

SIEMENS

Регулирование на основе SIMATIC

Практическое пособие по регулированию
на основе SIMATIC и SIMATIC PCS7

Юрген Мюллер

с участием др.-инж. Волкер Хунгер
др.-инж. Бернд-Маркус Пфайфер

Перевод с немецкого
со 2-го издания, 2002 г.

Предисловие

В качестве сотрудника фирмы Сименс я много лет работал в области регулирования и управления процессами на базе систем SIMATIC S5 и S7. При этом поле деятельности простиралось от проектирования и установки программного обеспечения, участия в проектировании производств, от определения требований технических стандартов и проектировочных системных тестов до устранения неполадок и сервисных услуг потребителям как в своей стране, так и за рубежом. В качестве главного опыта этой многолетней работы в области техники регулирования – важнейшей области традиционной техники управления и автоматизации – я вынес убеждение, что те многие теоретические книги и пособия, которые относятся к технике регулирования, на практике часто помогают недостаточно и едва ли могут быть полезными советниками при решении проблем на конкретных установках. В настоящей книге дело должно быть по другому. Она должна проложить мост между теми теоретическими знаниями, которые большинству инженеров удалось сохранить в своей повседневной работе со времени учебы, и практическими требованиями в технике автоматизации на базе управляющих систем SIMATIC S7.

На этой основе определяются и цели предлагаемой книги. Она адресована всем тем, кто имеет дело с планированием, сбытом и реализацией, доводкой и пуском в эксплуатацию систем регулирования в производстве и в машиностроении на основе SIMATIC S7 и с автоматизацией регулирования в технологических установках на основе SIMATIC PC7. Это, как правило, персонал запуска, проектировщики и технологи, все инженеры, для которых техника регулирования, и особенно техника регулирования с программным управлением в серии SIMATIC, играет все возрастающую роль в их повседневной работе. Книга предложит практические рекомендации, простые формулы, прагматические “рецепты” и примеры из практики, чем окажет помощь практически работающим инженерам. Теория и школьные основы будут затронуты только слегка или цитированы там, где этого нельзя избежать. Все приведенные примеры относятся к реальным промышленным применениям и должны дать читателю побуждение и помощь в проектировании и вводе в действие его собственных устройств в технике регулирования.

Книга имеет по существу два направления:

- техника регулирования в машиностроении (серийное машиностроение / производство), в единичном изготовлении установок с малыми и средними размерами, в изготовлении установок в области средств производства и
- техника регулирования в управляющих установках, в средних и больших технологических установках.

Регулятор как часть общего автоматизированного решения в машиностроении, в том числе и в малом, сегодня реализуется еще под сильным влиянием отдельных элементов (аппаратурных или программных). На основе автоматизированной системы SIMATIC T.I.A. (Totally Integrated Automation – полностью интегрированная автоматизация) предложены, наряду со стандартными PLC-изделиями (англ. PLC - программируемые логические контроллеры; нем. SPS), и устройства - регуляторы, которые полностью унифицированы с системой SIMATIC. Для самых различных задач предложен ступенчатый ряд регуляторов в аппаратурном и программном исполнении.

Регуляторы как часть общего автоматизированного решения в управляющих установках являются составными частями общей системы, которая сегодня поставляется на рынок под названием SIMATIC PCS7 (Process Control System – система управления процессом).

Для проектирования и оптимизации эти различия (регуляторов как самостоятельных устройств и как частей общей системы) не играют никакой роли. Различия проявляются в затратах и в способе визуализации, при подключении к тревожной и информационной системе, а также при интеграции в связующую концепцию установки.

Эта книга дает множество примеров реальных применений, которые показывают технические решения на основе регуляторов SIMATIC.

Так отправимся же вместе со мной в захватывающее путешествие в мир техники регулирования SIMATIC, его окружение и типичные применения.

Карлсруэ, апрель 2002

Юрген

Мюллер

Содержание

	Стр.
1 Введение и обзор	11
1.1 Процессы и их характеристики	11
1.2 Регуляторы и их классификация	16
1.2.1 Деление по назначению и конструкции	18
1.2.2 Деление по примененным звеньям	21
1.2.3 Деление по регулируемым величинам	27
1.2.4 Деление по применяемым регулирующим структурам	29
1.2.5 Деление по регулируемым процессам	30
1.2.6 Деление по видам и источникам уставки	31
1.3 Применяемые обозначения	32
1.4 Регуляторы и их сигналы	34
1.4.1 Формы входных сигналов регуляторов PLC	35
1.4.2 Формы выходных сигналов PLC	36
2 Проектирование регулирования с SIMATIC S7	43
2.1 Обзор продукции регулирования SIMATIC	43
2.2 Выбор изделий регулирования	44
2.2.1 Техника подключения	46
2.2.2 Количественные параметры и динамика регулирования	50
2.2.3 Критерий качества и точность регулирования	54
2.2.4 Требования по надежности	57

2.2.5	Обслуживание и визуализация	58
2.2.6	Комплексность и гибкость	58
2.2.7	Помощь при наладке: автонастройщик PID Self-Tuner	59
2.2.8	Регулятор со встроенным настройщиком	60
2.3	Преимущества программных регуляторов и функциональных модулей FM	63
3	Исполнительные устройства и сенсоры регулирования	67
3.1	Влияние исполнительных органов на регулирование	67
3.1.1	Контакторы, реле и полупроводниковые реле	73
3.1.2	Вентили и задвижки	75
3.1.3	Заслонки и дроссельные заслонки	78
3.1.4	Магнитные вентили	78
3.1.5	Насосы и моторы с изменяемым числом оборотов	79
3.1.6	Исполнительные звенья дозирования	79
3.2	Влияние измерительной техники на регулирование	81
3.2.1	Измерительные сигналы от термоэлементов	83
3.2.2	Измерительные сигналы от резисторных термометров	86
3.2.3	Стандартные сигналы (0...10 В, 4...20 мА или 0...20 мА)	88
3.2.4	Принцип измерения при аналоговом считывании	90
3.2.5	Разрешение, точность и воспроизводимость	93
3.3	Подключение исполнительных устройств и сенсоров к PLC	94
4	Отображение регулирования	97
4.1	Мнемосхемы по DIN 28004	97
4.2	Проектная документация по DIN 19227, часть 1	101

4.3	Регулятор на панели проектирования	102
4.3.1	Программное регулирование в текстовом представлении STL	102
4.3.2	Модульное регулирование в представлении CFC	105
4.3.3	Параметрирование компактного регулирования	106
4.4	Программный регулятор на панели обслуживания	106
4.5	Панель обслуживания аппаратных регуляторов	109
4.5.1	Обслуживание регулирующих FM	109
4.5.2	Обслуживание регуляторов SIPART	110
5	Режимы работы	111
5.1	Обзор режимов работы	111
5.2	Режимы работы ручной и автоматический	113
5.2.1	Плавное переключение ручной/автоматический	113
5.2.2	Плавное переключение из автоматического режима в ручной	115
5.2.3	Переключение режимов ручной/автоматический со скачком	116
5.2.4	Переключение режимов автоматический/ручной со скачком	117
5.2.5	Переключение режимов автомат/безопасное управляющее воздействие	117
5.2.6	Переключение SPC или DDC / уставка безопасности	117
5.3	Запуск(программного) регулятора после перезапуска процессора	118
5.3.1	Запуск регулирующего контура со скачком	118
5.3.2	Плавный запуск регулирующего контура	119
5.4	Режимы работы регулятора после включения / выключения	121
5.4.1	Управляемый запуск контура управления	121
5.4.2	Управляемый запуск регулирующего контура	123

5.5	Безопасные режимы работы	123
5.5.1	SPC-резерв	123
5.5.2	DDC-резерв	124
5.5.3	Уставка безопасности	126
5.5.4	Безопасное управляющее воздействие	126
6	Функции процессного регулятора	127
6.1	Элементарные функции в ветви уставки	127
6.1.1	Внутреннее задание уставки	128
6.1.2	Внешнее задание уставки	128
6.1.3	Уставка плавного перехода	128
6.1.4	Ограничение уставки	129
6.2	Элементарные функции в ветви действительного значения	129
6.2.1	Фильтр	129
6.2.2	Нормирование	130
6.2.3	Линеаризация	130
6.2.4	Контроль за действительным значением	131
6.3	Элементарные функции определения регулирующей разности	131
6.3.1	Порог реагирования	131
6.3.2	Образование отношений в регуляторе отношения	132
6.4	Элементарные функции алгоритма	133
6.4.1	Standard PI- или PID-алгоритм с D-звеном в прямой ветви	133
6.4.2	Standard PI- или PID-алгоритм с D-звеном в цепи обратной связи	134
6.4.3	Standard PI- или PID-алгоритм с D-звеном в цепи возмущения	135
6.4.4	P-алгоритмы	136
6.5	Элементарные функции выдачи сигнала	138
6.5.1	Ограничение регулирующего воздействия	138

6.5.2	Элементарные функции образования бинарных сигналов	138
6.5.3	Ограничение ручного управляющего воздействия	139
7	Структуры регуляторов	140
7.1	Подключение возмущения	140
7.2	Регулирование с предупреждением	143
7.3	Регулирование отношения	144
7.4	Каскадное регулирование	146
7.5	Регулирование с раздельными границами	151
7.6	Регулирование вспомогательных величин	152
7.7	Переключающее или избирательное регулирование	153
7.8	Регулирование множества величин	156
7.8.1	Отрицательная связь	157
7.8.2	Положительная связь	158
7.8.3	Регулирование с предсказанием на основе модели	162
8	Вызов программного регулятора в PLC	169
8.1	Уровни временного прерывания и интервала считывания	169
8.2	Вызов в SIMATIC T.I.A.	169
8.2.1	Деление частей программы на циклические и с прерыванием	169
8.2.2	Разделение временных тактов и интервалов считывания функциональных звеньев	170

8.2.3	Распределение временных тактов с помощью модуля LP_SCHED	172
8.2.4	Построение модульного регулирования	173
8.3	Вызов в SIMATIC PCS7	176
9	Ввод в действие процессных регуляторов	178
9.1	Первые шаги	178
9.1.1	Инсталляция и проверка сигнальных связей	178
9.1.2	Направление действия процессного регулятора	178
9.1.3	Предварительная установка параметров регулирования	179
9.1.4	Линеаризация значений процесса	180
9.1.5	Установка импульсных формирователей	183
9.1.6	Установка каскадных регуляторов	186
9.2	Регистрация переходной характеристики процесса	187
9.2.1	Перечень проверок при подготовке	188
9.2.2	Первая запись	189
9.2.3	Участки (объекты) регулирования с инерционной характеристикой	190
9.2.4	Температурные участки с активным нагревом и пассивным охлаждением	192
9.2.5	Температурные участки с активным нагревом и активным охлаждением	195
9.3	Настроечные регулирования– выбор, границы и оценка	196
9.3.1	Установка интервала считывания при программном регулировании	199
9.3.2	Установка по Чен – Хроунз – Ресвику	200
9.3.3	Настроечное регулирование участков с запаздыванием по Циглеру–Николсу	201
9.3.4	Настроечное регулирование по скорости нарастания	202
9.3.5	Настроечное регулирование для последующей оптимизации	203
9.4	Ввод в действие с помощью автонастройщика PID Self-Tuner	206

9.5	PCS 7-PID-Tuner	209
10	Примеры	213
	Список литературы	214
	Стандарты, инструкции, сообщения и правила	215
	Применяемые сокращения	216

1 Введение и обзор

1.1 Процессы и их характеристики

Управление процессами¹ и их параметрами в промышленности является главной областью применения регулирующих приборов и устройств². В основном они существуют в форме отдельных регулирующих приборов или программных регуляторов и применяются в машиностроении для регулирования температуры, давления, потока жидкости, количества, дозирования, уровня, положения, позиции, скорости, расстояния, а также в технологии производства для регулирования концентрации, проводимости, вязкости, плотности, химического состава и т. д.

Такое широкое поле применений увеличивается еще больше за счет того, что почти в каждом регулировании существуют еще и различные производственные требования, которые делают классификацию области применения почти невозможной. В основном различают непрерывные производственные процессы и не непрерывные производственные процессы (загрузочные процессы, рецептурные технологии и т. д.), которые называют также прерывистыми, или событийно- дискретными процессами (поштучными процессами).

Почти каждое регулирование определенной физической величины дает свои собственные специфические проблемы, которые зачастую определяются применяемыми исполнительными устройствами и сенсорами³. Для них дает книга “Справочник по автома-

¹ Под процессом здесь понимается ограниченная система, в которой преобразуется и/или передается вещество, энергия и/или информация.

