

АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Регуляторы можно строить на основе как аналоговой, так и цифровой техники. Соответственно, для анализа и проектирования аналогового и цифрового регулятора требуются разные математические методы. Хотя цифровая технология позволяет хорошо моделировать работу аналоговой системы управления, т. е. реализовать аналоговые понятия цифровыми средствами, ее возможности гораздо шире. Например можно построить нелинейные и самонастраивающиеся регуляторы, которые нельзя создать на основе только аналоговых средств. Главная проблема цифрового управления - найти соответствующую структуру регулятора и его параметры. После определения этих параметров реализация алгоритмов управления обычно представляет собой простую задачу. Помимо этого, каждый регулятор должен включать средства защиты, предотвращающие опасное развитие процесса под действием регулятора в нештатных ситуациях.

Многие производственные процессы характеризуются несколькими входными и выходными параметрами. В большинстве случаев внутренние связи и взаимодействие соответствующих сигналов не имеют принципиального значения, и процессом можно управлять с помощью набора простых регуляторов, при этом каждый контур управления обрабатывает одну пару вход/выход. Такой подход используется в системах прямого цифрового управления.

Типовая структурная схема регулятора

Автоматический регулятор (рис. 5.1.) состоит из: ЗУ - задающего устройства, СУ - сравнивающего устройства, УПУ - усилительно-преобразующего устройства, БН - блока настроек.

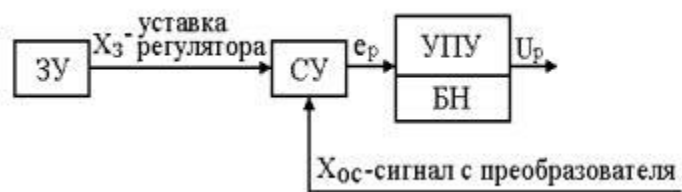


Рис. 5.1. Типовая структурная схема автоматического регулятора.

Задающее устройство должно вырабатывать высоко стабильный сигнал задания (уставку регулятора), либо изменять его по определенной программе. Сравнивающее устройство позволяет сопоставлять сигнал задания с сигналом обратной связи и, тем самым, сформировать величину ошибки регулирования e_p . Усилительно-преобразующее устройство состоит из блока формирования алгоритма регулирования, блока настройки параметров этого алгоритма и усилителя мощности. В промышленных регуляторах имеется также переключатель "Прямой - Обратный", с помощью которого может инвертироваться величина приращения сигнала управления. Выбор положения этого переключателя осуществляется таким образом, чтобы обеспечить отрицательную обратную связь в системе.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕГУЛЯТОРОВ

Автоматические регуляторы классифицируются по назначению, принципу действия, конструктивным особенностям, виду используемой энергии, характеру изменения регулирующего воздействия и т.п.

По принципу действия они подразделяются на регуляторы прямого и непрямого действия. Регуляторы прямого действия не используют внешнюю энергию для процессов управления, а используют энергию самого объекта управления (регулируемой среды). Примером таких регуляторов являются регуляторы давления. В автоматических регуляторах непрямого действия для его работы требуется внешний источник энергии.

По роду действия регуляторы делятся на непрерывные и дискретные. Дискретные регуляторы, в свою очередь, подразделяются на релейные, цифровые и импульсные.

По виду используемой энергии они подразделяются на электрические (электронные), пневматические, гидравлические, механические и комбинированные. Выбор регулятора по виду используемой энергии определяется характером объекта регулирования и особенностями автоматической системы.

По закону регулирования они делятся на двух- и трехпозиционные регуляторы, регуляторы с непрерывным управляющим воздействием (интегральные, пропорциональные, пропорционально-дифференциальные, пропорционально-интегральные, и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы - сокращенно И, П, ПД, ПИ и ПИД - регуляторы), регуляторы с переменной структурой, адаптивные (самонастраивающиеся) и оптимальные регуляторы. Двухпозиционные регуляторы нашли широкое распространение, благодаря своей простоте и малой стоимости.

По назначению регуляторы подразделяются на специализированные (например, регуляторы уровня, давления, температуры и т.д.) и универсальные с нормированными входными и выходными сигналами и пригодные для управления различными параметрами.

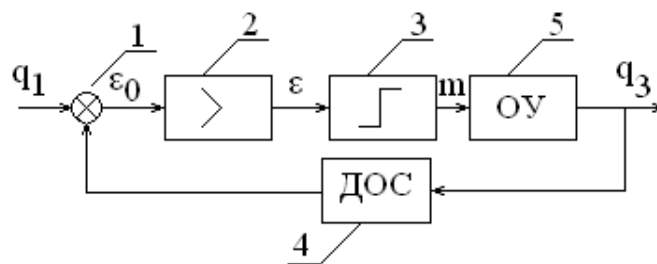
По виду выполняемых функций регуляторы подразделяются на регуляторы автоматической стабилизации, программные, корректирующие, регуляторы соотношения параметров и другие.

ПОЗИЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Реализуются на практике с применением электронных, электромеханических, пневматических аналоговых и дискретных устройств, имеющих релейные характеристики.

Позиционные регуляторы производят сравнение контролируемого параметра с сигналами задания и обеспечивают переключение управляющего воздействия на дискретные уровни, которые определяются структурой регулятора. Позиционный регулятор постоянно оказывает на объект управляющее воздействие, отличное от значений, необходимых для равновесного состояния объекта. В результате этого регулятор работает в автоколебательном режиме в окрестностях равновесного состояния.

В общем случае позиционный регулятор включает в себя (см. рис. 5.2.):

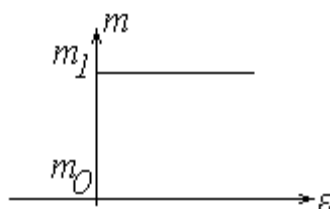


устройство сравнения (1); нормализатор (2); релейный элемент (3); датчик обратной связи (4); объект регулирования (5).

Приняты следующие обозначения:

q_1 – сигнал задания; ε_0 – сигнал рассогласования; m – управляющее воздействие; q_3 – регулируемый параметр.

Различают двух, трех и многопозиционные регуляторы.



Например, для двух позиционного регулятора существуют два уровня управляющего воздействия: max – m_1 , нулевой – m_0 . (см. рис.5.3.). В

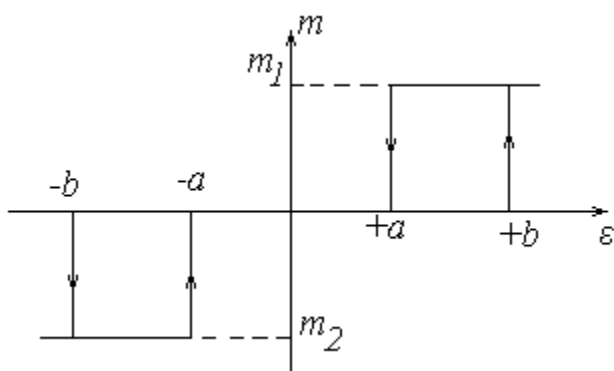
зависимости от сигнала рассогласования ε , регулятор переключается в одно из состояний.

Это простые и дешевые регуляторы с обратной связью, применяемые в несложных приложениях, например в термостатах отопительных систем и бытовых холодильников. Эти регуляторы используются также в простых производственных, например, в системах управления уровнем или простейших дозаторах.

Для малоинерционных объектов частота переключения может быть очень высокой, поэтому в позиционном регуляторе искусственно создают зону гистерезиса.

Позиционное реле вызывает колебания относительно постоянного опорного значения, поскольку управляемая переменная изменяется скачком между двумя фиксированными значениями. Это может вызвать чрезмерный износ конечного элемента системы управления, механический клапан может быстро выйти из строя; для других исполнительных механизмов, например соленоидных выключателей, подобной проблемы не возникает.

Характеристика трехпозиционного регулятора (см. рис.5.4.) с реверсом и зоной гистерезиса, так как есть отрицательные управляющие воздействия.

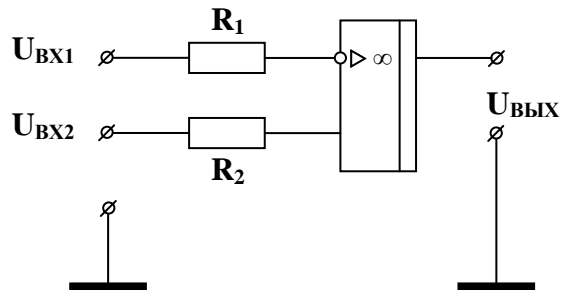


КОМПАРАТОРЫ

Предназначены для сравнения входных сигналов по напряжению, имеют релейную статическую характеристику и в аналоговых средствах

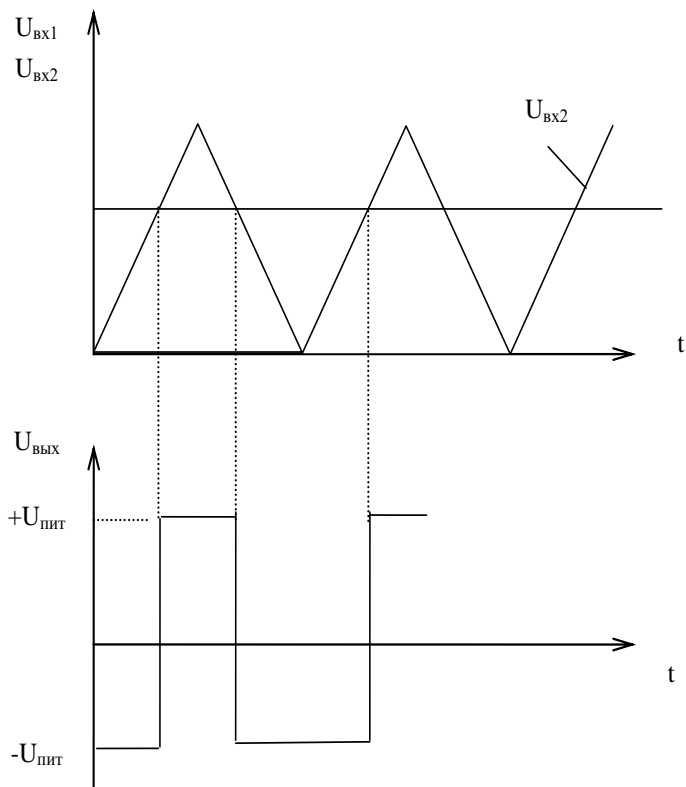
автоматизации, применяются для создания аналогово-позиционных преобразователей.

