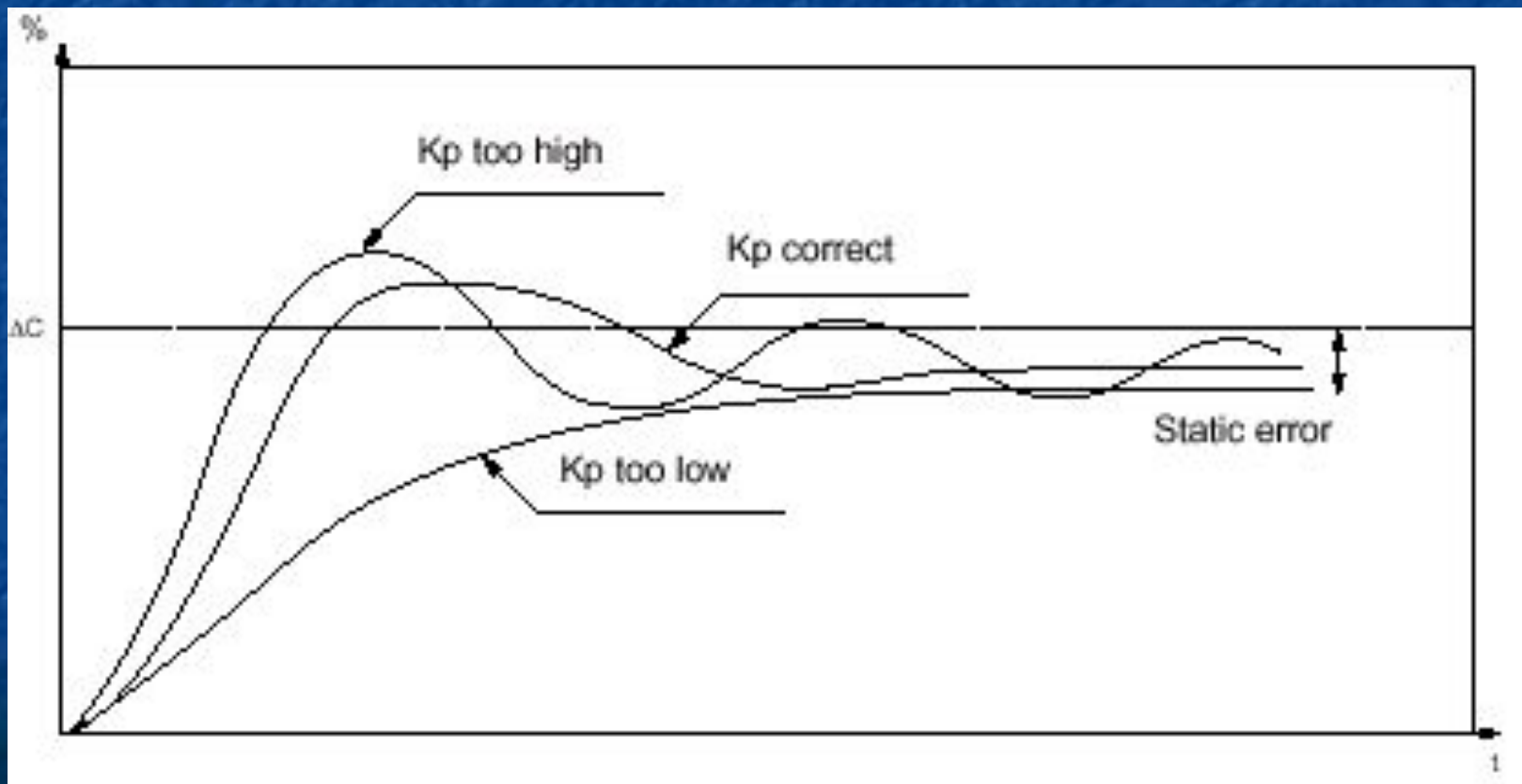
- Пересечение линии, представляющей интегральную составляющую, и оси времени определяет значение времени T_i .
- Величина T_d определяется как время, необходимое для изменения управляемой переменной (величина процесса) до такой амплитуды, которая приложена к выходу регулятора.
- В зависимости от типа используемого регулятора (PID или PI), настраиваемым коэффициентам присваиваются следующие значения:

	Kp	Ti	Td
PID	- 1.2 Tg/Tu	• 2 • Tu	0.5 • Tu
PI	- 0.9 Tg/Tu	3.3 • Tu	

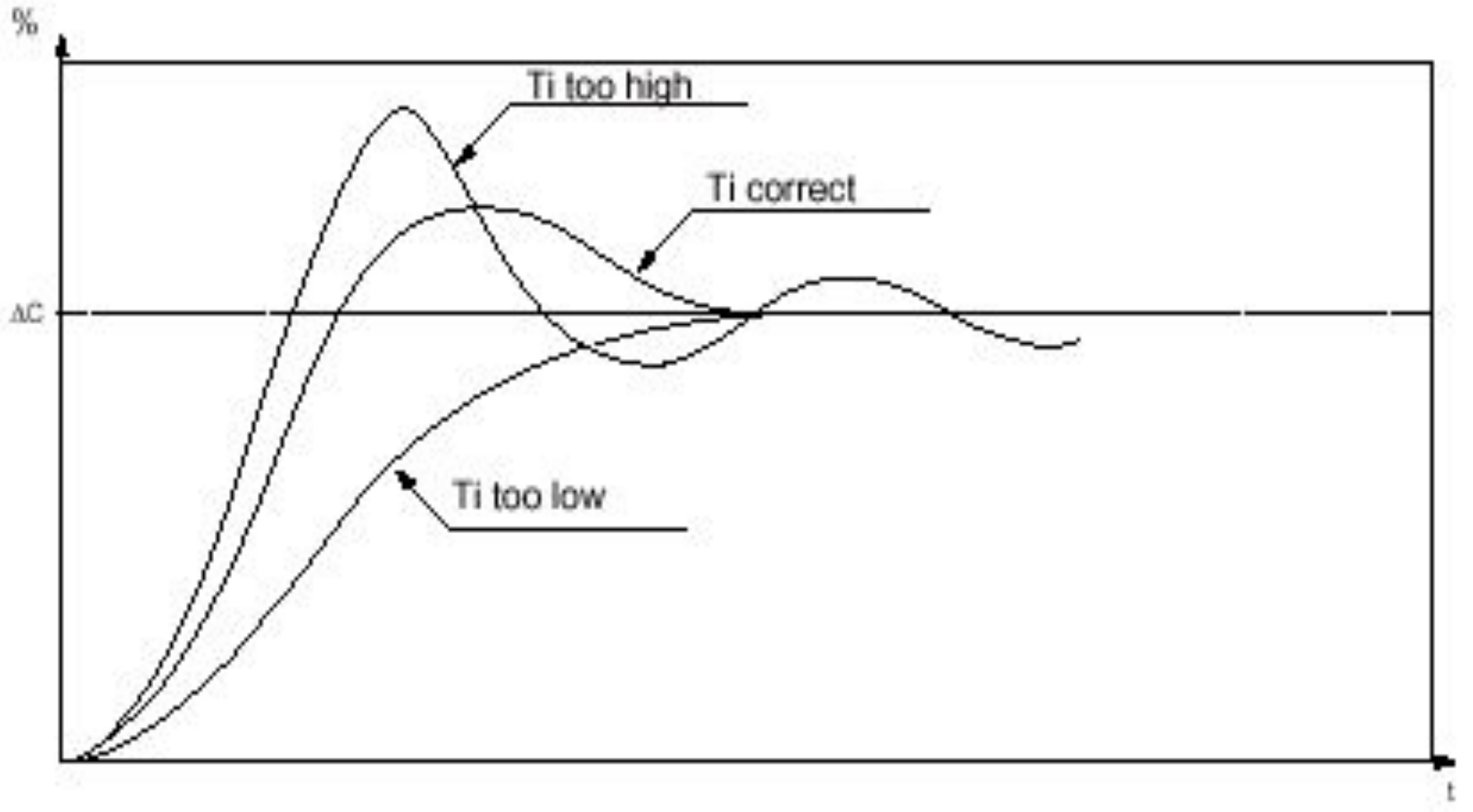
В результате такого типа настройки также получается высоко динамичное устройство управление, которое может выйти за граничные значения при изменении задания. Если это случится, уменьшите величину коэффициента усиления, пока система не начнет реагировать как нужно.