² Регулирующие приборы в общем случае включают и программное обеспечение. Оно охватывает по меньшей мере измерительный орган для управления регулируемой величиной, сравнивающее устройство для получения отклонения в регулировании, вычислитель для определения отклонения от установленного значения, которое обрабатывается в регулирующем процессе.

³ Технические устройства, которые воспринимают измеряемые значения. Сенсорами называют миниатюрные приемники значений измеряемых величин, снабженные интегральными электронными схемами (усилителями).

тизации процессов” [4]– наряду с подробным перечнем и обзором рынка – полное описание принципа действия и различные способы применения исполнительных и сенсорных систем при автоматизации процессов. Далее будут коротко объяснены особенности и различия отдельных моментов регулирования.

Температура

Управление производственными участками с температурным регулированием причисляется и сегодня (часто очень несправедливо) к “простейшим” задачам регулирования. Оно в большинстве случаев является несимметричным (с различным поведением при нагреве и при охлаждении) и при применяемых исполнительных и сенсорных устройствах имеет нелинейную характеристику. Следствием является медленный ввод в действие из-за длительного нагрева и охлаждения, а также из-за влияния на процесс термического выравнивания соседних производственных участков с температурным регулированием. Эти процессы затрудняют оптимизацию и отладку регуляторов¹. Хотя температурные регулирования относят к медленным процессам, оптимизация комплексных температурных участков тяжела, а внешние средства оптимизации на практике редко дают приемлемые результаты. Большинство термических процессов в станкостроении и в машиностроении оборудуются компактными регуляторами или программно реализованными регулирующими установками, не в последнюю очередь из соображений стоимости.

Для измерения регулируемых температур применяются резисторные термометры, термоэлементы и термометры на основе излучения (пирометры).

¹ Регуляторами являются блоки или программные функции, входящие как часть в регулируемую установку, которые содержат по меньшей мере устройства сравнения и вычисления. Вычислитель определяет коэффициент передачи регулирующей установки.

Давление

Регулировки давления считаются вообще быстрыми процессами, которые - в зависимости от обстоятельств - могут находиться на границе (по быстродействию) компактных регулирующих приборов и программно реализованных установок. По методам различают измерения давления и разности давлений

В технологии применяют главным образом статические системы измерения давления в жидких или газообразных средах. Участки с регулировкой давления в большинстве случаев являются чисто инерционными звеньями невысокого порядка и поэтому легко оптимизируются. Элементы оптимизации дают, как правило, очень хорошие результаты. Критичным для регулятора давления может быть случай, когда запирающий механизм в подводной системе должен реагировать быстро. Чтобы отрабатывать ударные повышения давления, предъявляются очень высокие требования к динамике регулятора и его исполнительных органов. С помощью соответствующих конструктивных мер машиностроение может помочь избежать больших расходов в части электроники.

Измерение давления выполняется индуктивными, пьезоэлектрическими или емкостными методами с помощью омических тензометрических линий (DMS – Dehnungsmessstreifen) или резонансными проволочными датчиками.

Поток и количество

Регулировки потока и количества играют важную роль в технологических установках; с точки зрения техники регулирования они ведут себя на практике подобно регулированию давления, хотя управление паузами может вызвать затруднения. Предпосылкой хорошего регулирования потоком или количеством является качественное и чувствительное исполнение датчиков (сенсоров). При регулировании потока жидкости на практике обычно имеются проблемы с датчиками, которые не являются таковыми строго и поэтому часто нагружают регулятор неправильно. Различие между измерительными сигналами, пропорциональными количеству или потоку, состоит в учете времени.

Для измерения потока или количества находят применение измерения действующего давления, подсчет перемещений, подсчет потока, измерение потока плавающих частиц, магнито-индуктивные измерения потока (MID – magnetisch-induktive Durchmessungen), кориолисовские измерители потока (CMD-Coriolis-Durchflussmessung) и ультразвуковые измерения (USD – Ultraschall-Durchflussmessungen). Современные измерители потока или количества часто выполняются как самостоятельные переносные приборы с собственным вычислителем и предоставляют комфортабельные вспомогательные устройства как для соответствующего нормирования измерительных сигналов, так и для предварительной индикации измеренных значений.

Дозирование

Дозирование – это отмеривание, выдача или отделение определенного количества. В технологии дозирование часто связано с рецептами. Оно может выполняться прерывисто или непрерывно. По определению регулирования, в смысле замкнутого рабочего контура, задачей дозирования является регулирование потока материала, и этим оно очень сходно с регулированием давления или количества. При регулировании дозирования происходит установленное воздействие путем добавки жидкой или твердой компоненты к процессу загрузки или же к непрерывному процессу. Эта задача выполняется дозирующими насосами, дозирующими ленточными конвейерами, барабанными, вибраторными и шнековыми дозаторами.

Для измерения регулируемых количеств используются упомянутые выше датчики давления и количества.

Уровень

Регулирование положением уровня в технологии часто имеет место в его чистом виде как просто управляемое и легко выполняемое с помощью P(D) регуляторов (т. е. пропорциональных или дифференциальных регуляторов). На практике вследствие ряда

учитываемых возмущений могут быть поставлены отдельные высокие требования при проектировании концепции регулирования.

Для измерения уровня и наполнения подходят поплавки, устройства смещения (плунжеры), измерители давления, емкостные и проводниковые измерители уровня, приборы измерения времени распространения и радиометрические, а также сигнальные датчики границы и веса.

Положение, позиция, скорость и расстояние

Положение, позиция, скорость и расстояние являются уже предельными случаями многих стандартных регулирующих приборов. Чистое регулирование положения в динамичной системе часто не может быть выполнено из-за скоростных ограничений. Исключением являются задачи медленного позиционирования, такие как компенсационное регулирование, позиционное регулирование валков и т. д.

Различают измерения положения, позиции, скорости и расстояния, всех их охватывают угловыми шаговыми датчиками, SSI-датчиками, импульсными датчиками и реверсивными счетчиками.

Химические параметры

Под регулированием химических параметров часто подразумевается регулирование концентрации, как, например, значения pH, кислотности и других биохимических измеряемых величин, которые могут быть получены только очень затратными методами анализа. Нередко при таких биохимических методах важную роль играют термические связи, как, например, температурное регулирование экзотермической реакции или температурное регулирование в колонке. Эти регулирования относятся в общем случае к задачам комплексного регулирования в области технологии, так как эти процессы часто очень нелинейны, изменчивы во времени, имеют паузы и/или несимметричны.

Чтобы выполнить идеальный проект для такого регулятора, необходима очень производительная вычислительная система. Проектирование и ввод в эксплуатацию такой отдельной системы может быть очень дорогим. Из этих соображений применение компактных регуляторов-приборов или программно оснащенных регулирующих устройств для подобных процессов широко распространено в промышленности несмотря на указанные проблемы. К тому же нельзя недооценивать при проектировании и затраты на ввод в действие и оптимизацию в случае большой системы.

Структуры регуляторов в программном обеспечении свободно программируемых (универсальных) регуляторов или стандартных регулирующих приборов, предоставляют, как правило, достаточно возможностей воздействия, чтобы справляться с накладками в управлении. Программные решения нечеткой логики (Fuzzy) предлагают пользователю очень гибкий инструмент, которым он может выявлять и обрабатывать перекрывающиеся контуры управления.

Как примеры техники химического анализа могут быть названы: измерение значения pH, анализ кислотности, измерение влажности, анализ загазованности, сигнализаторы газовой опасности, измерение вязкости, а также фотометрия, газохроматография, масс-спектрография и т. д.

1.2 Регуляторы и их классификация

Регуляторы – в смысле собственно регулирования – есть функциональные элементы, которые в зависимости от измеренной технически (сенсором) величины процесса воздействуют по математически точному правилу на физическую величину в замкнутом контуре с помощью активного органа. Это показано на рис. 1.1.

Практически регуляторы содержат не только вычислительное правило (алгоритм), но имеют и ряд управляющих функций для обслуживания, наблюдения, обеспечения безопасности и возможностей переключений в контуре управления.

Все в дальнейшем описываемые регуляторы (PID – регуляторы, т. е. состоящие из звеньев пропорциональной передачи, интегрирующих и дифференцирующих), по существу делятся по назначению: образование входного сигнала, формирование требуемого значения, формирование регулирующей разности, алгоритм (P, I, D, Z – звенья) и формирование выходного сигнала. Для каждого звена регулятора есть ряд различных дополнительных – по выбору – функций, применение которых существенно влияет на характеристики регулятора и определяет классификацию множества регуляторов и их типов.

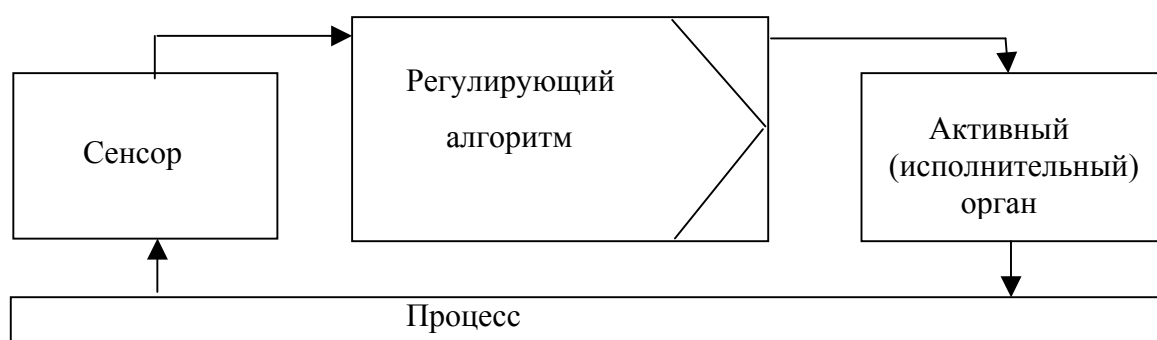


Рис. 1.1 Принцип прохождения сигнала при регулировании

Наряду с указанными возможностями классифицировать регуляторы и регулирующие устройства по их параметрам имеются и другие возможности их деления. Это многообразие различных понятий – зачастую с одинаковым значением – увеличивает предполагаемую сложность проблемной области “техника регулирования”.

В нормале DIN 19225 от 1981 года “Терминология и классификация регуляторов” сопоставляются подобные понятия. Слову “регулятор” можно сопоставить различные

дополнительные определения (например, температурный регулятор, компенсирующий регулятор, регулятор процесса, PI-регулятор, двухпозиционный регулятор, следящий регулятор, регулятор состояния и т. д.), и уже получается необозримое множество понятий, с которым часто и эксперты приходят в замешательство. Ниже даем только выборку примеров регуляторов и их деления.

1.2.1 Деление по назначению и конструкции

Промышленные регуляторы

Понятие “промышленный регулятор” часто применяют для обозначения отдельного регулирующего прибора в машиностроении или в малом машиностроении, причем эти приборы обычно применяют для регулирования температуры, давления, уровня. Регуляторы этого типа отличаются надежными и согласованными устройствами сопряжения с процессом (аналоговыми или бинарными) для считывания измеряемых значений и установки задаваемых значений, имеют собственный микропроцессор со своей панелью управления и устройством подключения к управляющей системе. Промышленные регуляторы часто встраивают в пульты управления или в дверцу шкафа включения, т. е. вблизи механизмов.

Приборы регулирования процесса

Приборы регулирования процесса выполняются подобно промышленным регуляторам, с надежными, универсальными и расширяемыми устройствами сопряжения с процессом для считывания измеряемых значений и установки задаваемых значений, с собственными функциями оптимизации, а также с собственным микропроцессором со своей панелью управления и устройством подключения к общей системе. Дополнительно эти приборы имеют функции регулирования, которые делают возможным регулирование всех основных процессов. Приборы регулирования процесса часто устанавливаются в контрольно – измерительной системе и могут иметь довольно развитые связи с подключенной системой управления процессом.

Универсальные регуляторы

Универсальный регулятор есть регулятор процесса в виде вставляемой карты (платы), которая устанавливается в свободно программируемые системы (SIMATIC S7 / C7 / M7 или в PROFIBUS – систему). На основе отказа от собственной панели управление регулятором может быть очень гибко и универсально интегрировано в уровень обслуживания имеющегося управляющего пульта процесса. В качестве регуляторов процесса универсальные регуляторы имеют надежные и универсальные устройства сопряжения с процессом (аналоговые и бинарные) для считывания измеряемых значений и выдачи устанавливаемых значений, а также собственные функции оптимизации. Связи с подключаемой системой управления выполняются по собственной встроенной шине или по PROFIBUS.