Компараторы, для сравнения однополярных сигналов.



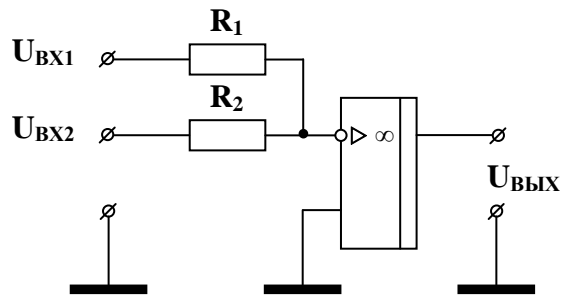
Принцип работы:

$$U_{ВЫХ} = \begin{cases} -U_{ПИТ}, & \text{если } U_{BX1} > U_{BX2} \\ +U_{ПИТ}, & \text{если } U_{BX1} < U_{BX2} \end{cases}$$



Компаратор для сравнения – разнополярных сигналов.

$$U_{ВЫХ} = \begin{cases} -U_{ПИТ}, & \text{если } (U_{BX1} - U_{BX2}) > 0 \\ +U_{ПИТ}, & \text{если } (U_{BX1} - U_{BX2}) < 0 \end{cases}$$



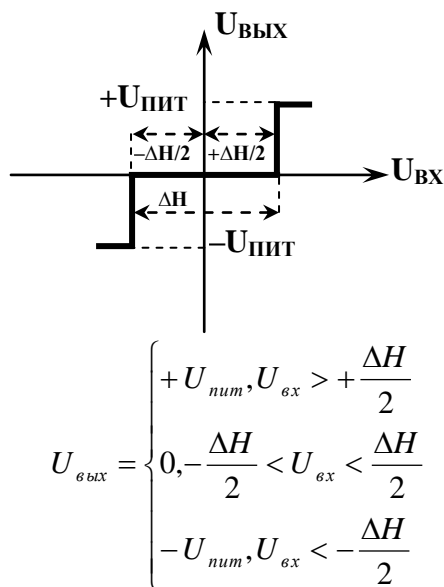
АНАЛОГО-ПОЗИЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Применяют для преобразования аналоговых входных сигналов в позиционные входные сигналы.

Применяют в регуляторах реализации модуля ограничения сигнала, и для реализации нелинейных элементов в импульсных регуляторах.

АПП, бывают 2-х, 3-х, и много позиционными.

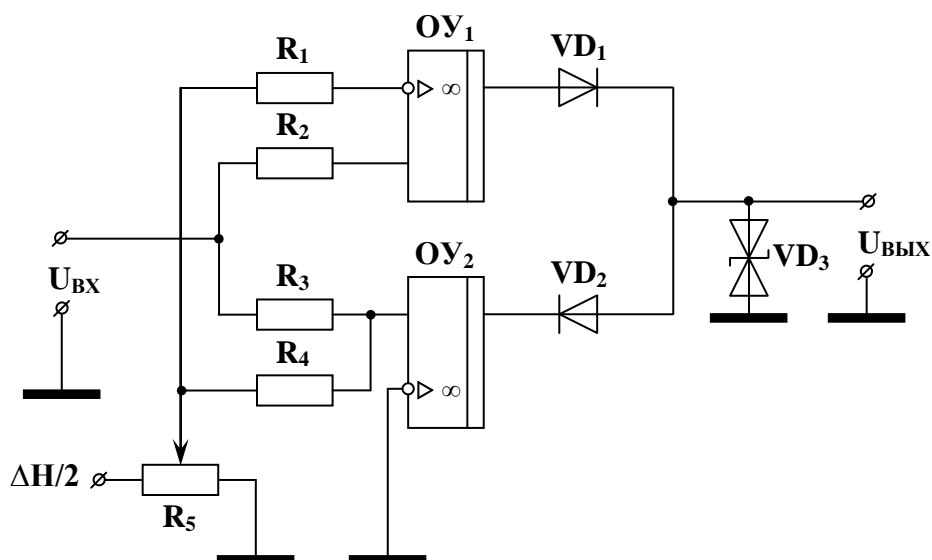
АПП без петли гистерезиса.



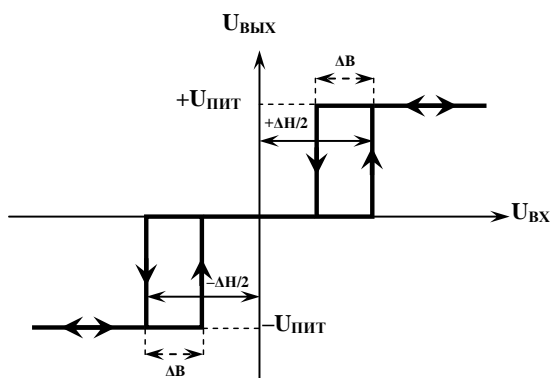
На ОУ1 реализован компаратор для сравнения однополярных сигналов, на ОУ2 – разнополярные сигналы.

На R5 – настраивается величина зоны нечувствительности $\Delta H/2$.

VD3 (стабилитрон) – для поддержки заданного значения выходного напряжения.



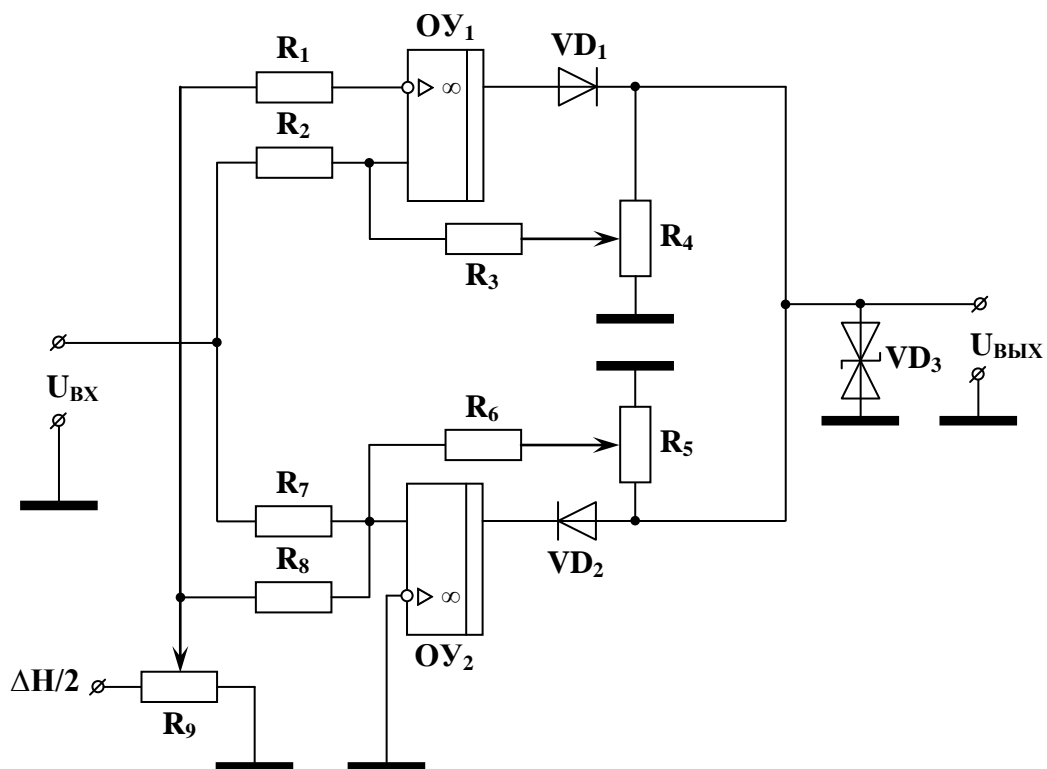
Трехпозиционный аналого-позиционный преобразователь с зоной возврата (с петлей гистерезиса).



Для реализации данной статической характеристики используется 2 компаратора.

- сравнения разнополярных сигналов.
- сравнения однополярных сигналов, охваченный обратной связью, которые обеспечивают реализацию петли гистерезиса.

Принципиальная схема:



На R9 настраивается зона нечувствительности, $\Delta H/2$, на R4 – зона возврата ΔK_1 , на R8 – зона возврата к ΔK_2

Положительная обратная связь на ОУ1 состоит из резисторов R4 – R3. На ОУ2 – R7 и R8. С выходами на ОУ1 и ОУ2.

$$\Delta H = 4 \text{ В}$$

$$\Delta K_1 = 1 \text{ В}$$

6. ИЗМЕРИТЕЛИ-РЕГУЛЯТОРЫ

Успехи в микроэлектронике, появление микропроцессоров революционизировали технику построения систем управления.