Влияние параметров PID на процесс

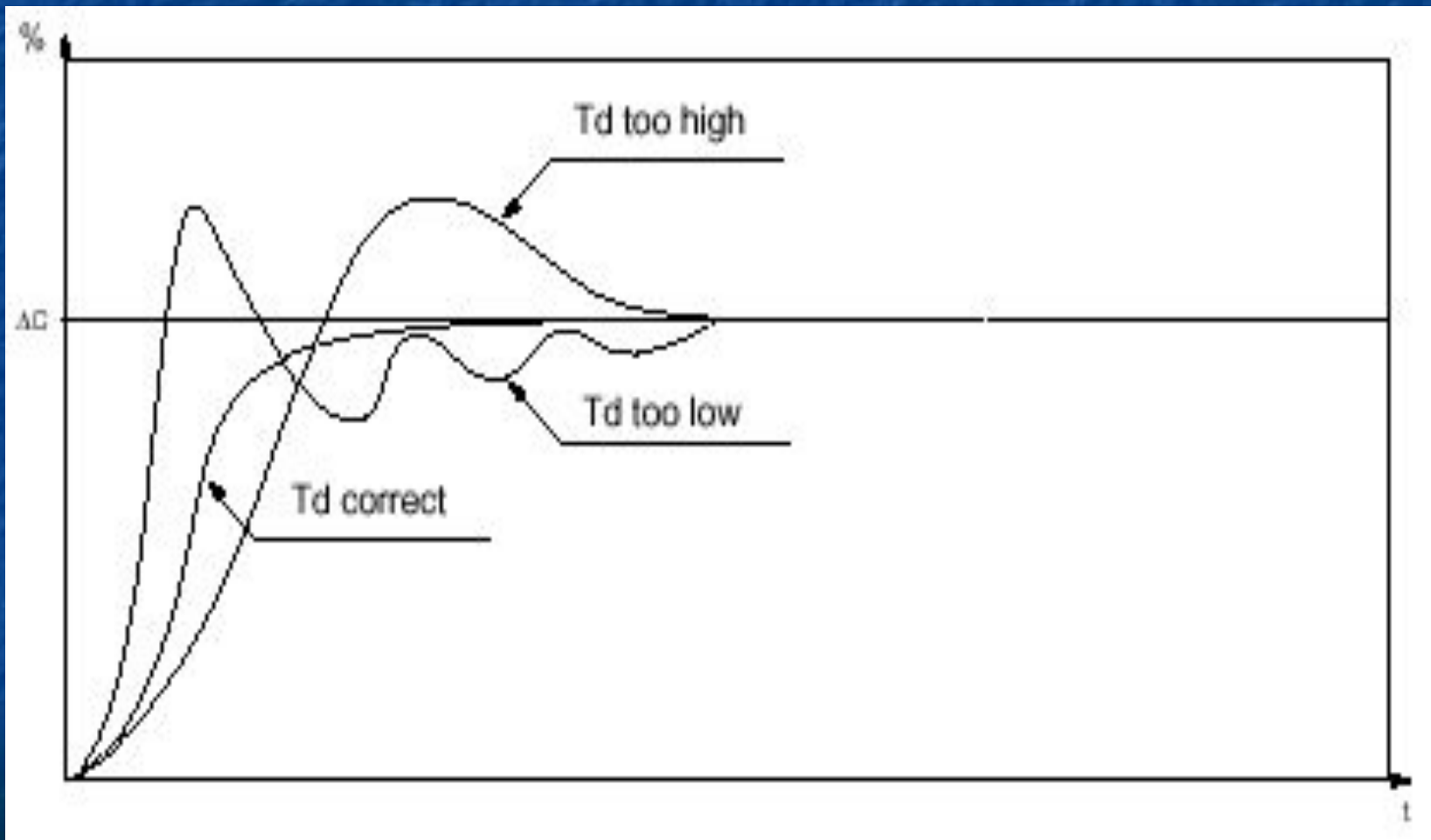
Влияние пропорционального воздействия на реакцию процесса при ступенчатом управлении



Влияние интегрального воздействия на реакцию процесса при ступенчатом управлении



Влияние воздействия по производной на реакцию процесса при ступенчатом управлении



Ограничения PID регулятора

Если процесс представляется моделью с передаточной функцией со звеном чистого запаздывания:

$$H(p) = \frac{K e^{-\tau p}}{1 + \theta p}$$

- где:
 - τ = постоянная запаздывания модели,
 - θ = постоянная времени модели,
- Уровень производительности PID является функцией от отношения τ / θ .

PID управление дает хорошие результаты при выполнении следующих условий:

$$2 \leq \frac{\tau}{\theta} \leq 20$$

- Для $\tau/\theta < 2$, т.е. для быстрых процессов управления (θ - маленькое), или для процессов с большой задержкой (τ - большое), PID не подходят. Здесь требуются более сложные алгоритмы.
- Для $\tau/\theta > 20$, достаточно релейного управления с петлей гистерезиса.

Конец