Специальные, или отраслевые регуляторы

Специальные регуляторы – это регуляторы, которые проектируются и оптимизируются для отдельных отраслей. В машиностроении для обработки синтетических материалов или в автоматизации внутри зданий регуляторы имеются в виде отдельных приборов или очень компактных микрокомпьютерных систем со специальным алгоритмом регулирования. При этом их дополнительные управляющие и считывающие функции выполняют специфические требования значительно лучше, чем универсальные регуляторы или “простые” регуляторы процесса. Имеется ряд специальных проектов в спектре системы SIMATIC, которые представляют многообразие специальных регуляторов.

Программные регуляторы

Все программные регуляторы в спектре SIMATIC являются регуляторами процессов, т. е. универсальными регуляторами, так как они применимы универсально, могут быть расширены на основе собственных дополнительных функций и могут быть конфигурируемы в универсальные регуляторы с помощью широкого спектра периферийных устройств и переносных приборов SIMATIC S7. С возможностями визуализации SIMATIC они превосхо-

Таблица 1.1 Обзор видов производимых регуляторов и их типичные представители в системе SIMATIC

		Регулятор			
	Промыш- ленный регулятор	Регулятор процесса	Универ- сальный регулятор	Специаль- ный, или отраслевой регулятор	Программный регулятор
Отдельный прибор	SIPART DR19	SIPART DR22, DR24	-		
Аппаратурная группа в SIMATIC S7			FM ¹ 355 FM 455		
Аппаратурная группа в SIMATIC S5			IP ² 262	IP 244	
Программная группа в SIMATIC S7					PID Control Standard PID Control Modular PID Control
Программная группа в SIMATIC S5					OB251, R64 Regelung 100U Modulare Regelung

¹ FM –сокращенное обозначение функционального модуля (конструктивно самостоятельный или встраиваемый модуль SIMATIC S7)

² IP – сокращенное обозначение для интеллектуальной периферии (конструктивно самостоятельный или встраиваемый модуль SIMATIC S5)

дят гибкость приборов регулирования процессов. При этом все же заметны повышенные затраты на проектирование и запуск в эксплуатацию.

В то время, как все аппаратурные регуляторы (промышленные регуляторы, регуляторы процессов и универсальные регуляторы) являются автономными регулирующими устройствами и поэтому часто применяются в установках с высокими требованиями к надежности, программные регуляторы всегда привязаны к процессору, и при отказе или зависании процессора не могут далее выполнять свои функции. На основании этого сегодня в установках технического управления на передний план выходят смешанные формы регуляторов (управляющие программные регулирующие структуры с подчиненными резервными аппаратурными регуляторами). (Обзор продукции SIMATIC дан в таблице 1.1)

Продукцию программного регулирования можно сегодня разделить на три группы:

- компактные регулирующие структуры
- модульные регулирующие функции
- инструментarii оптимизации и ввода в действие.

1.2.2 Деление по примененным звеньям

На основе задания параметров (детализированных выбором структурной схемы) пользователь определяет тип регулятора. Функция определенного типа регулятора лучше всего выясняется, когда регулятор проверяется в разомкнутом контуре.

При этом на входе регулятора сохраняют постоянное действительное значение, а на аналоговый выход регулятора подключают записывающее устройство или графическую функцию (например, изображение тренда в системе управления и наблюдения WinCC фирмы Сименс). Требуемое значение (уставка) может устанавливаться “нормальным обслуживанием” регулятора или введением аналогового значения. При этом отсутствует обратная связь выходного сигнала на вход.

Разность между нормированным требуемым значением и нормированным действительным значением показывает регулирующую разность (0...100%), которая обычно обозначается буквой “е” (сокращение от английского “error signal”). Регулятор, или лучше сказать заданное в регуляторе правило вычисления (алгоритм), реагирует на возникающую регулирующую разность.

P – регулятор

В P – регуляторе, как показано на рис. 1.2, возникающая регулирующая разность умножается на коэффициент пропорциональности K_p . Иногда вместо K_p (коэффициента передачи, или коэффициента усиления) применяют величину X_p . Зависимость между K_p и X_p описывают формулой 1.1:

$$K_p^1 = 1 / X_p \quad (1.1)$$



Рис. 1.2 Переходная характеристика P-регулятора в разомкнутом контуре

¹ Выражение действительно, если усиление контура постоянно в рабочей области.

Результат умножения коэффициента усиления на регулирующую разность является пропорциональной частью (его называют Р–частью). При значении $K_p = 0$ весь регулятор отключается.

PI-регулятор

PI-регулятор объединяет пропорциональную часть и интегральную часть (I-часть). Время установления T_n приводит постоянно действующую регулирующую разность более или менее быстро к росту или уменьшению I-части, в зависимости от знака регулирующей части. Это показано на рис. 1.3.

В терминологии SIMATIC вместо T_n (время установления) в большинстве случаев применяют обозначение T_I (постоянная времени интегрирования). В соответствии с продукцией в документации указывают, какое из обозначений применено. Если выход регулятора (не только I-звена) достигает установленного для регулятора граничного значения, то интегратор¹ должен быть для этого направления заперт. Говорят также о блокировании I-звена на границе регулирования, во избежание перегрузки.

Результат перемножения коэффициента усиления, регулирующей разности и времени установления и называют интегральным звеном (I-звеном).

Внимание: При увеличении значения T_n регулятор реагирует медленнее, при уменьшении значения T_n регулятор реагирует быстрее.

Если же значение T_n будет выбрано меньше удвоенного интервала отсчетов, то это приведет к искажению работы выхода регулятора (регулятор возбуждается).

¹ Интегратор, или интегрирующее звено, есть вычислительное звено, которое из действительного процесса аналогового входа образует на выходе его временной интеграл.

Значение $T_n = 0,0$ не допускается, так как при нем алгоритм должен будет выполнять деление на 0. Это обнаруживается проверкой параметров в программном обеспечении всех регуляторов производства Сименс. Многие программные продукты (например, STANDARD PID CONTROL) имеют в таком случае собственный параметр ($I_SEL=TRUE$) для активизации I-звена.

PD- T_1 -регулятор

PD- T_1 -регулятор объединяет пропорциональную часть и действительную дифференциальную часть (D-части). Параметр T_v при изменении регулирующей разности вызывает скачкообразное изменение D-части в зависимости от знака регулирующей разности. Со временем D-часть самостоятельно возвращается с постоянной времени T_1 к е-функции, при условии, если регулирующая разность не изменяется. Это показано на рис. 1.4.

В случае регулятора процесса функция D-звена дает возможность определять величину скачка D-части. Предварительная установка коэффициента упреждающего усиления V_v соответствует множителю 5. Это значение обосновывается исторически. Когда регуляторы строились еще на дискретных элементах с операционными усилителями, это значение задавала определенная комбинация резисторов. С первыми дискретными регуляторами (программно/аппаратными) было принято это же значение. Иногда кажется целесообразным его изменить. Решающим фактором для действия D-звена является площадь, которая образует интеграл дифференцирующего звена (заштрихованная область на рис.1.4).

Значение V_v в регуляторах SIPART устанавливается соотношением по формуле 1.2. При этом T_1 есть постоянная времени запаздывания, с которой D-часть стремится к 0, а T_A - интервал отсчетов регулятора.

$$V_v = (K_p \cdot u(t) \cdot T_v) / (T_1 + T_A / 2) \quad (1.2)$$

При значении $T_v = 0$ D-звено выключено. Обычно устанавливается фиксированное отношение $V = T_v / T_1 = 5$.

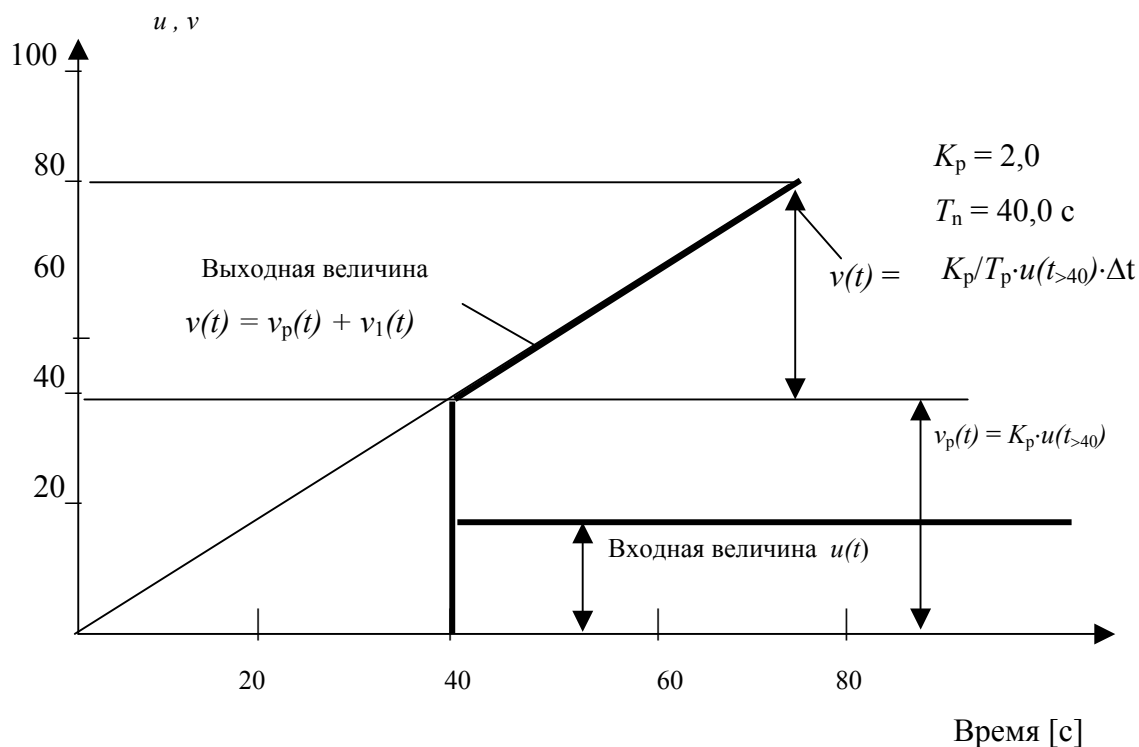


Рис. 1.3 Переходная характеристика PI-регулятора при разомкнутом контуре

PID- T_1 – регулятор

Алгоритм PID- T_1 объединяет все приведенные функциональные части. Этот алгоритм положен в основу большинства регуляторов SIMATIC (например, STANDARD PID CONTROL, MODULAR PID CONTROL, CTRL_PID в PCS7). Он показан на рис. 1.5. На основе возможности выключать отдельные части установкой значений параметров в 0 он охватывает в такой форме и все другие регуляторы (P-, PI- и PD- регуляторы).

Особые формы

Особую форму представляют параметрически управляемые регуляторы, как, например, $P^2(I)D$ -регулятор или зонный регулятор. У этих регуляторов выше описанные звенья изменяются под управлением более высокого уровня для обеспечения желаемых результатов с определенными значениями процесса. Такое параметрическое управление в регуляторах процесса рекомендуется только для P - или PD -регуляторов. В регуляторах с работающим I -звеном такое параметрическое управление проблематично.

Автонастройщик PID-Self-Tuner (версия 5) обеспечивает все же зонное регулирование с I -звеном и решает для пользователя эту проблему.