Микропроцессоры стали входить в состав отдельных средств автоматики и контроля. В настоящее время на рынке автоматизации представлено огромное количество микропроцессорных средств автоматики различной степени сложности – от простейших микропроцессорных приборов контроля и

локального управления до многоканальных (до нескольких тысяч входов-выходов) микропроцессорных контроллеров.

ИЗМЕРИТЕЛЬРЕГУЛЯТОР МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ТРМ1

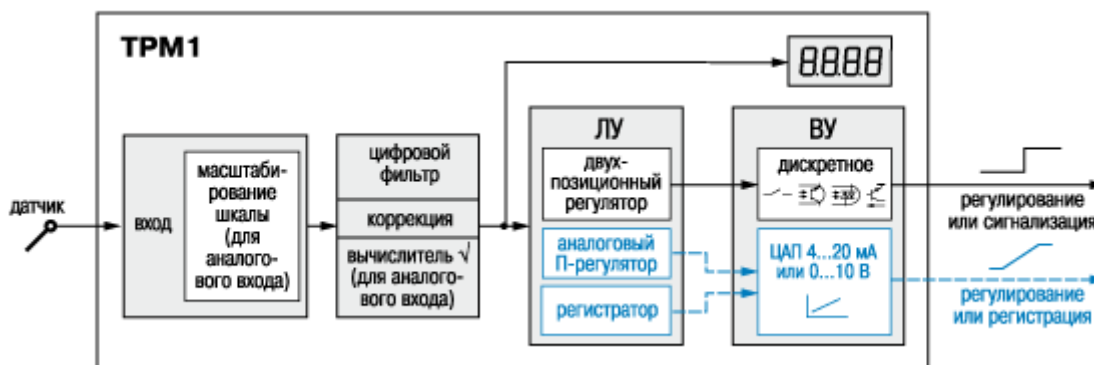
1. Назначение прибора

Прибор предназначен для измерения и регулирования температуры (при использовании в качестве датчиков ТС, ТП или пирометров) и других физических параметров, значения которых датчиками могут быть преобразованы в напряжение постоянного тока или в унифицированный сигнал постоянного тока.

Прибор позволяет выполнять следующие функции:

1. измерение температуры или других физических величин (давления, влажности, расхода, уровня и т.п.) в одной точке с помощью стандартных датчиков, подключаемых к универсальному входу прибора;
2. скоростные измерения (0,1 секунд) с использованием унифицированных датчиков тока или напряжения (только для приборов в корпусе Щ11);
3. обработку входных сигналов: ° цифровую фильтрацию и коррекцию; ° масштабирование унифицированного сигнала для отображения на индикаторе физической величины; ° вычисление и индикацию квадратного корня из измеряемой величины;
4. регулирование измеряемой величины по двухпозиционному (релейному) закону или сигнализация по П- или U-образной логике;
5. отображение текущего измерения на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
6. сохранение при отключении питания в энергонезависимой памяти функциональных параметров прибора, заданных при настройке.
7. формирование выходного тока 4...20 мА или напряжения 0...10 В для регистрации или управления исполнительными механизмами по П-закону (при использовании в качестве выходного устройства ЦАП).

Функциональная схема прибора



Универсальный вход терморегулятора ОВЕН ТРМ1

Терморегулятор ТРМ1 имеет один универсальный вход для подключения измерительных датчиков:

- термопреобразователей сопротивления типа ТСМ или ТСП 50/100, Pt100;
- термопар ТХК, ТХА, ТНН, ТЖК, ТПП(S), ТПП(R), ТВР(А-1, 2, 3), ТПР(В), ТМК(Т);
- активных датчиков с унифицированным сигналом тока 0...5 мА, 0(4)...20 мА или напряжения -50...+50 мВ, 0...1 В.

Активные преобразователи с выходным аналоговым сигналом в виде постоянного напряжения (-50...50 мВ, 0...1 В) или тока (0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА) могут быть использованы для измерения как температуры, так и других физических величин: давления, расхода, уровня и т. п.

Все модификации прибора ОВЕН ТРМ1 имеют встроенный источник +24 В \pm 10% для питания датчиков с унифицированным выходным сигналом или аналоговых выходных устройств.

Обработка входного сигнала терморегулятора ОВЕН ТРМ1

При обработке измеренного значения выполняются следующие функции:

1. цифровая фильтрация измерений (для ослабления влияния внешних импульсных помех на эксплуатационные характеристики прибора);
2. коррекция измерительной характеристики датчиков (для устранения начальной погрешности преобразования входных сигналов и погрешностей, вносимых соединительными проводами);
3. вычисление квадратного корня с учетом настроек масштабирования. Выполняется для работы с унифицированными датчиками, сигнал которых пропорционален квадрату измеряемой величины (например, датчики расхода жидкости или газа)).

Логическое устройство прибора ОВЕН ТРМ1

Логическое устройство прибора ОВЕН ТРМ1 может работать в одном из 3-х режимов:

1. двухпозиционный регулятор (компаратор, устройство сравнения);
2. аналоговый П-регулятор;
3. регистратор.

Режим работы ЛУ определяется типом установленного в приборе выходного устройства (ВУ).

Для работы ЛУ в режиме компаратора требуется выходное устройство дискретного типа (реле, транзисторный ключ, оптосимистор, выход для управления внешним твердотельным реле).

Для работы в режиме П-регулятора и измерителя-регистратора требуется цифроаналоговый преобразователь с выходным сигналом 4...20 мА или 0...10 В.

Выходные устройства прибора ОВЕН ТРМ1

В терморегулятор ТРМ1 может быть установлено одно из перечисленных ниже выходных устройств (ВУ):

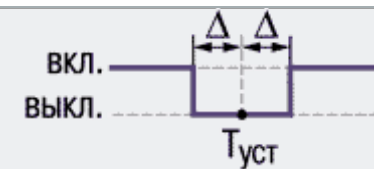
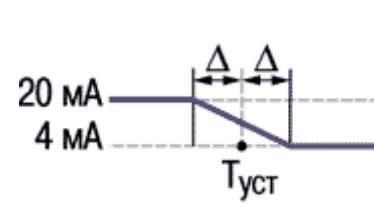
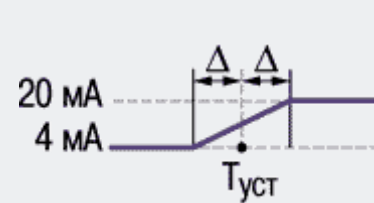
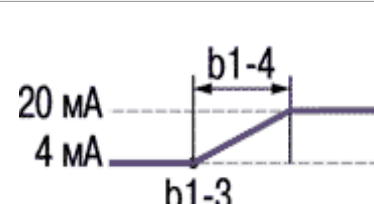
1. ВУ дискретного типа – электромагнитное реле 8 А, транзисторная или симисторная оптопара, выход для управления внешним твердотельным реле;
2. цифроаналоговый преобразователь выходного сигнала ЛУ в ток 4...20 мА или напряжение 0...10 В с питанием от внешнего источника.

Кроме того, прибор ОВЕН ТРМ1 имеет возможность управления трехфазной нагрузкой. Для этого в прибор устанавливается ВУ, представляющее собой три симисторных оптопары, имеющие схему контроля перехода через ноль.

Тип выходного устройства, установленного в терморегуляторе, выбирается пользователем при заказе.

Режимы работы логических устройств (ЛУ1, ЛУ2)

Параметр А1-1	Режим работы ЛУ	Тип ВУ	Диаграмма работы ВУ
оFF	ЛУ выключено	—	—
01	Двухпозиционный регулятор: прямой гистерезис («нагреватель»)	дискретное (Р, К, С, СЗ, Т)	
02	Двухпозиционный регулятор: обратный гистерезис («холодильник»)	дискретное (Р, К, С, СЗ, Т)	
03	Двухпозиционный регулятор: П-образная логика (срабатывание при входе в границы)	дискретное (Р, К, С, СЗ, Т)	
04	Двухпозиционный	дискретно	

	регулятор: U-образная логика (срабатывание при выходе за границы)	е (Р, К, С, СЗ, Т)	
05	Аналоговый П-регулятор: обратное управление («нагреватель»)	ЦАП 4...20 мА или 0...10 В (И, У)	
06	Аналоговый П-регулятор: прямое управление («холодильник»)	ЦАП 4...20 мА или 0...10 В (И, У)	
07	Регистратор	ЦАП 4...20 мА (И)	
Примечание. Туст – уставка, Δ — гистерезис (для двухпозиционного регулятора) или 1/2 полосы пропорциональности (для П-регулятора).			