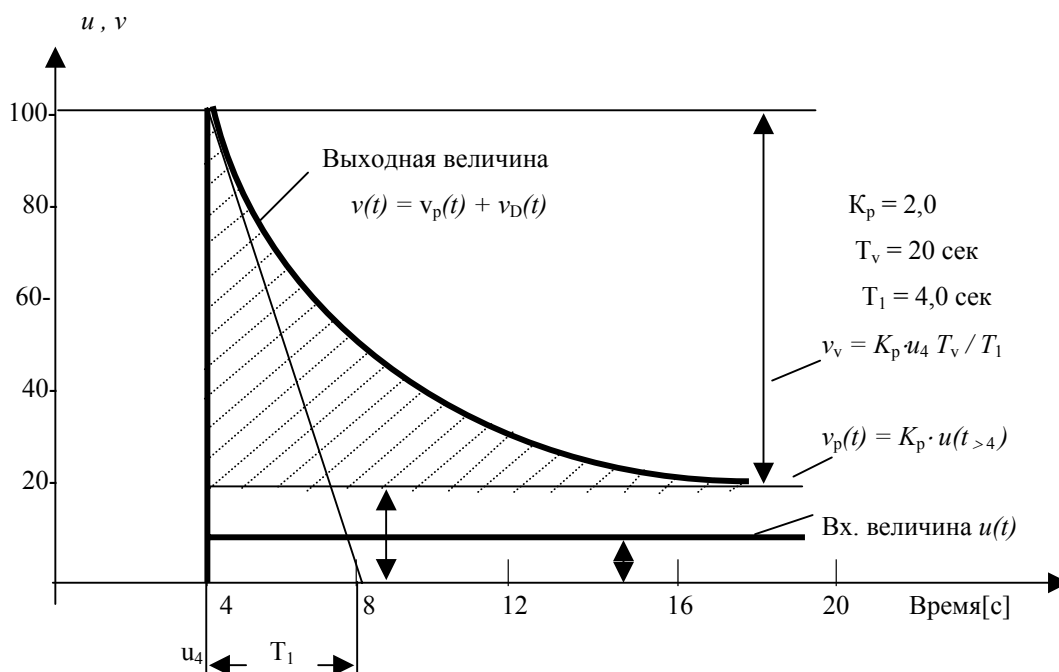


Рис. 1.4 Переходная характеристика PD- T_1 -регулятора при разомкнутом контуре

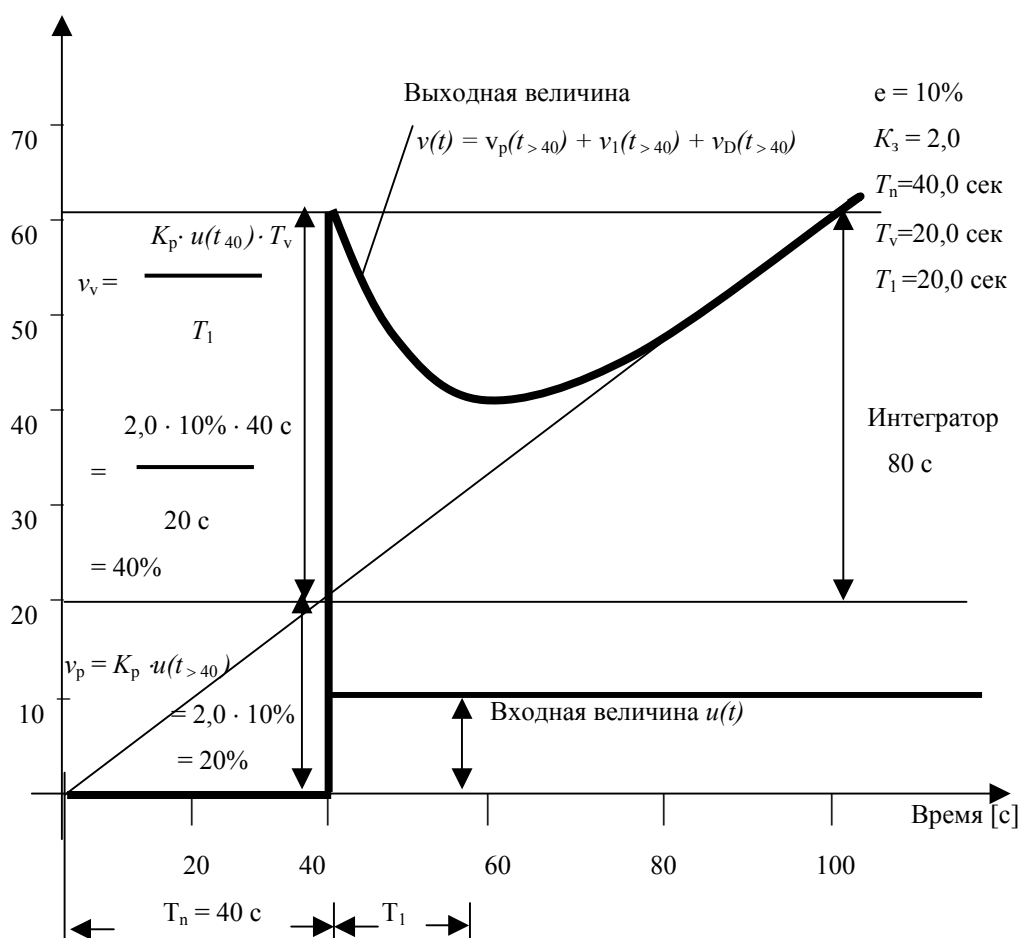


Рис. 1.5 Переходная характеристика PID- T_1 -регулятора при разомкнутом контуре

1.2.3 Деление по регулируемым величинам

Регуляторы часто определяют по области их применения, по регулируемым величинам процесса. При этом в основном имеются в виду регуляторы температуры, давления, уровня и положения.

Регуляторы температуры

Область применения температурных регуляторов очень широка, и преобладающая часть всех современных регуляторов со свободно программируемым управлением являются регуляторами температуры. Из-за больших временных задержек в объектах температурного регулирования к температурным регуляторам большей частью предъявляются очень незна-

чительные динамические требования. Но существуют и виды температурного регулирования (например, при производстве и обработке синтетических материалов), которые ставят столь высокие требования к структуре выходного сигнала регулятора, что при этом необходимы специальные сложные аппаратные построения. Это будет подробнее показано в главах 2, 6, 8 и 9. Стандартные температурные объекты могут в большинстве случаев хорошо регулироваться PI- или PID-регуляторами. Проблемы можно ожидать только разве в части оптимизации при вводе в эксплуатацию – из-за длительного времени установления и несимметричной характеристики объекта.

Регуляторы давления

Из-за малых временных задержек в объектах (участках) регулирования давления к таким регуляторам часто предъявляются значительно более высокие динамические требования. В технологии регуляторы давления применяются в большом количестве. Они более или менее сильно управляют текущей массой с помощью соответствующего установочного органа. Нормальные объекты регулирования давления могут хорошо регулироваться с помощью PID-регуляторов. При вводе в действие регулировки давления важную роль играет сглаживание помех, которое в большинстве случаев выполняется с помощью соответствующих структурных изменений (например, подключением компенсатора помех, регулировкой каскадов и т. д.). Специальным видом регулятора давления является регулятор разности давлений. Он отличается от регулятора давления только видом регистрации действительного значения процесса .

Регуляторы потока

Регуляторы потока часто подобны регуляторам давления. Все же на практике зачастую возникает проблема точного измерения потока. В публикациях [4], [6] и [7] можно найти подробные основы и обширную информацию по исполнительным блокам. Динамика контура регулирования давления частично зависит от того, в какой рабочей области действует регулятор. Дополнительное возмущающее влияние на регулирование оказывают нелинейность исполнительных блоков (существует термин “равнопроцентная характеристика”) и эпизодические паузы.

Регуляторы уровня

Регулятор уровня, называемый также регулятором положения или высоты, регулирует положение уровня жидкости. В большинстве случаев уровень хорошо регулируется Р- или PD-регуляторами.

1.2.4 Деление по применяемым регулирующим структурам

В некоторых применениях требуется включать множество регуляторов в регулирующую структуру. Основными видами являются:

Каскадный регулятор

Если при одноконтурном регулировании не достигается удовлетворительный результат, то можно улучшить регулировочную характеристику применением дополнительных измеряемых величин процесса. Каскадный регулятор состоит из одного ведущего регулятора и одного следящего (ведомого) регулятора. Выход ведущего регулятора используется как требуемое значение для следящего регулятора. Следящий регулятор регулирует “только” частичный процесс, а ведущий регулятор регулирует весь процесс. Каскадный регулятор будет подробнее рассмотрен в главе 7.

Регулятор отношения

В некоторых процессах важнее соотношение двух или нескольких составляющих, чем абсолютное значение регулируемых величин. В этом случае применяют регулятор отношения. Примером служит газо-воздушная смесь при горении. Регулятор отношения измеряет, например, поток воздуха и соответственно регулирует подачу воздуха в установленном соотношении. Задаваемым параметром регулятора отношения является, следовательно, безразмерная величина – отношение (коэффициент). Регулятор отношения будет подробнее рассмотрен в главе 7.

Регулятор смеси

При регулировании смеси смешиваемые компоненты должны выдерживаться в определенном процентном соотношении – подобно регулированию отношения. При этом регулятор отношения используется как следящий регулятор, с которым связан ведущий регулятор. Эту особую форму регулятора отношения называют также каскадным регулированием отношения, или регулятором смешивания. Чтобы приведенный выше пример с горением перенести на каскады отношения, можно рассматривать температурный регулятор как ведущий, который опрашивает температуру и управляет вентилем подачи воздуха. Далее следящий регулятор регулирует смесь (соотношение) из газа и воздуха. Регулятор смешивания будет подробнее рассмотрен в главе 7.

1.2.5 Деление по регулируемым процессам

На примере регулятора нагрева можно показать, что регуляторы можно разделять по видам регулируемых процессов. В большинстве случаев такие “регуляторы” оснащены настоящими комплексными регулирующими структурами и рядом дополнительных переключательных функций, которые не выполнимы с помощью средств классической техники регулирования или очень дороги.

Как раз здесь и проявляются преимущества открытых и гибких возможностей свободно программируемого управления, чтобы надежно и экономично реализовать такие “сложные отраслевые структуры”. Регулятор нагрева легко объясняется, несмотря на его часто сложное построение. Почти каждый домовладелец имеет в подвале регулятор нагрева. Такой вид регулятора обладает и своими особыми функциями (как, например, график температуры в котле, включение теплового насоса, собственная адаптивная оптимизация времени нагрева, временная программа включения и т. д.). График нагрева, который встроен в каждый регулятор нагрева, устанавливает требуемое значение для обеспечения первичной температуры подогреваемой воды (температуры воды в котле) в зависимости от внешней температуры.

1.2.6 Деление по видам и источникам уставки

В зависимости от вида и источника требуемых значений (уставок) регуляторы можно разделить на следующие группы:

Регуляторы постоянных величин

Одноконтурный регулятор с однозначно заданным или переключаемым при обслуживании номинальным параметром – уставкой (SP – set-point – установка) называют регулятором постоянной величины. Таким образом, задаваемое значение процесса (уставка) есть величина постоянная, которая может быть изменена при обслуживании. Рис 1.6 показывает прохождение сигнала регулятора постоянной величины. Задание значения процесса всегда возможно при обслуживании.

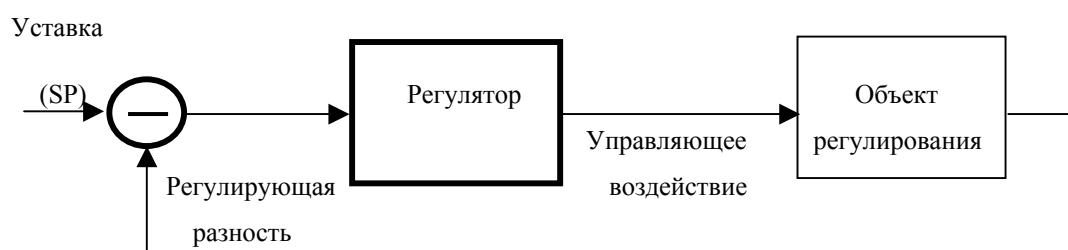


Рис. 1.6 Прохождение сигнала в регуляторе постоянной величины

Следящий регулятор

В отличие от описанного выше регулятора постоянных величин задаваемое номинальное значение процесса – уставка - (SP) в следящем регуляторе является величиной, получаемой из аналогового значения и программно переключаемой. Источником этого сигнала может быть, например, формула (в корректирующем вычислителе), график или предшествующий регулятор. Прямое задание SP с пульта управления здесь невозможно.

Ведущий регулятор

В отличие от следящего (ведомого) регулятора ведущий регулятор не выдает свое управляющее воздействие (LMN) прямо на периферию или на управляющее звено, но выходное значение с него обрабатывается или переключается далее в соответствии с общей концепцией регулирования. Это может быть, например, выбор максимума или минимума, задание характеристики или уставки (SP) для другого регулятора (например, следящего).

Регулятор временного планирования / программный

Если уставка (SP) для регулятора постоянной величины задается последовательностью его значений из системы управления, например, от процессора, от контура уставок, от временного датчика или от программной функции с временным управлением, то говорят о программном регуляторе, или регуляторе временного планирования.

1.3 Применяемые обозначения

Стандарты DIN применяют обозначения (формально-математические), которые в графически – ориентированных инженерных системах SIMATIC (CFC-представлениях, программных редакторах, параметрических процедурах и т. д.) не всегда или не полностью могут быть воспроизведены. Поэтому при определении понятий в SIMATIC принимались во внимание английские или международные понятия. Новые обозначения ориентированы в первую очередь на международный рынок и нормы IEC 1131-3. Таблица 1.2 показывает взаимосвязь обозначений DIN-стандартов и обозначений, применяемых в SIMATIC.

Таблица 1.2

Взаимосвязь между обозначениями стандарта DIN 19226 и обозначениями, обычно применяемыми в SIMATIC–продукции регулирующей техники

Значение формульного обозначения	Обозначение по DIN 19226 или DIN 19221	Обозначение по SIMATIC S5 (IP262) и SIPART	Обозначение по SIMATIC S7 ¹	Обозначение по SIMATIC PS7 ²	Понятие в между- народном употреблении
Интервал считывания (отсчетов)	T_A		CYCLE	SAMPLE_T	Sample time
Номинал		w	SP	SP	Set point
Действующее значение		x	PV	PV	Peripherie value, process value
Регулирующая разность	$u(t)$	xd	ER	ER	Error signal
Управляющее (устанавливаемое) значение	$V(t)$	y	LMN	LMN	Loop manipulated value
Коэффициент передачи	K_p	Kp	GAIN	GAIN	Gain
Время установки	T_n	Tn	TN	TN	Reset time
Упреждение	T_v	Tv	TV	TV	Rate time
Задержка, постоянная времени	T_l	Tl	TM_LAG	TN_LAG	Delay time
Пауза	T_t	Tt			Dead time
Время запаздывания	T_U				
Время установления	T_G				
Время установки мотора		Ty	MTR_TM		Motor manipu- lated value
Длительность периода		Tr	PER_TM		Pulse generator period time

Указание: В дальнейшем тексте настоящей книги будут применяться обозначения SIMATIC T.I.A.

¹ Относится к опционному пакету (Standard PID Control, Modular PID Control и т. д.) и к интегрированным в STEP7 регуляторам (PID Control), а также к функциональным модулям (FM355, FM455) спектра SIMATIC.

² Относится к элементам техники регулирования (CTRL_PID, CTRL_S и т. д.) в библиотеке стандартов PCS7.

1.4 Регуляторы и их сигналы

Строго говоря, эта глава могла предшествовать предыдущей. Регуляторы, естественно можно классифицировать и по виду их входных и выходных сигналов. Это практикуется и в DIN 19225; на рис.1.7 дан обзор различных регуляторов.



Рис. 1.7 Обзор различных регуляторов по DIN 19225

Из соображений наглядности и значимости в технике регулирования в настоящей книге отведена для этого отдельная глава, которая относится не ко всем регуляторам, указанным в DIN-стандарте, а объясняет только те, которые применяются в промышленной области программируемого управления. Регулирующие изделия SIMATIC работают только с цифровыми сигналами. Аналоговые входные модули (например, 0...10 В, 4...20 мА) и цифровые узлы или функциональные модули (например, модули с помехозащищенным входом – SSI, модули счетчиков и т. д.) преобразуют эти значения непосредственно или с помощью программных функций в цифровые сигналы, которые далее в процессоре могут

преобразовываться в формат REAL или INTEGER или в любую другую цифровую кодовую информацию.

1.4.1 Формы входных сигналов в регуляторах PLC

В практике техники регулирования входными сигналами (действительными величинами, задаваемыми номинальными величинами) являются дискретизированные аналоговые сигналы. Типичный сигнал показан схематически на рис. 1.8.

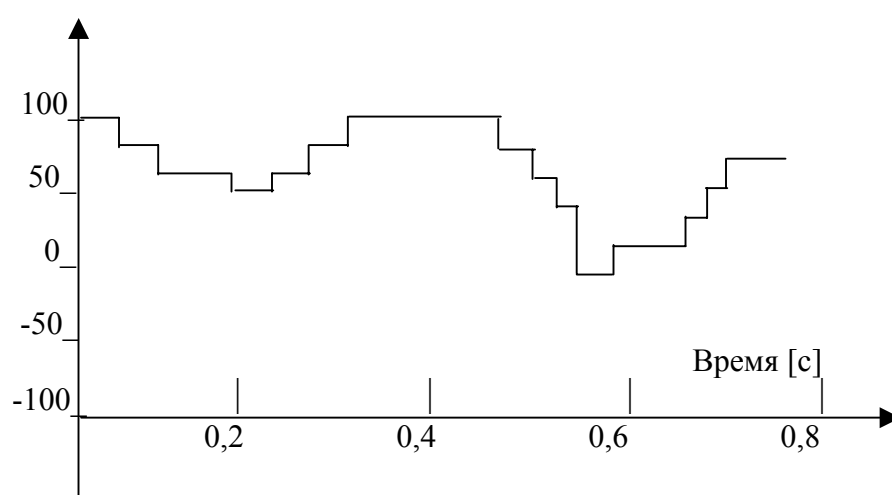


Рис. 1.8 Оцифрованный аналоговый сигнал, с непрерывными значениями и дискретизированный во времени .

При этом только изредка используется отрицательная область. Наиболее часто при регулировании применяется нормированная область 0...100% . Сигналы со счетчиков также используются, но они в практике регулирования с программируемым управлением играют скорее подчиненную роль. Представителями такого вида сигналов является, например, считывание действительных значений при регулировании числа оборотов водяных турбин и при регулировании количества тепла в автоматике зданий. Рис.1.9 показывает импульсный вид кодированного бинарного сигнала.

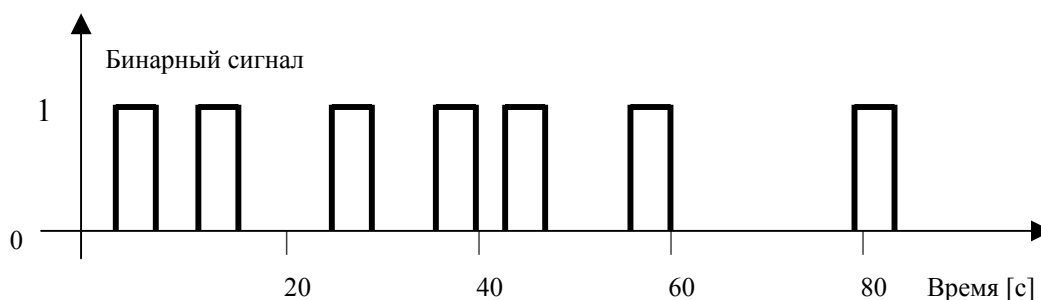


Рис. 1.9 Последовательно кодированный бинарный сигнал (сигнал со счетчика)

1.4.2 Формы выходных сигналов в регуляторах PLC

Непрерывный регулятор

Для управления аналоговым исполнительным элементом (0...100%, 0...10 В, 0...20 мА) необходим регулятор с непрерывным выходным сигналом. Эта выходная функция представляет основную форму всех выходных функций регулятора. Аналоговое численное значение, вычисленное по алгоритму регулирования, нормируется в установленный диапазон 0%...100% (иногда также -10%...+100%) или -100%...+100%. Регуляторы SIMATIC работают по принципу алгоритма положения¹. Границы выхода установочных значений могут быть изменены пользователем с помощью параметров “Верхнее граничное значение” или “Нижнее граничное значение”. На рис. 1.8 уже показан дискретизированный аналоговый сигнал, непрерывный по его значению и дискретный по времени. Этот ступенчатый сигнал в современных управляющих системах настолько точен, что может считаться квазианалоговым.

¹ Известный из SIMATIC S5 алгоритм скорости больше не применяется в SIMATIC S7.

Алгоритм положения вычисляет непрерывный аналоговый выходной сигнал, алгоритм скорости вычисляет дифференцированный выходной сигнал и выдает также приращение положения.

Двухпозиционный релейный регулятор

Под двухпозиционным релейным регулятором (без обратной связи) часто понимают чистый граничный сигнализатор с устанавливаемым гистерезисом (HYST), как показано на рис.1.10. Этот вид регулятора не принадлежит к группе PID-регуляторов, он очень просто реализуется вспомогательными средствами техники управления. Здесь он упомянут только для полноты материала и далее не рассматривается.

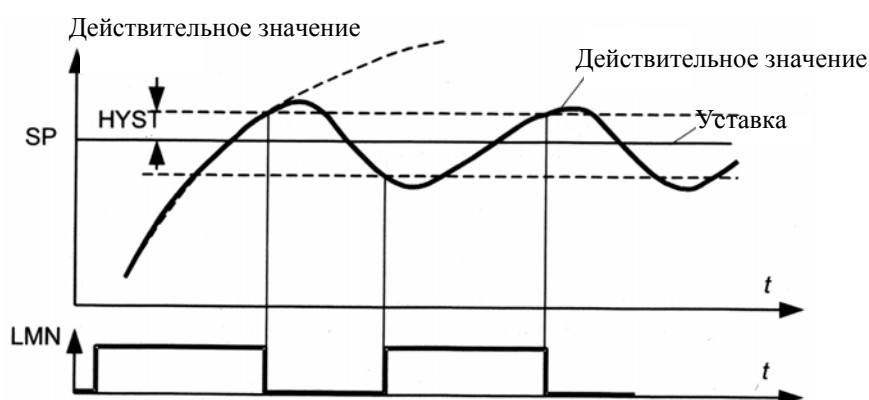


Рис. 1.10 Переходная характеристика двухпозиционного релейного регулятора

Релейный PID-регулятор

Релейный PID-регулятор часто обозначается как регулятор с импульсно-модулированным или широтно-импульсным модулированным аналоговым сигналом, или по DIN 19226 как “регулятор с прерывистым аналоговым сигналом”. Различают релейный PID-регулятор с двухпозиционной характеристикой (по терминологии SIMATIC также импульсный регулятор) и релейный PID-регулятор с трехпозиционной характеристикой. Объект регулирования, включая исполнительный элемент, определяет, какой из этих регуляторов подходит для применения. Релейный регулятор с двухпозиционной характеристикой применяется для объектов с неинтегральным поведением, а релейный регулятор с трехпозиционной характеристикой - для исполнительных элементов с интегральным поведением.

Не всегда можно легко и сразу определить, является ли исполнительный элемент или характер процесса интегрирующими сами по себе. В цепи физических преобразований (элек-

трической энергии во вращательное движение, вращательного движения в положение, положения в температуру и т. д.) может быть где-нибудь спрятан интегрирующий эффект, и это определит выбор структуры выхода регулятора. Выяснить, которую из структур следует выбрать, является задачей ввода в действие или проектирования. При неопределенности физического принципа действия исполнительного элемента, включенного в контур, или же характера объекта управления техническую ясность можно получить с помощью импульсного запуска объекта (т.е. подачи на вход объекта единичного скачка и наблюдения переходной характеристики).

На рис.1.11 показаны следующие случаи:

- В случае 1 после подъема температуры в управляемом состоянии при последующем отключении температура начинает падать и приближается к температуре помещения. Содержащаяся в системе энергия не сохраняется. Из-за излучения и потерь система стремится к исходному энергетическому уровню. Такое поведение дал бы электро-

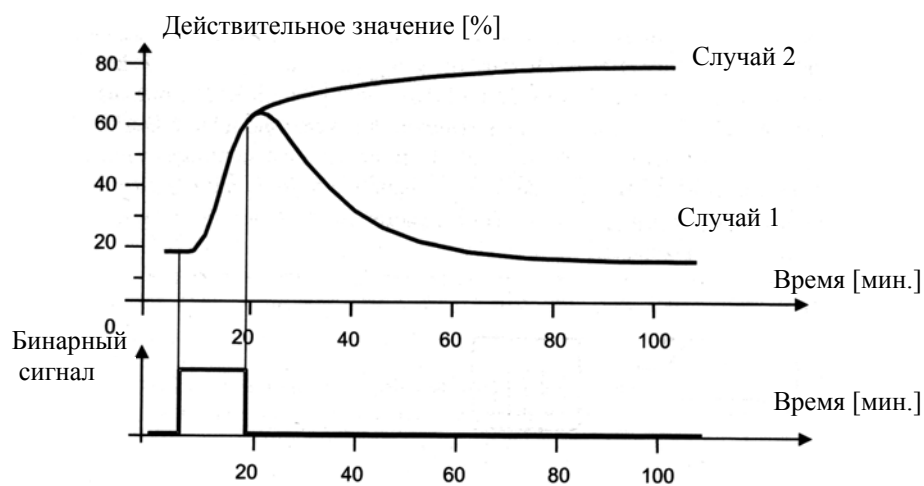


Рис.1.11 Проверка характера объекта на интегральное поведение

нагрев с релейным управлением. Таким образом, здесь речь идет о неинтегрирующем характере объекта управления.

- В случае 2 система остается при достигнутой температуре или еще немного повышает ее (устройство прогрелось). Имеющаяся в системе энергия сохраняется. Такое поведение бывает при автоматически управляемом вентиле. Этот вентиль управляет потоком с помощью шпинделя, который при остановке мотора остается в имеющейся позиции. Такое интегрирующее поведение объекта вызвано его исполнительным звеном.

Внимание: Имеются и трехпозиционные импульсные регуляторы с нагревом / выключением / охлаждением и широтно-импульсной модуляцией (например, в экструдере синтетических материалов). При этом речь идет о регуляторе с разделенными границами¹ с импульсным формирователем.