Установка временных задержек срабатывания выходного устройства прибора

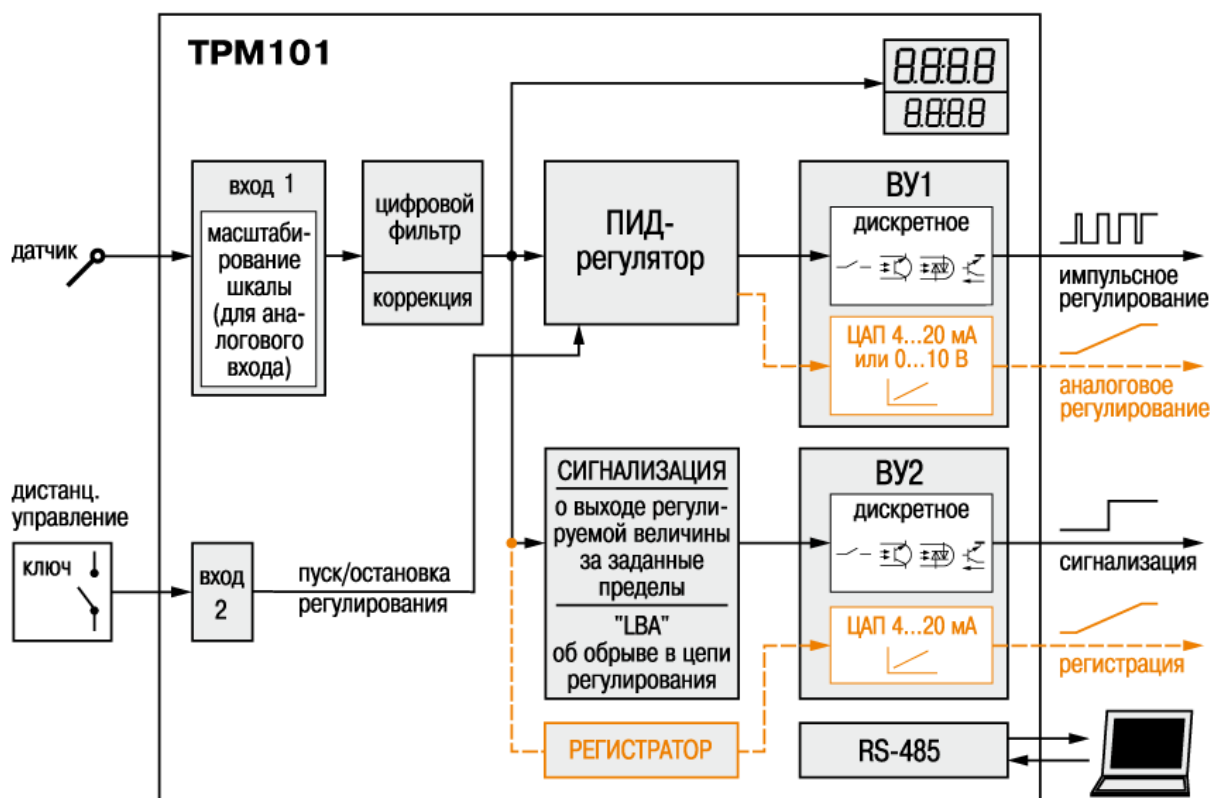
При работе ЛУ в режиме двухпозиционного регулятора имеется возможность задания:

- времени задержки включения ВУ;
- времени задержки выключения ВУ;
- минимального времени удержания ВУ во включенном состоянии;
- минимального времени удержания ВУ в выключенном состоянии.

ПИД-РЕГУЛЯТОР С УНИВЕРСАЛЬНЫМ ВХОДОМ ТРМ101

ПИД - регулятор с универсальным входом ТРМ-101 предназначен для регулирования температуры или других физических величин в различных технологических процессах. ТРМ101 представляет собой одноканальный ПИД - регулятор с универсальным входом для подключения датчиков; дополнительным входом для дистанционного управления; блоком обработки данных, формирующим сигналы управления выходными устройствами, и с двунаправленным интерфейсом RS-485.

Функциональная схема прибора ОВЕН ТРМ101 представлена на рисунке:



Универсальный измерительный вход

Терморегулятор ОВЕН ТРМ101 имеет один универсальный вход (вход 1) для подключения датчиков следующих типов:

1. термопреобразователей сопротивления ТСМ 50М/100М, ТСП 50П/100П, ТСМ гр.23, ТСП гр.21, Pt100;
2. термопар ТХК(L), ТХА(K), ТНН(N), ТЖК(J), ТПП(S), ТПП(R), ТПР(V), ТМК(T), ТВР (А-1, А-2, А-3);
3. датчиков с унифицированным сигналом тока 0...5 мА, 0(4)...20 мА и напряжения 0...1 В, -50...+50 мВ.

Дополнительный вход для дистанционного управления

К дополнительному входу подсоединяют ключ, позволяющий изменять режимы работы прибора. Ключом осуществляется запуск и остановка процесса регулирования. Запуск регулятора можно программно задавать как на замыкание, так и на размыкание ключа.

Цифровая фильтрация и коррекция входного сигнала

Для корректной работы регулятора необходимо защищать от различных внешних воздействий и электромагнитных помех. Для этой цели рекомендуется использовать помехоподавляющий фильтр в цепи питания прибора, а в цепи управления параллельно выходным коммутирующим контактам установить искрогасящие элементы, например RC- цепочку. Кроме аппаратной защиты существует возможность использовать программный цифровой фильтр низких частот. Цифровой фильтр подавляет помехи двух видов. **Во-первых**, фильтр устраняет сильные единичные помехи. Если измеренное значение T_i отличается от предыдущего T_{i-1} на величину, большую, чем значение параметра F_B (заданная «полоса фильтра»), то прибор присваивает ему значение равное $(T_{i-1} + F_B)$. Таким образом, характеристика сглаживается.

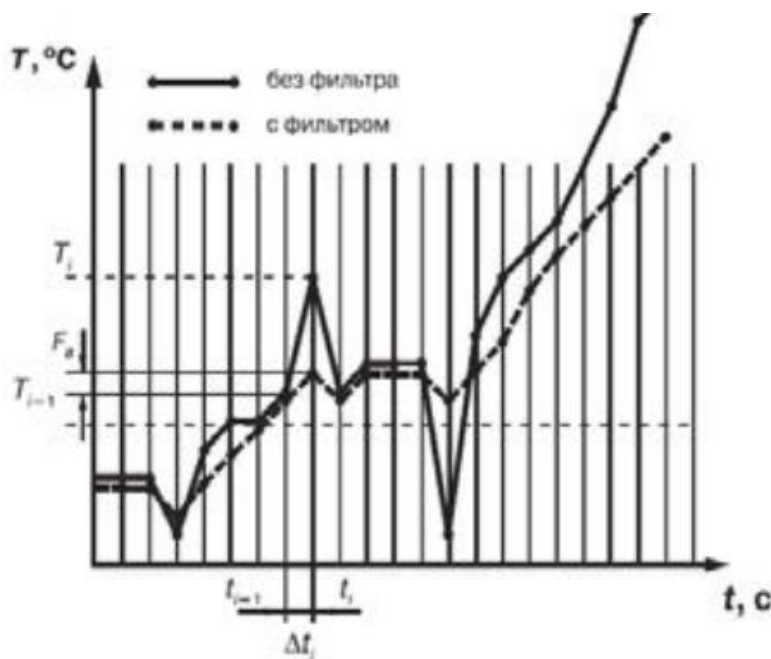


Рисунок 3.3

Как видно из рисунка 3.3, малая ширина полосы фильтра приводит к замедлению реакции прибора на быстрое изменение входной величины. Поэтому при низком уровне помех или при работе с быстроменяющимися процессами рекомендуется увеличить значение полосы фильтра или отключить действие этого параметра. При работе в условиях сильных помех для устранения их влияния на работу прибора необходимо уменьшить значение в параметре «полоса фильтра».

Во-вторых, фильтр устраняет шумовые составляющие сигнала, осуществляя его экспоненциальное сглаживание. Основой характеристикой экспоненциального фильтра является постоянная времени τ_ϕ – интервал, в течение которого сигнал достигает 0,63 от значения каждого измерения T_i

При больших значениях τ_ϕ фильтр вносит значительное запаздывание, но шумы заметно подавлены (кривая II на рисунке 3.4). При τ_ϕ близких к нулю фильтр довольно точно отслеживает изменения входного сигнала, но уровень шума практически не уменьшается (кривая I на рисунке 3.4).

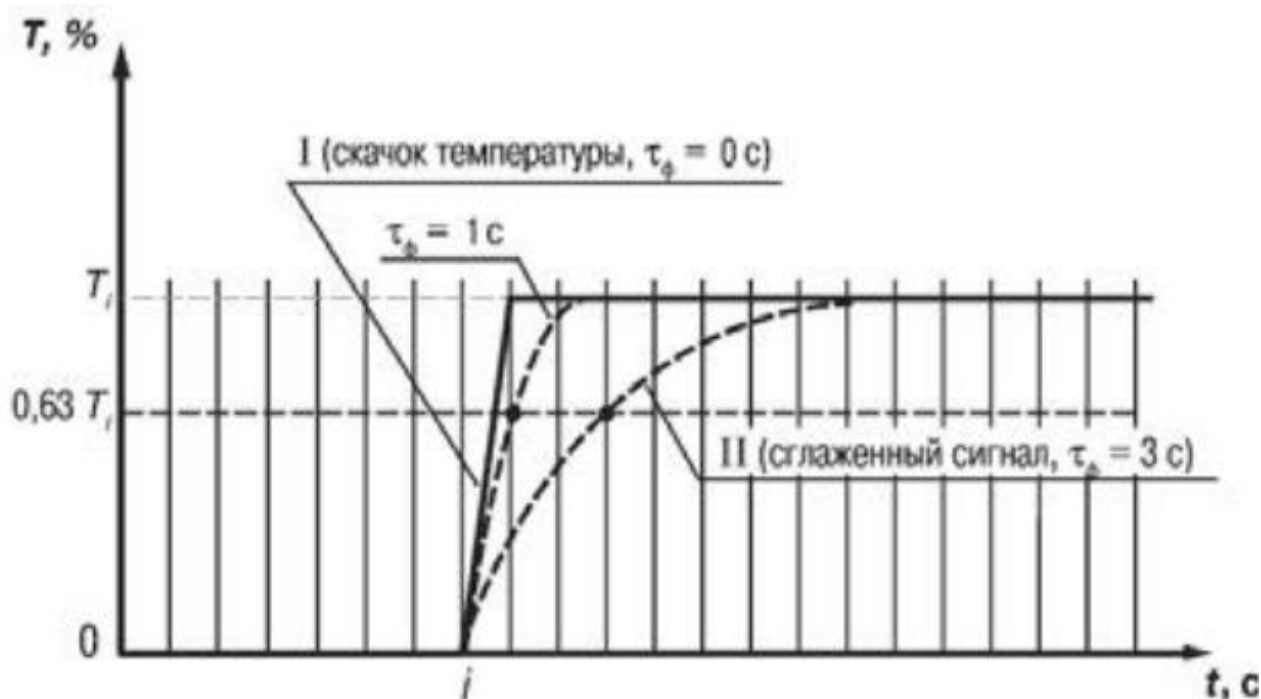


Рисунок 3.4

При установке оптимальных значений параметров фильтра задержка сигнала, вносимая фильтром, не будет оказывать отрицательного влияния на процесс регулирования, при этом сохранится эффективность подавления помех.