Релейный PID-регулятор с двухпозиционной характеристикой

В этом случае речь идет о релейном регуляторе с двухпозиционной характеристикой (или с выходной характеристикой с широтно-импульсной модуляцией). В DIN 19226 такая форма сигнала обозначается также как прерывистый аналоговый сигнал. Как показано на рис. 1.12, регулятор с аналоговым выходом выдает такое значение LMN на коммутируемый широтно-импульсный модулятор. Тот преобразует аналоговое значение в бинарный сигнал, который подводится к неинтегрирующему исполнительному звену (случай 1). В регуляторе это обычно переключающие устройства с двумя различными состояниями (прибавить/убавить, включить/выключить и т. п.). Сюда относятся контакторы, реле, триодные тиристоры, магнитные вентили и электрические ленточные нагреватели.

При непрерывном управлении вследствие такого характера сигналов само управление потребляет много энергии. При этом широтно-импульсный формирователь делит временную ось на равные интервалы (периоды PER_TM) и внутри этих интервалов изменяет время включения и выключения. Чем короче будет сделан этот период, тем быстрее будет преобразовано новое аналоговое значение в бинарное.

¹ Регулятор с разделенными границами будет подробнее рассмотрен в главе 7.5

Этим ставятся границы для точности преобразования, так как фронты и спады импульсов при требуемой точности 1% должны быть переключаемы в течение $1/100$ периода. Это называют разрешением бинарного выхода. Аппаратные регуляторы имеют существенное преимущество перед программными вариантами, так как они могут разрешать цифровой выход в несколько миллисекунд и меньше, тогда как программные варианты привязаны к сигнальным тактам и поэтому требует для формирования импульсов значительную часть процессорных ресурсов.

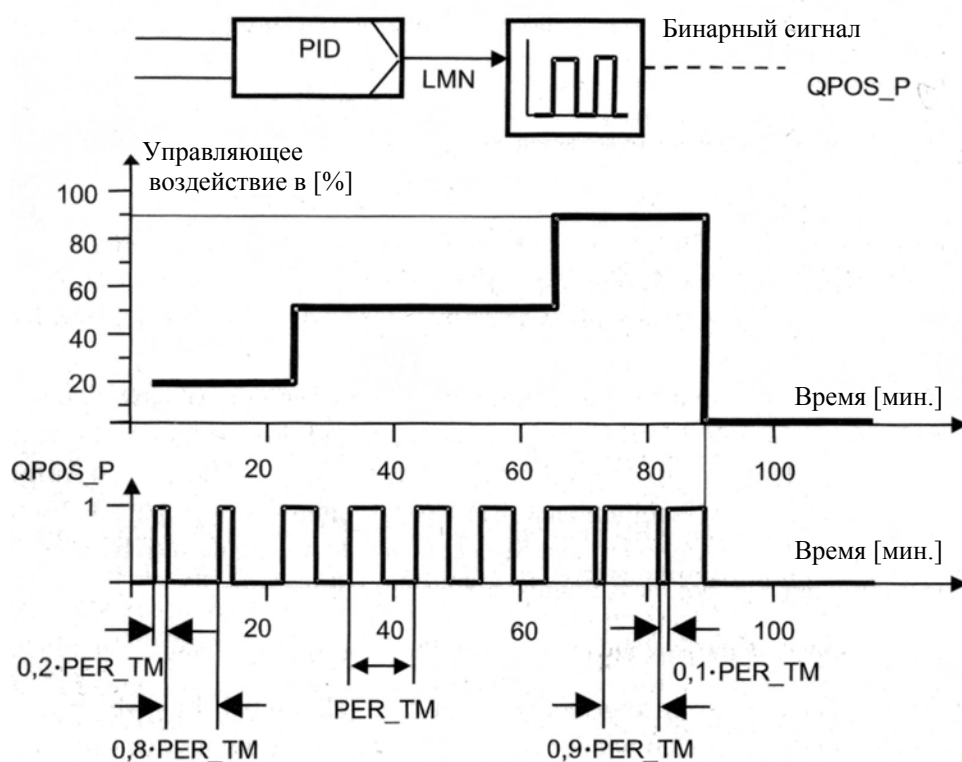


Рис. 1.12

Функция широтно-импульсного модулятора, который делает из аналогового управляющего сигнала (LMN) PID-регулятора двухпозиционную характеристику для неинтегрирующего исполнительного звена.

Релейные PID-регуляторы с трехпозиционной характеристикой

Релейный регулятор с трехпозиционной характеристикой управляет исполнительным органом с интегральной характеристикой (рис.1.11 случай 2). Рис. 1.13 показывает PID-регулятор с переключаемым сигнальным формирователем с двумя выходами – “больше” (QLMNUP)“ и “меньше” (QLMNDN). Примерами такого исполнительного звена являются моторные потенциометры, моторные вентили, поворотные клапаны и т. д.

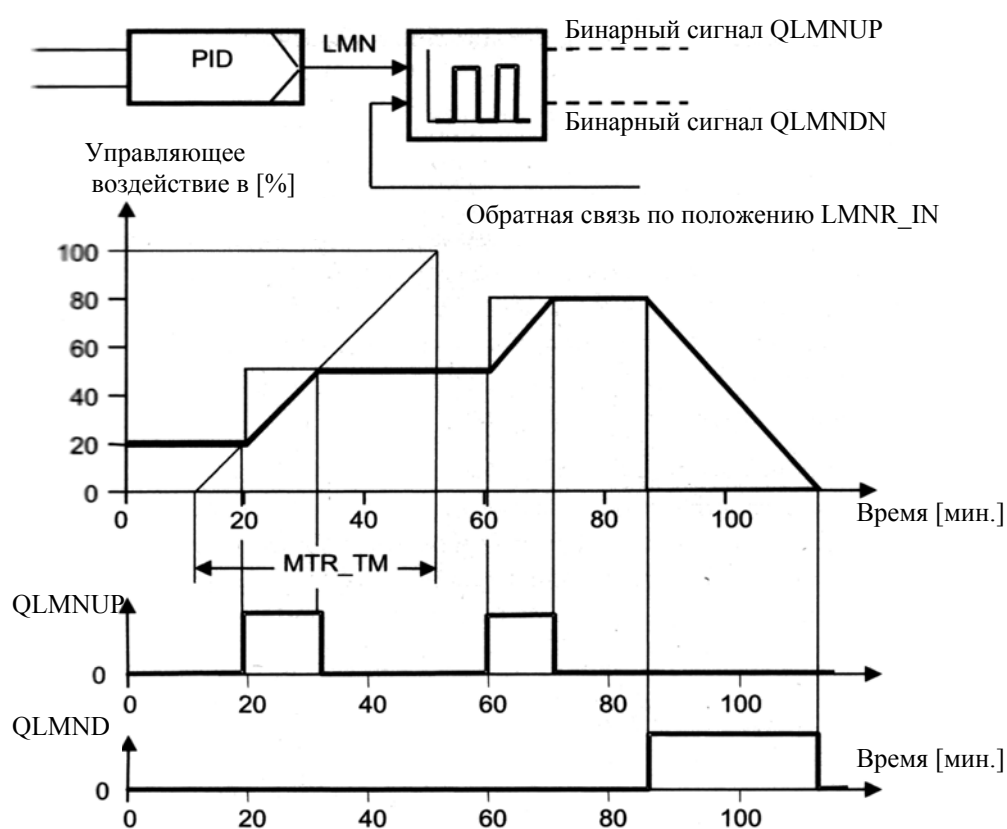


Рис. 1.13

Функция импульсного формирователя, который из аналогового управляющего сигнала (LMN) PID-регулятора делает трехпозиционную характеристику для интегрирующего исполнительного звена.

Такой вид релейного регулятора все чаще выходит на передний план с введением модульных структур в программное обеспечение для релейных регуляторов. При этом к статическому регулятору подключается программный модуль, который вычисляет и формирует широтно-импульсно-модулированный сигнал в зависимости от подводимого сигнала (LMN) и выдает бинарный сигнал. Сигнал обратной связи с исполнительного звена LNMR_IN (с процесса или имитированный) подключается к этому блоку. Таким образом, широтно-импульсный формирователь (модулятор) работает как подчиненный контур регулирования по положению, который получает значение устанавливаемой величины от подключенного PID-регулятора, сравнивает его с сигналом положения процесса из обратной связи и вычисляет отсюда ширину импульсов “выше/больше” и “ниже/меньше”.

Характеристика этого формирователя сигналов вызывает расход энергии для регулирования только при изменении направления управляющего воздействия. Чем быстрее исполнительное звено будет отрабатывать входной сигнал, тем короче будут управляющие импульсы. Такому сигнальному формирователю для вычисления приращения воздействия нужно, следовательно, учитывать время срабатывания исполнительного звена MTR_TM (время от полного отключения до полного включения – на рис. 1.13 оно составляет 40 с).

2 Проектирование регулирования с SIMATIC S7

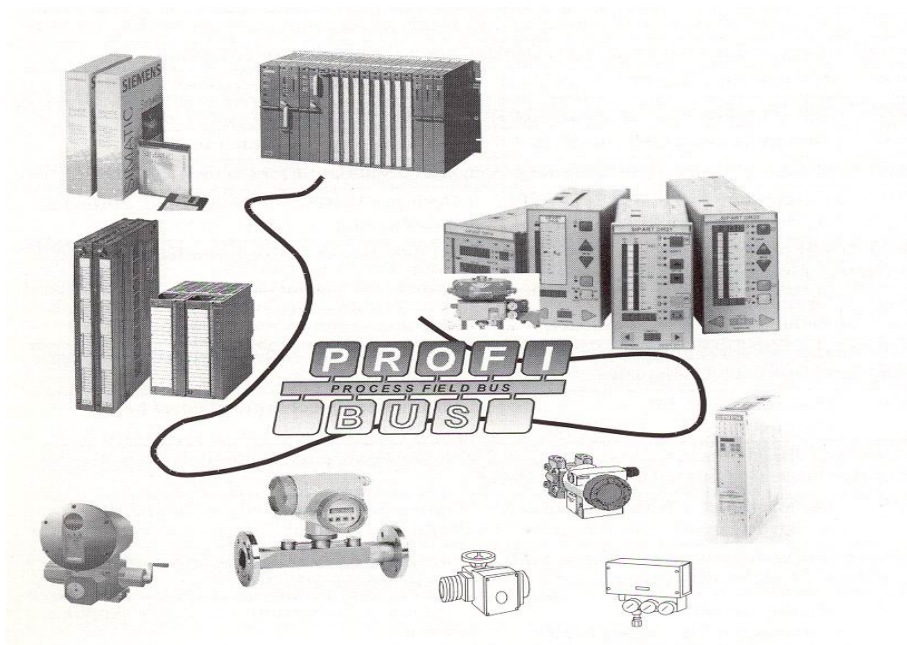


Рис.2.1 Примеры применяемых изделий регулирования и переносных приборов SIMATIC

2.1 Обзор продукции регулирования SIMATIC

Таблица 2.1 дает ориентировочный обзор изделий регулирования из спектра SIMATIC S7.

В таблице 2.2 перечислены изделия регулирования семейства SIPART DR, которые могут подключаться к интерфейсу SIMATIC S7/M7/C7. Компактные электрические регуляторы семейства SIPART DR являются готовыми к подключению регулирующими приборами для многих применений. На основе своих функциональных возможностей они могут больше, чем только регулировать. Наряду с высокой гибкостью они подкупают и простым управлением. Все эти регулирующие приборы располагают собственными панелями управления для предварительного обслуживания и опционными интерфейсными картами для подключения к шине PROFIBUS-DP. Поэтому они могут быть полностью интегрированы в систему SIMATIC.

2.2 Выбор изделий регулирования

Проблема проектировщика, какой регулятор он должен применить в своем разрабатываемом проекте, к сожалению, не всегда свободна от ограничений. Бюджет, предложения машиностроения и пожелания потребителя нередко опережают “лучшее техническое решение”. Далее не будем учитывать такие ограничения и будем исходить из идеально свободных возможностей выбора. Решающими критериями для выбора являются:

- требования процесса (необходимая структура регулирования, динамика и проявляющиеся влияния других величин процесса),
- техника подключения (шина PROFIBUS или другие аналоговые соединения),
- требования общей конструкции и динамики процесса,
- требования примененных исполнительных устройств и сенсоров,
- требования к качеству регулирования,
- требования по надежности (например, стратегия резервирования),
- требования к обслуживанию, наблюдению и сохранению данных (достоверности),
- требования к гибкости и дополнительным изменениям во время эксплуатации установки.

Выполнить одновременно все эти граничные условия во время планирования проекта в большинстве случаев не удастся, так как необходимая информация от пользователя еще не проверена опытом. Проектировщику не остается ничего иного, как заложить в логику изделия опытные значения. Часть “дерева решений” для аппаратуры или программного обеспечения показана в качестве примера на рис.2.2. Когда будут выяснены элементарные вопросы “дерева решений” и все еще не будет возможно однозначное решение, то решать должна будет стоимость, какой вариант следует принять к исполнению. К сожалению, здесь не может быть дано полное “дерево решений”, так как конфигурации различных установок очень разнообразны, чтобы дать универсальную методику.

Таблица 2.1 Обзор функций регулирования SIMATIC S7 / M7 / C7¹

Продукт	Вид	Форма поставки	Преимущества
PID Control в S 7-200	SW	Составная часть STEP 7-микро	Простое регулирование, как и в S7-200
	PID -	регулятор для простых задач регулирования;	до 8 независимых регулирований
PID Control в STEP 7	SW	Составная часть STEP 7, от V3.0	Простое регулирование, как и в STEP 7
	PID -	регулятор для простых задач регулирования	
PID Control в CFC	SW	Составная часть CFC, от V1.1	Простое регулирование, как и в CFC
	PID -	регулятор для простых задач регулирования,	соответствует PID Control в Step7
PID Temperature Control в STEP 7	SW	Составная часть STEP 7, от V5.1 SP 3 (FB и параметрируемое SW)	Незначительное потребление на переключение, простое управление
	PID -	регулятор с интегрированным импульсным автоустановкой, специально выполнен для	формирователем и интегрированной температурного регулирования
Standard PID Control	SW	Опционный пакет: FB, параметрируемое SW, справочник	Подготовленная структура регулирования с простым и комфортным параметрированием
	PID-	регулятор с подготовленной регулирующей структурой от простых до средних задач с 5 примерами	
Modular PID Control	SW	Опционный пакет: FB, параметрируемое SW, справочник	Минимальная потребность памяти при высокой гибкости
		Модульный набор для комплексных задач регулирования, минимальная потребность в памяти, короткое время установки и	12 примеров
PID Self-Tuner	SW	Опционный пакет: FB, включая справочник (электронный)	Автоматический оптимизатор в реальном времени для всех PID-регуляторов
		FB для автоматической оптимизации в реальном времени температурных PID-регуляторов, комбинируемое со стандартом или модулем PID Control и FMx55, 3 примера	
Fuzzy Control	SW	Опционный пакет: FB, параметрируемое SW, справочник	Простая реализация применений неоднозначности (нечеткости)
		Легкое внесение информации о процессе в задачу автоматизации: на нелинейных участках, в многозначных системах, например, для компенсации помех, для параметрической адаптации PID-регуляторов	

Обозначения:

SW – программное обеспечение; HW – аппаратура;

FB – функциональный блок; FM - функциональный модуль

CFC – пакет для графической панели параметрирования и структурирования в SIMATIC (Continuous function chart)

¹ Источник: Siemens AG; Regeln mit SIMATIC S7 / M7 C7 – Kurzbeschreibung Ausgabe 04/02
(Сименс АО, Регулирование на основе SIMATIC S7 / M7 / C7 – Краткое описание выпуск 04/02).

Продолжение таблицы 2.1

FM 355 C	HW	FM 355 C, FM 355 S с пакетом проектирования для FM 355	Возможность резервирования
FM 355 S		Набор с подготовленными структурами регулирования и с возможностью резервирования при остановке или отказе процессора, универсально заменяемый PID-регулятор, также самоустанавливающийся (при неопределенности) температурный регулятор, плата согласования с периферией	
FM 355-2 C	HW	Набор регуляторов с пакетом проектирования	Специализирован на регулирование температуры, быстрый запуск, высокая точность
FM 355-2 S		Усовершенствованный набор с интегрированной авто-оптимизацией объектов температурного регулирования, также и для нагрева / охлаждения и для других функций: зоны регулирования, бесступенчатое разделение Р-звена на ветви номинала и обратной связи, аналоговые входы с высокой точностью	
FM 455 C	HW	FM 455 C, FM 455 S, с пакетом проектирования для FM 455	Возможность резервирования, интегрированная авто-установка в реальном времени для быстрого ввода в действие регулирующих структур
FM 455 S		См. FM 355 C / FM 355 S	

2.2.1 Техника подключения

Прямое централизованное подключение периферии

Подключение процесса к регулятору (аппаратному или программному) может хорошо осуществляться по аналоговым линиям. Действительное значение может считываться с сенсора, и этот измеренный сигнал может подводиться по экранированной аналоговой линии к входному каналу центрального процессора (PLC) или к прибору регулирования процесса. Управляющее воздействие (аналоговое или бинарное) подается из выходного канала регулятора через сигнальную линию к исполнительному звену. При централизованном подключении наряду с большим расходом проводов на практике часто появляются проблемы (например, электромагнитной совместимости), которые будут рассмотрены подробнее в следующей главе. Если процесс находится во взрывоопасной области, то потребуются большие усилия для выполнения требований защиты. В этом случае настоятельно рекомендуется применение взрывобезопасных приборов и шин PROFIBUS-PA (см. рис.2.3).

(Взрывоопасные зоны установок требуют особо аккуратного и научного обслуживания, ошибки которого здесь могут вызвать экстремальные разрушения.)

Таблица 2.2 Обзор семейства приборов SIPART, которые входят в SIMATIC S7

Продукт	Применение	Функции
SIPART DR19	Промышленный регулятор для применения в машино- и приборостроении	SPC ¹ – регулятор, имеющий до 5 задаваемых величин и выборочно непрерывных или релейных выходов, временное планирование и различные готовые регулирующие структуры
SIPART DR21	Регулятор процесса для простого регулирования	SPC / DDC ¹ – регулятор с 2 задаваемыми величинами и выборочно непрерывными или релейными выходами и с различными готовыми регулируемыми структурами
SIPART DR22	Регулятор процесса для комплексного регулирования	SPC / DDC ¹ – регулятор с возможностью свободного переключения задаваемых значений и выборочно непрерывными или релейными выходами и с различными готовыми регулируемыми структурами
SIPART DR24	Регулятор процесса со свободно переключаемыми регулирующим и вычислительным блоками, для комплексных задач регулирования	Два независимо работающих SPC / DDC программных регулятора с возможностью свободного переключения всех значений процесса и выборочно непрерывными или релейными выходами и с готовыми и расширяемыми регулируемыми структурами
Многофункциональный блок		

Подключение к общей шине

В технике панельных приборов подключение регулятора процесса к исполнительному узлу и к сенсору выполняется через общую интерфейсную шину. В следующей главе в качестве примера на рис. 3.18 показан “интеллектуальный переносной прибор” SITRAN P, как представитель широкого спектра панельных приборов производства Сименс (см. также таблицу 2.3). Для применения интеллектуальных панельных приборов и общей шины имеются следующие основания:

¹ Сокращения SPC и DDC обозначают режимы работы регуляторов и будут подробнее объяснены в

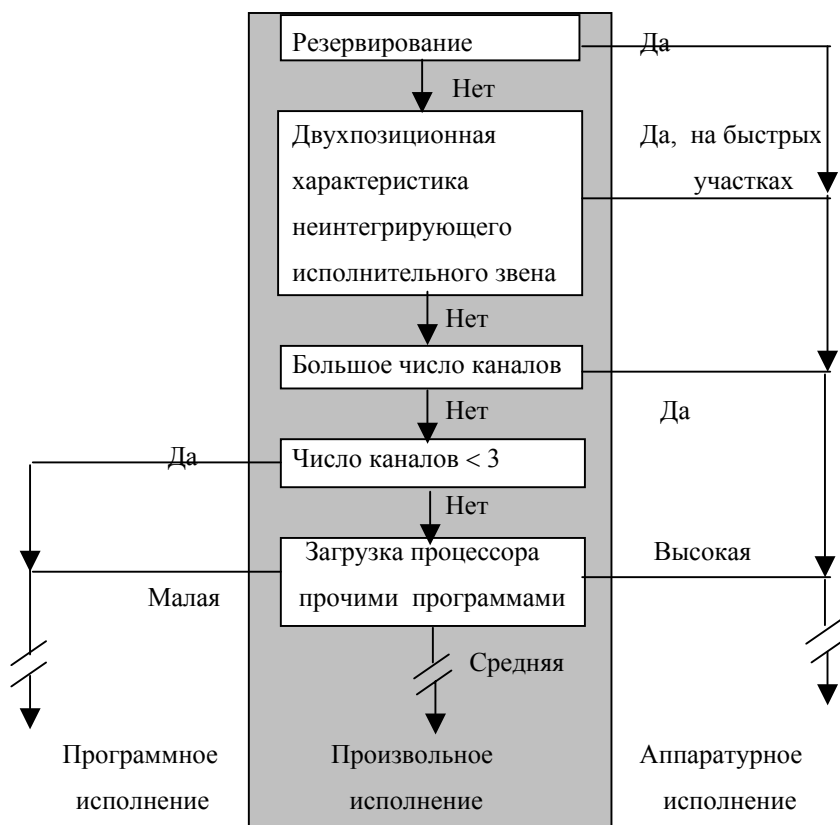


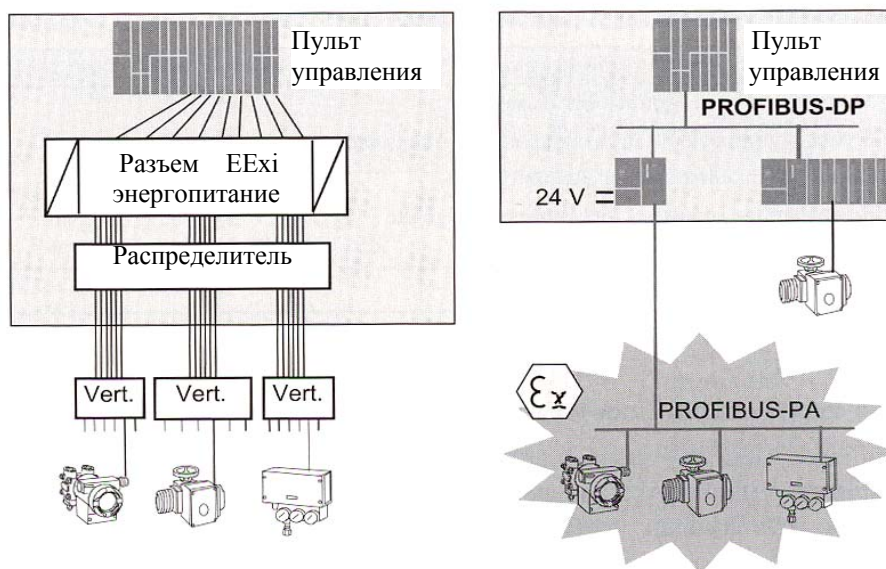
Рис.2.2

Выборка из дерева решений - аппаратно или программно выполнять регулирование

- незначительный расход кабелей,
- незначительная вероятность ошибок при разводке кабелей,
- простой ввод в эксплуатацию,
- децентрализованная индикация и при необходимости децентрализованное управление,
- простое использование во взрывоопасной зоне,
- централизованная конфигурация панельных приборов через SIMATIC PDM (Process Device Manager),
- централизованное проектирование,
- упрощенный уход и надзор (Validierung¹) за установкой.

главе 5 “Режимы работы”

¹ Рекомендация VDI / VDE 3517: “Validierung” означает формализованное и систематическое определение того, что процесс с высокой вероятностью и продолжительно выдает требуемую качественную продукцию. Аттестация при этом включает формальное и систематическое доказательство, что помещение и оборудование (например, производственная установка и техника управления процессом) соответствуют предусмотренной задаче.

**Рис. 2.3**

Сопоставление централизованной и децентрализованной техники подключения. Слева показано центральное управление по аналоговому или бинарному кабелю, справа обозначена простая техника общей шины PROFIBUS-PA во взрывоопасной области

При проектировании таких установок необходимо обстоятельно продумать сегментирование (разделение) отдельных ветвей DP (децентрализованной периферии) на случай, если ветвь иногда может быть отключена. Доступность важнейших исполнительных устройств и сенсоров должна быть обеспечена.