Коррекция измерений. Для устранения начальной погрешности преобразования входных сигналов и погрешностей, вносимых соединительными проводами, измеренное прибором значение может быть откорректировано. В приборе есть два типа коррекции, позволяющие осуществлять сдвиг или наклон характеристики на заданную величину. Для компенсации погрешностей подводящих проводов R_{TSM} , при использовании

двухпроводной схемы подключения ТС, к каждому измеренному значению параметра $T_{изм}$ прибавляется заданное пользователем значение δ («сдвиг характеристики датчика»).

На рисунке 3.5 приведен пример сдвига характеристики для датчика

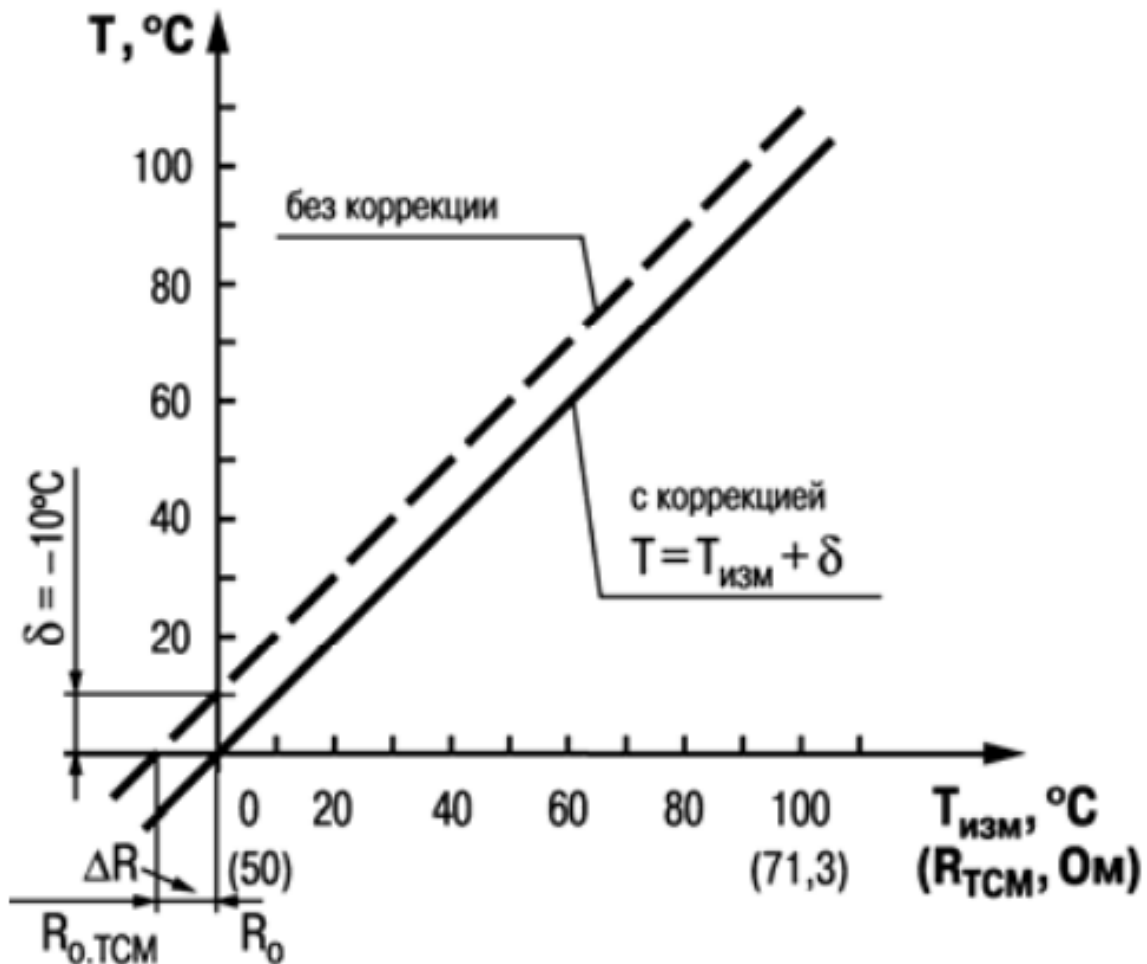


Рисунок 3.5

Для компенсации погрешностей датчиков при отклонении значения α от номинального каждое измеренное значение параметра $T_{изм}$ умножается на заданный пользователем поправочный коэффициент β («наклон характеристики датчика»). Коэффициент задается в пределах от 0,5 до 2,0. На рисунке 3.6 приведен пример изменения наклона характеристики для датчика

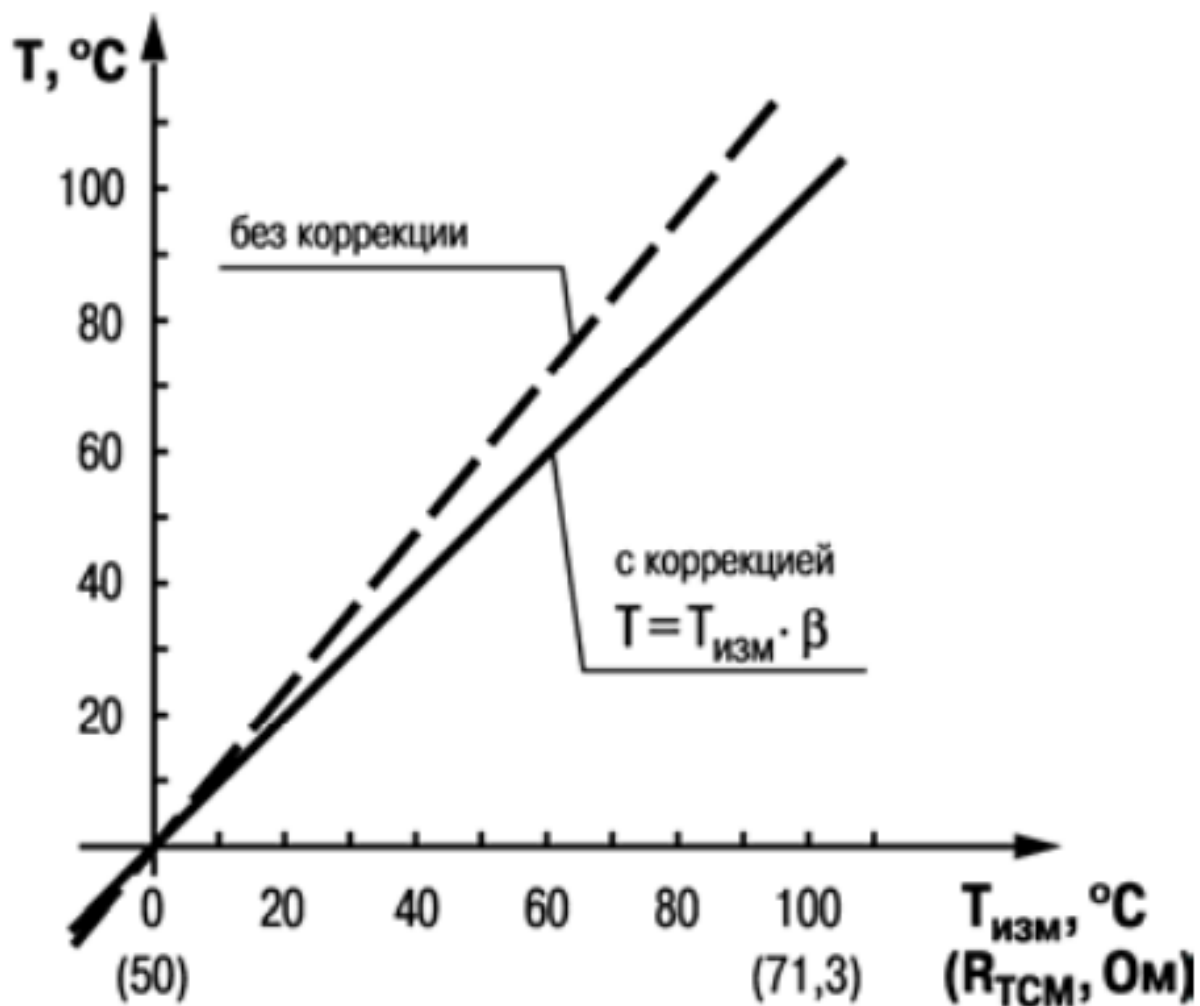


Рисунок 3.6

ПИД-регулятор

Регулятор ОВЕН ТРМ101 осуществляет ПИД-регулирование измеренной величины, управляя "нагревателем" или "холодильником". Настройка коэффициентов ПИД-регулятора на объекте осуществляется в ручную или автоматически (автонастройка).

Терморегулятор ОВЕН ТРМ101 управляет нагрузкой одним из двух методов:

1. импульсным (если выход ПИД-регулятора – э/м реле, транзисторная оптопара, симисторная оптопара, выход для управления внешним твердотельным реле);

2. аналоговым (если выход ПИД-регулятора – ЦАП 4...20 мА или 0...10 В).

На выходе регулятора вырабатывается управляющий (выходной) сигнал Y_i , действие которого направлено на уменьшение отклонения E_i :

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \left[E_i + \tau_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{\text{ИЗМ}}} + \frac{1}{\tau_{\text{И}}} \sum_{i=1}^n E_i \Delta t_{\text{ИЗМ}} \right] 100\%$$

X_p – полоса пропорциональности, величина обратная коэффициенту усиления регулятора

E_i – разность между заданными $T_{\text{уст}}$ и текущими T_i значением измеряемой величины, или рассогласование;

τ_d – постоянная времени предварения, устанавливаются в секундах;

ΔE_i – разность между двумя соседними измерениями E_i и E_{i-1} ;

$\Delta t_{\text{ИЗМ}}$ – время между двумя соседними измерениями T_i и T_{i-1} ;

$\tau_{\text{И}}$ – постоянная времени интегрирования, устанавливаются в секундах; ()

При $\tau_d=0$ регулятор работает по ПИ закону, при $\tau_{\text{И}}=0$ регулятор работает по ПД закону, при $\tau_d=0$ и $\tau_{\text{И}}=0$ работает по П закону.

При регулировании выбирают один из методов управления системой: прямое или обратное. При прямом управлении значение выходного сигнала регулятора увеличивается с увеличением измеряемой величины (охлаждение). При обратном управлении значение выходного сигнала регулятора уменьшается с увеличением измеряемой величины (нагрев).

Для исключения излишних срабатываний регулятора при небольшом значении рассогласования E_i , для вычисления Y_i используется уточненное значение E_p , вычисленное в соответствии с условиями:

если $|E_i| < X_d$, то $E_p = 0$;

если $E_i > X_d$, то $E_p = E_i - X_d$;

если $E_i < -X_d$, то $E_p = E_i + X_d$,

где X_d – зона нечувствительности (см. рисунок 3.8).

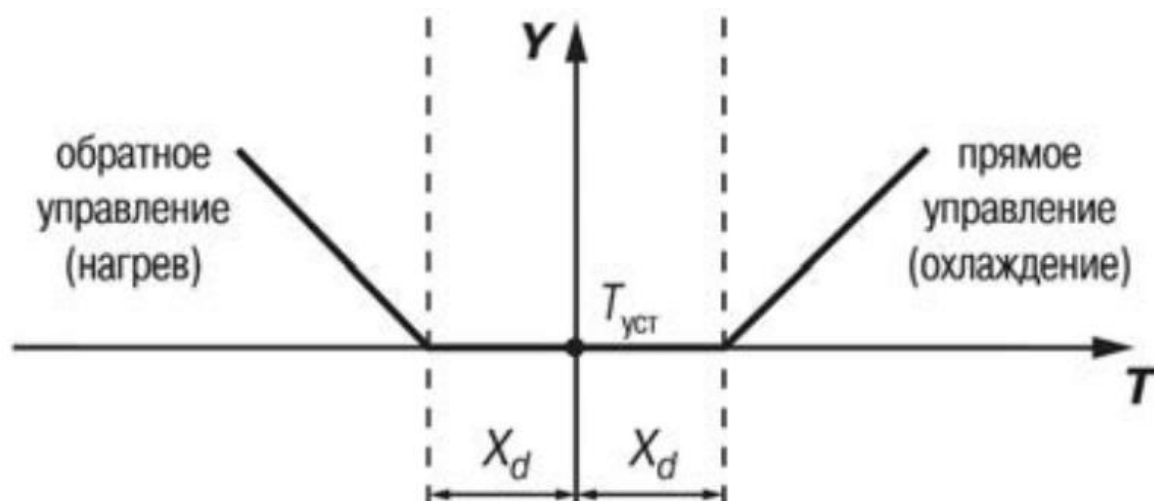


Рисунок 3.8

В регуляторе можно установить следующие виды ограничения выходного сигнала: максимальный $Y_{OГР\ MAX}$ и минимальный $Y_{OГР\ MIN}$ и скорости изменения

$$v_{OГР} = \frac{Y_{OГР\ MAX} - Y_{OГР\ MIN}}{\Delta t}$$

используемые для ограничения управляющего

воздействия на объект.

Аварийная сигнализация о выходе регулируемой величины за заданные пределы

В зависимости от системы регулирования пользователь может задать параметры срабатывания компаратора, сигнализирующего о выходе регулируемой величины за допустимые пределы. В приборе заложено 11 типов логики срабатывания компаратора. Кроме того, пользователь задает порог срабатывания компаратора X и гистерезис Δ для устранения ненужных срабатываний из-за колебаний контролируемой величины вокруг порогового значения. Компаратор сигнализирует об аварийной ситуации, при этом регулятор продолжает работать. Функция блокировки первого срабатывания позволяет исключить включение сигнализации при подаче питания. Использование этой функции имеет смысл, например, при установке в системе нагрева, поскольку, как правило, значение измеряемой величины в этой системе изначально находится ниже уставки.

Регулятор выдает аварийный сигнал в одном из следующих случаев, когда значение измеренной величины:

- 1) выходит за заданный диапазон;
- 2) превышает уставку регулятора на заданную величину;
- 3) меньше уставки регулятора на заданную величину;
- 4) находится в заданном диапазоне;
- 5) аналог. п. 1 с блокировкой 1-го срабатывания;
- 6) аналог. п. 2 с блокировкой 1-го срабатывания;
- 7) аналог. п. 3 с блокировкой 1-го срабатывания;
- 8) превышает заданную величину по абсолютному значению;
- 9) меньше заданной величины по абсолютному значению;
- 10) аналог. п. 8 с блокировкой 1-го срабатывания;
- 11) аналог. п. 9 с блокировкой 1-го срабатывания.

Тип аварийной сигнализации задается пользователем.

Сигнализация об обрыве контура регулирования (LBA)

Действие сигнализации основано на том, что если значение регулируемого параметра не меняется в течение определенного времени при подаче максимального (минимального) управляющего воздействия, то в контуре регулирования произошел обрыв, и тогда на соответствующий выход выдается сигнал. Работа сигнализации об обрыве контура определяется двумя параметрами: «время диагностики обрыва контура» и «ширина зоны диагностики обрыва контура». Устройство выдает сигнал тревоги, если по истечении времени диагностики обрыва контура измеренное значение не изменилось:

- для процесса нагрева при максимальном выходном сигнале не увеличилось, при минимальном – не уменьшилось;
- для процесса охлаждения при максимальном выходном сигнале не уменьшилось, при минимальном – не увеличилось.

При этом регулятор отключается.

Выходные устройства прибора ТРМ101

В приборе устанавливаются два выходных устройства (ВУ).

Выходное устройство ПИД-регулятора (ВУ1) может быть следующих типов:

1. э/м реле;
2. транзисторная оптопара;
3. симисторная оптопара;
4. выход для управления внешним твердотельным реле;
5. цифроаналоговый преобразователь "параметр – ток 4...20 мА";
6. цифроаналоговый преобразователь "параметр – напряжение 0...10 В".
7. ВУ2 может быть:
8. ключевым (э/м реле, транзисторная оптопара, симисторная оптопара, выход для управления внешним твердотельным реле) для подключения внешнего устройства сигнализации или блокировки оборудования;
9. аналоговым (ЦАП 4...20 мА) для подключения регистрирующего устройства.

Интерфейс RS-485

В ТРМ101 установлен модуль интерфейса RS-485, организованный по стандартному протоколу ОВЕН.

Интерфейс RS-485 позволяет:

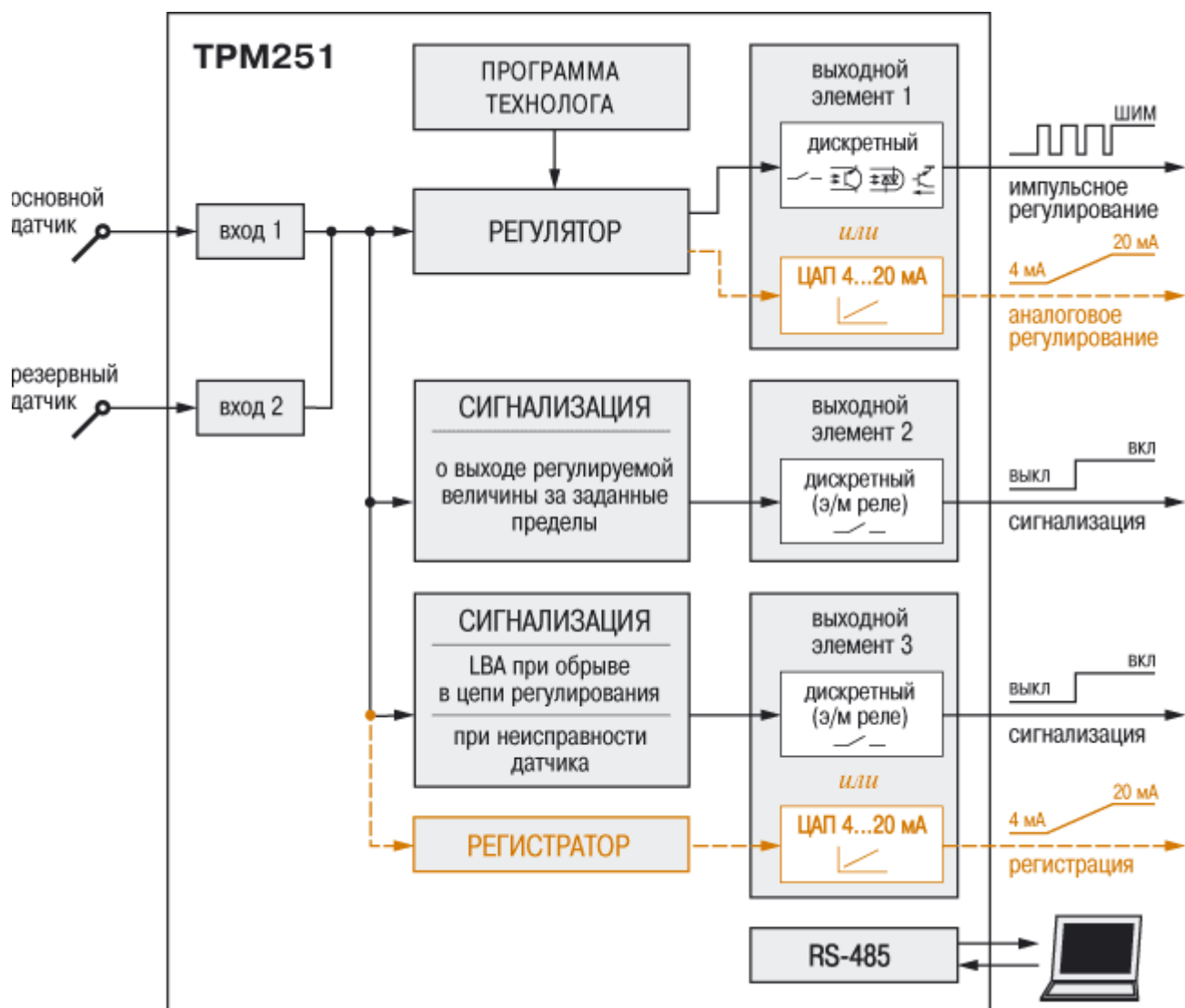
1. конфигурировать прибор на ПК (программа-конфигуратор предоставляется бесплатно);
2. передавать в сеть текущие значения измеренной величины и выходной мощности регулятора, а также любых программируемых параметров.

ПРОГРАММНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР ОВЕН ТРМ251

Одноканальный программный ПИД-регулятор ОВЕН ТРМ251 применяется для управления многоступенчатыми температурными режимами в системах управления электропечами (камерными, элеваторными, шахтными, плавильными и др.).

Прибор имеет удобный, интуитивно понятный человеко-машинный интерфейс.

Функциональная схема прибора ОВЕН ТРМ251



Измерительный канал с функцией резервирования датчика

ТРМ251 в обычном режиме осуществляет одноканальное регулирование по показаниям основного датчика, подключенного ко входу 1. В случае отказа основного датчика (обрыв, короткое замыкание и т.п.) прибор автоматически переключается на регулирование по показаниям резервного датчика, подключенного ко входу 2.

Универсальные входы

Входы ТРМ251 – универсальные, к ним подключаются все наиболее распространенные типы датчиков:

- термопреобразователи сопротивления типа ТСМ/ТСП/ТСН;
- термопары ТХК(L), ТХА(K), ТЖК(J), ТНН(N), ТПП(R), ТПП(S), ТПР(B), ТВР(A_1,2,3), ТМК(T);
- датчики с унифицированным выходным сигналом тока 0(4)...20 мА, 0...5 мА или напряжения 0...1 В, –50...+50 мВ.

ПИД-регулирование с автонастройкой

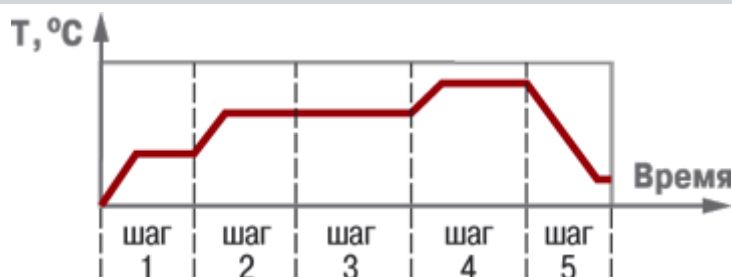
ТРМ251 позволяет управлять объектом с высокой точностью благодаря ПИД-регулированию. В приборе реализована функция автонастройки ПИД-регуляторов, избавляющая пользователя от трудоемкой операции ручной настройки.

Если в особой точности нет необходимости, прибор может работать в режиме двухпозиционного регулирования.

Регулирование по программе, заданной технологом

ТРМ251 управляет технологическим процессом по программе, которая представляет собой последовательность шагов. Шаг включает в себя 2 стадии:

- нагрев (или охлаждение) до заданной температуры в течение заданного времени роста;
- поддержание температуры на уровне уставки в течение заданного времени выдержки.



Пример программы для ТРМ251

Управление исполнительными механизмами

Для регулирования температуры или другой физической величины прибор управляет исполнительным механизмом, подключенным к выходному элементу 1 (ВЭ1). Тип ВЭ1 в зависимости от подключаемой нагрузки пользователь выбирает при заказе:

- реле 4 А 220 В;
- транзисторная оптопара n–p–n_ типа 400 мА 60 В;
- симисторная оптопара 50 мА 250 В;
- ЦАП «параметр–ток 4...20 мА»;
- выход 4...6 В 70 мА для управления твердотельным реле.

Сигнализация о выходе регулируемой величины за заданные пределы

ТРМ251 контролирует нахождение регулируемой величины в установленных границах. При выходе за границы технологический процесс не прерывается, но выдается предупреждение и срабатывает выходной элемент 2 (э/м реле 2 А 220 В), к которому можно подключить различные сигнальные устройства (лампу, звонок и т.п.).

Контроль исправности датчиков и контура регулирования

ТРМ251 контролирует работоспособность:

- основного и резервного датчиков (проверка на обрыв, замыкание, выход за допустимый диапазон и т. д.)
- контура регулирования (ЛВА-авария).

В случае отказа одного из датчиков включается функция резервирования, при этом выдается предупреждающее сообщение.

В случае неисправности обоих датчиков или контура регулирования прибор останавливает технологический процесс и сигнализирует об аварии с индикацией ее причины. Возможно подключение внешней сигнализации о неисправности системы.

Регистрация измеряемой величины

ТРМ251 может осуществлять преобразование измеряемой величины в сигнал тока 4...20 мА для регистрации на внешнем носителе. Для этого при заказе в качестве ВЭЗ должен быть установлен ЦАП 4...20 мА (модификация ТРМ251-Х.ХРИ).

Интерфейс RS-485

В ТРМ251 установлен модуль интерфейса RS-485, позволяющий:

- дистанционно запускать и останавливать программу технолога;
- конфигурировать прибор на ПК (программа-конфигуратор предоставляется бесплатно);
- регистрировать на ПК параметры текущего состояния.

ТРМ251 может работать в сети только при наличии в ней мастера. Мастером сети RS-485 может быть персональный компьютер, программируемый контроллер, например ОВЕН ПЛК, панель оператора ОВЕН ИП320 и др.

Подключение ТРМ251 к ПК производится через адаптер ОВЕН АС3-М или АС4.

Поддержка протоколов ОВЕН и Modbus

Для сетевого обмена с TPM251 пользователь может выбрать один из трех протоколов: ОВЕН, Modbus RTU, Modbus ASCII. Конфигурирование TPM251 осуществляется по протоколу ОВЕН.

Поддержка универсального протокола Modbus позволяет TPM251 работать в одной сети с контроллерами и модулями как фирмы ОВЕН, так и других производителей.

Интеграция в АСУ ТП

При интеграции TPM251 в АСУ ТП в качестве программного обеспечения можно использовать [SCADA-систему Owen Process Manager](#) или какую-либо другую программу.

Компания ОВЕН бесплатно предоставляет для TPM251:

- драйвер для Trace Mode;
- OPC-сервер для подключения прибора к любой SCADA-системе или другой программе, поддерживающей OPC-технология;
- библиотеки WIN DLL для быстрого написания драйверов.

Ж.1.1. ПИД-регулятор и его коэффициенты

ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор) выдает аналоговое значение выходного сигнала, направленное на уменьшение отклонения текущего значения контролируемой величины от уставки.

Выходной сигнал ПИД-регулятора Y_i рассчитывается по формуле:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[E_i + \tau_d \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_{ин}} \sum_{l=0}^n E_l \Delta t_{изм} \right],$$

где

X_p	–	полоса пропорциональности;
E_i	–	разность между уставкой и текущим значением T_i контролируемой величины, или рассогласование;
τ_d	–	дифференциальная постоянная;
ΔE_i	–	разность между двумя соседними измерениями E_i и E_{i-1} ;
$\Delta t_{изм}$	–	время между двумя соседними измерениями T_i и T_{i-1} ;
$\tau_{ин}$	–	интегральная постоянная;
$\sum_{l=0}^n E_l$	–	накопленная в i -й момент времени сумма рассогласований (интегральная сумма).

Как видно из формулы, сигнал управления является суммой трех составляющих:

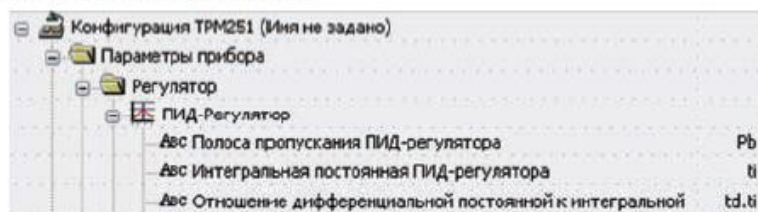
- пропорциональной (первое слагаемое);
- интегральной (третье слагаемое);
- дифференциальной (второе слагаемое).

Пропорциональная составляющая зависит от рассогласования E_i и отвечает за реакцию на мгновенную ошибку регулирования.

Интегральная составляющая содержит в себе накопленную ошибку регулирования $\sum_{l=0}^n E_l \Delta t_{изм}$ и позволяет добиться максимальной скорости достижения уставки.

Дифференциальная составляющая зависит от скорости изменения рассогласования $E / t_{изм}$ и позволяет улучшить качество переходного процесса.

Для эффективной работы ПИД-регулятора необходимо подобрать для конкретного объекта регулирования значения коэффициентов ПИД-регулятора X_p , $\tau_{ин}$ и τ_d (соответственно, параметры **Pb**, **ti** и **td.ti**, последний задается как отношение $\tau_d / \tau_{ин}$).



Настройку ПИД-регулятора рекомендуется выполнять в автоматическом режиме (см. п. 8.7). При настройке вручную пользователь может определить приблизительные значения параметров ПИД-регулятора по Приложению Ж.2.

Ж.1.2. Номинальная выходная мощность. Ограничение накопления интегральной составляющей

Поведение объекта при классическом ПИД-регулировании демонстрирует черная кривая на рис. Ж.1.

Очевидно, что, при длительном выходе на уставку, ПИД-регулятор производит «перерегулирование» объекта. «Перерегулирование» связано с тем, что в процессе выхода на уставку накопилось очень большое значение интегральной составляющей в выходном сигнале регулятора (мощности).

После «перерегулирования» начинается уменьшение значения интегральной составляющей, что, в свою очередь, приводит к провалу ниже уставки – «недорегулированию». Только после одного-двух таких колебаний ПИД-регулятор выходит на требуемое значение мощности.

Во избежание «перерегулирования» и «недорегулирования» необходимо ограничить сверху и снизу значение накопленной интегральной составляющей.

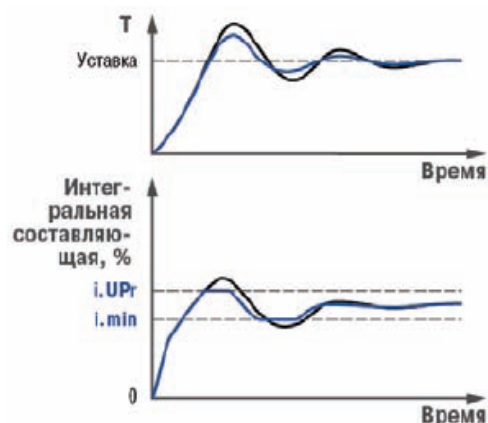


Рис. Ж.1

Пример. Имеется печь, для которой из опыта известно, что для поддержания определенной уставки требуется мощность от 50 % до 70 %. Разброс мощности в 20 % вызван изменениями внешних условий, например температуры наружного воздуха. Тогда, вводя ограничение интегральной составляющей, т. е. задав параметры $i.min = 50 \%$ и $i.UPr = 70 \%$, возможно уменьшить «перерегулирование» и «недорегулирование» в системе (см. рис. Ж.1, синяя кривая).

Конфигурация TPM251 (Имя не задано)

ВАЖНО! Следует понимать, что ограничения параметров $i.min$ и $i.UPr$ распространяются только на интегральную составляющую. Конечное значение выходной мощности, полученное как сумма пропорциональной, дифференциальной и интегральной составляющих, может лежать вне пределов, заданных $i.min$ и $i.UPr$. Ограничение конечного значения выходной мощности в системе задается параметрами $P.min$ и $P.UPr$ (см. п. 3.2.2.1.).

Регулятор	
ПИД-Регулятор	
Авс Ограничение максимума интеграла	$i.UPr$
Авс Ограничение минимума интеграла	$i.min$
Авс Номинальная мощность	$P.nom$

Для уменьшения колебаний при переходных процессах можно также задать номинальную мощность. Номинальная мощность – это средняя мощность, которую надо подать в объект регулирования для достижения требуемой уставки. В рассматриваемом примере номинальную мощность $P.nom$ нужно задать равной 60 %. Тогда при работе к значению выходной мощности, рассчитанной ПИД-регулятором, будет прибавляться

номинальная мощность. При задании номинальной мощности параметры ограничения интеграла необходимо задать от значения **P.nom**. Соответственно, в примере для достижения значения интегральной составляющей от 50 % до 70 % и при **P.nom** = 60 % необходимо задать **i.min** = -10 %, а **i.UPr** = +10 %.

Работа системы с заданной номинальной мощностью и ограничениями интегральной составляющей показана на **рис. Ж.2**. Как видно из рисунка, переходный процесс протекает несколько быстрее, т.к. значение выходной мощности сразу начинает расти от **P.nom**, а не от нулевого значения.

Также задание **P.nom** необходимо при использовании ПД-регулятора.

Ж.2. Определение параметров

Ж.2. Определение параметров предварительной настройки регулятора

Приведенный ниже метод позволяет определить приблизительные параметры настройки регулятора. Это бывает необходимо в случае, когда проведение предварительной настройки в автоматическом режиме недопустимо.

Грубая оценка параметров регулятора основана на временных характеристиках переходной функции объекта регулирования. Для снятия переходной характеристики объект выводят в рабочую область в ручном режиме, дожидаются стабилизации регулируемой величины и вносят возмущение изменением управляющего воздействия на **P**, [% от диапазона изменения управляющего воздействия]. Строят график переходной функции (см. **рис. Ж.3**). Используя график, вычисляют:

$$\begin{aligned} t_{об} &= t_1 - \tau; \\ v_{об} &= (T_2 - T_1) / (t_{об} \cdot \Delta P); \\ \tau_i &= 4 \cdot \tau; \\ X_p &= 2 \cdot \tau_i \cdot v_{об}, \end{aligned}$$

где X_p – полоса пропорциональности, [ед. изм./%];

τ – постоянная запаздывания, [с];

$t_{об}$ – постоянная времени объекта, [с];

$v_{об}$ – максимальная скорость изменения регулируемой величины при изменении задания на один процент, [ед. изм./%/с];

τ_i – интегральная постоянная, [с];

T_2 – установившееся значение регулируемой величины, [ед. изм.];

T_1 – начальное значение, [ед. изм.];

ΔP – изменение управляющего воздействия, [%].

Коэффициент τ_d/τ_i (параметр **td.ti**), определяющий долю дифференциальной составляющей, выбирается из интервала [0,10...0,25].

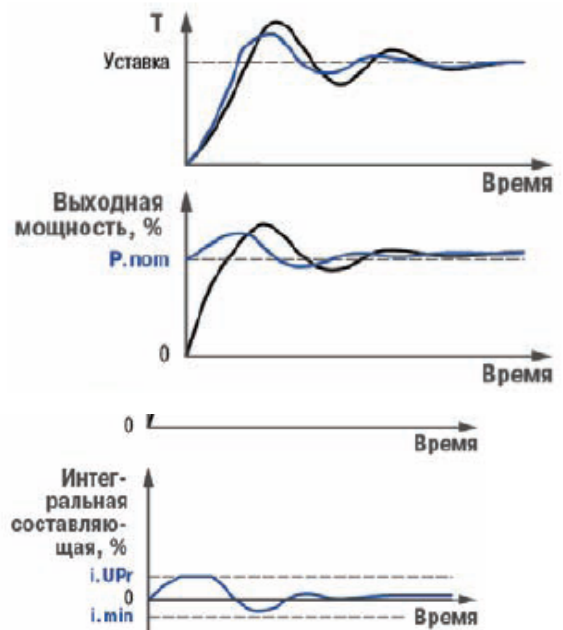


Рис. Ж.2

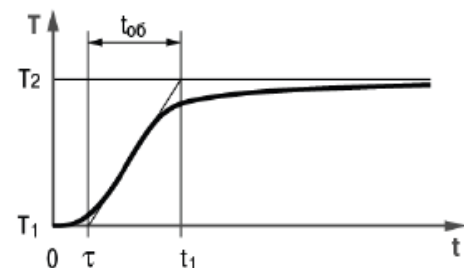


Рис. Ж.3. График переходной функции

Конкретное значение τ_d/τ_i задается с учётом реальных условий эксплуатации и характеристик используемых технических средств. Для того, чтобы определить оптимальное значение τ_d/τ_i необходимо сопоставить работу системы в реальных условиях эксплуатации при двух-трех различных значениях τ_d/τ_i (например, при τ_d/τ_i = 0,10; 0,15 и 0,25).

По умолчанию введено значение τ_d/τ_i = 0,15.