Таблица 2.3 Выбор переносных приборов для подключения к PROFIBUS

Продукция	Применение
SIMOCODE	Элемент защиты и управления моторами
SIMOVERT	Преобразователь частоты для трехфазных моторов
SIPOS	Ревёрсивный переключатель для исполнительного мотора
SIPART DR	Автономный промышленный прибор регулирования процесса
SITRANS P	Преобразователь для измерения давления
SITRANS DP	Преобразователь для измерения разности давлений

2.2.2 Количественные параметры и динамика регулирования

Для оценки количественных параметров наряду с числом регуляторов имеет значение установка временного интервала считывания (константа, временной интервал между обращениями к функции) отдельных регуляторов и их дополнительных функций. Сначала должно быть определено, сколько нужно регуляторов и требуется ли управлять быстрыми процессами. Это надо для оценки потребности памяти в процессоре. Таблица 2.4 показывает параметры элементов и время выполнения их некоторых выборочных функций для двух типов контроллеров. Следует принять во внимание, что постоянно форсируется проектирование и выпуск новых приборов и при потребности в действительных значениях их следует запрашивать в компетентных службах или в Интернете.

Потребность в памяти и время обработки для "n" регулирований можно вычислить из значений, приведенных в таблице 2.4, следующим образом:

$$\text{потребность в рабочей памяти} = \Sigma \text{ "длина FB" } + n \cdot \Sigma \text{ "длина блока данных" } \quad (2.1)$$

$$\text{время обработки} = \Sigma \text{ "время обработки" } \quad (2.2)$$

Пример

Требуется реализовать три температурных регулятора (трехточечное управление) и два регулятора давления с аналоговым управлением в системе S7-314. При этом должен использоваться программный пакет Standard PID Control.

Для определения интервала считывания необходима оценка доминирующих временных констант¹ каждого отдельного регулирующего контура. Скорость установки исполнительного звена должна быть меньше (для правильного регулирования с коэффициентом $\gg 5$) чем

¹ Технические процессы почти всегда состоят из серии последовательно включенных динамических передаточных звеньев. Хорошо демпфированные неколебательные участки почти всегда могут быть аппроксимированы PI-звеном. Постоянную времени такого аппроксимирующего звена называют доминирующей временной константой в контуре (T_D) или эквивалентной постоянной времени (T_E).

Таблица 2.4. Важнейшие количественные параметры¹ отдельных выборочных функций

Продукт	Элемент	Длина функц. блока (FB) в [Кбайт]	Длина блока данных (BD) в [Кбайт]	Время обра- ботки в S7-300 ориентиров. в [мс]	Время обработ- ки в S70400 ориентиров. в [мс]
PID Control “Встроенное управление”	FB41 “CONT_C”	1,5	0,4	3,3	0,02
	FB42 “CONT_S”	1,9	0,3	2,8	0,02
	FB43 “PULSEGEN”	1,1	0,2	1,5	0,005
PID Control в CFC-300	FB1 “CONT_C”	2,4	0,4	3,4	0,02
	FB2 CONT_S”	2,5	0,3	2,9	0,02
	FB3 “PULSEGEN”	1,5	0,2	1,6	0,005
PID Temperature Control “Встроенное управление”	FB58 “TCONT_CP”	7,9	0,4	4,7 ² /6,2 ³ /0,87 ⁴	0,14 ² /0,19 ³ /0,025 ⁴
	FB59 “TCONT_S”	1,9	0,1	2,8	0,095
Standard PID Control	FB1 “PID_CP”	7,5	0,5	3,8	0,16
	FB2 “PID-ES”	7,5	0,5	4,3	0,18
	FC2 “LP-SCHED” ⁵	1,0	0,2	0,3	0,02
Modular PID Control	FB13 “LMNGEN C”	1,6	0,3	0,4	0,02
	FB14 “LMNGEN_S”	2,6	0,4	1,4	0,06
	FB19 “PID”	1,6	0,3	1,4	0,06
	FB20 “PULSEGEN”	1,1	0,2	0,2	0,01
	FB25 “SP_GEN”	0,7	0,5	0,3	0,02
	FC1 “LP_SCHED”	1,1	0,2	0,3	0,03
PID Self-Tuner	FB “TUNING_C”	4,3	0,5	1,2	0,05
	FB “TUNING_C”	5,2	0,5	1,2	0,05
FM 355 / 455 ⁶	FB “PID_FM”	1,6		0,7 ⁵	0,08
	FB “FUZ_355”	0,3	0,1	2,1	1,9
	FB “FUZ_455”	0,3	0,2		2,6
FM 355-2	FB “FMT_PID”	1,8	0,2	0,7	0,04 ⁵

¹ Округленные значения при типичных условиях (без “худших случаев”).² Непрерывный регулятор с типичным параметрированием.³ Непрерывный регулятор с типичным параметрированием и оптимизацией регулирования.⁴ Исключая обработку сигналов импульсного формирователя.⁵ При опросе 5 регулирующих контуров.⁶ Имеются и другие FB для FM 355 / FM 455, которые задуманы для поддержки запуска и не участвуют в рабочем времени программы.

доминирующая временная константа звена (эквивалентной постоянной времени T_E или, при чисто задерживающем звене, время задержки T_U - см. главу 9.2.3). Во многих специальных книгах для определения интервала отсчетов дается следующая практическая формула:

$$\text{CYCLE} = 0.1 \cdot T_E \quad (2.3)$$

Как будет показано в следующей главе, вид устанавливаемого исполнительного звена играет важную роль. Если проектировщик на основе физических требований вынужден применить неинтегрирующее исполнительное звено, то интервал считывания регулятора переходит почти на задний план по отношению к интервалу считывания импульсного выхода, и большая часть ресурсов процессора должна быть предназначена для обработки импульсного выхода (см. таблицу 2.5).

Таблица 2.5 Вычисление примера в главе 2.2.2

Элемент	Длина FB в [Кбайт]	Длина DB в [Кбайт]	Количество регуляторов, n	Формула	Результат в [Кбайт]
FB1 "PID_CP"	7,5	0,5	2	$7,7+2 \cdot 0,5$	8,7
FB2 "PID_ES"	7,5	0,5	3	$7,5+3 \cdot 0,5$	9,0
PC2 "LP_SCHED"	1,0	0,2	1	$1,0+1 \cdot 0,2$	1,2
				Сумма	18,9
Элемент	Время обра- ботки в [мс]		Отсчеты	Формула	Результат в [Кбайт]
FB1 "PID_CP"	3,8		2	$2 \cdot 3,8$	7,6
FB2 "PID_ES"	4,3		1 ¹	$1 \cdot 4,3$	4,3
PC2 "LP_SCHED"	0,3		1	$1 \cdot 0,3$	0,3
				Сумма	12,2²

Хотя программное регулирование дает возможность обслуживать формирование импульсов и регулятор в разные интервалы времени, все же программные регуляторы очень быстро подходят к пределу своих возможностей. Проектировщику тогда не остается ничего другого,

¹ Три контура температурного регулирования с помощью "LP_SCHED" так распределены, что всегда опрашивается только 1 температурный регулятор совместно с регулятором давления. (См. главу 8)

² "Худший случай" в предположении, что распределитель времени установлен так, что все элементы опрашиваются в одном такте.

как применить набор регулирования или отдельный прибор для формирования импульсов, как, например, модуль SIMATIC-2-PULSE для ET 200S. Функциональные модули FM3555 или FM455 имеют разрешение на цифровом выходе до 1 мс. Чем меньше интервал считывания на импульсном выходе, тем быстрее и точнее будет получено аналоговое управляющее воздействие регулятора. Это показано на рис. 2.4. Децентрализованное подключение такого исполнительного звена заведомо исключено.

Пример

Металлическая емкость должна очень быстро нагреваться электрически с помощью триодного тиристора. Потребитель утверждает, что в аналогичных машинах доминирующая постоянная времени участка составляет 8 с. Тогда регулятор можно опрашивать без раздумий, по приведенной выше формуле с циклом 800 мс, что для сегодняшних процессоров не составляет проблемы при нормальной загруженности.

Длительность периода PER_TM импульсного выхода должна точно так же выдерживаться в этих пределах, так как нет никакого смысла это значение существенно увеличивать, поскольку после этого интервала выданное аналоговое значение будет преобразовано в цифровой выход. Чтобы точность регулирования на выходе выдержать в пределах 1%, это управляющее воздействие должно отображаться также шагами по 1/100. Это означает, что спады импульсного выхода (см. рис. 2.4) должны укладываться в пределах 8-миллисекундного интервала.

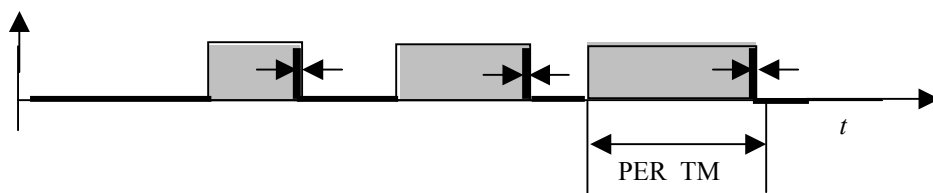


Рис. 2.4 Демонстрация проблемы разрешения цифрового выхода температурного регулятора при неинтегрирующем управляющем звене

Как следствие должен опрашиваться подключенный к регулятору импульсный выход в том же интервале, чтобы обеспечить эту точность. Это требование ставит перед процессором некоторые проблемы, особенно если должны обрабатываться несколько регулирующих выходов (разделенные границы или несколько параллельных регулирующих контуров). В

проблемном случае будет неизбежно применение функционального модуля. Едва ли можно предложить простую общую формулу, чтобы решить вычислением, применять программное регулирование или функциональные модули. Оба варианта имеют свой оправдания. При регулировании с невысокими динамическими требованиями¹ при большом количестве контуров регулирования (> 8 у SIMATIC S7-300 и >16 у SIMATIC S7-400) и невысоких технических требованиях к регулированию предпочтительнее программные решения. Там же, где исполнительное звено и временные характеристики участка регулирования еще не ясны, где выставлены высокие требования к динамике, надежности, качеству регулирования и/или точности, предпочтительнее функциональные модули. Если проектировщик имеет возможность влиять на выбор исполнительного звена, то с точки зрения техники регулирования всегда следует склоняться к аналогово – управляемым интеллектуальным исполнительным звеньям или к переносным приборам, так как их проще вводить в эксплуатацию.

Рекомендация: Интервал считывания (CYCLE или SAMPLE_T) должен устанавливаться равным периоду импульсного выхода (PER_TM)

2.2.3 Критерий качества и точность регулирования

Качество регулирования

Качество регулирования - или также точность регулирования – есть, вообще говоря, мера качества регулирования, а говоря несколько по научному, качество регулирования есть мера для суммы всех регулирующих разностей после изменения номинального значения или возмущающего воздействия. На рис. 2.5 показаны две различных реакции процесса на один и тот же скачок номинального значения при различных настройках регулятора.

“Агрессивная” настройка регулятора закрашена серым цветом, “осторожная” настройка - заштрихована. Чем больше сумма площадей между номинальным и действительным значе-

¹ Не при медленном регулировании.

ниями, тем хуже качество регулирования¹. Так как на рис. 2.5 в обоих случаях площади примерно равны, то обе настройки одинаково хороши или одинаково плохи. На практике, однако, осторожная настройка применяется чаще, чем агрессивна, ради щадящего режима работы установки.

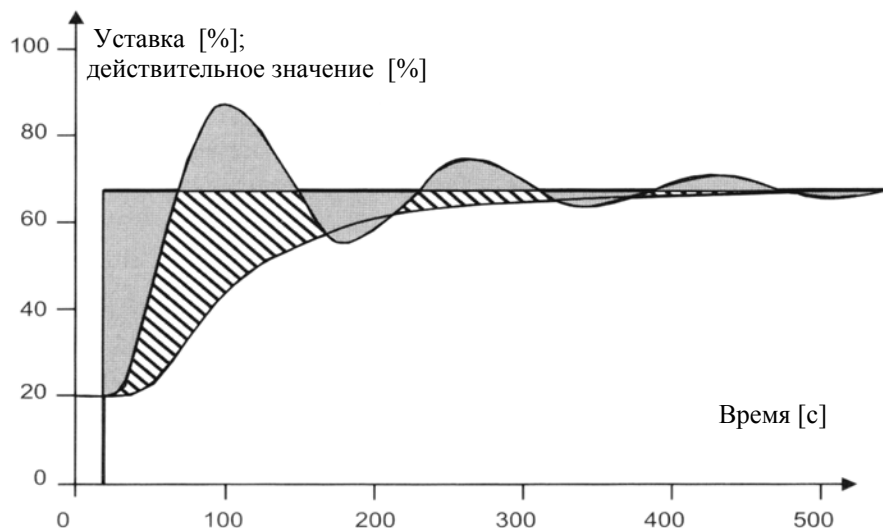


Рис. 2.5 Оценка качества регулирования при двух различных настройках

В различных теоретических руководствах по технике регулирования называются разные критерии качества регулирования. Наряду с простым вышеназванным критерием качества “линейного суммирования” существуют еще “квадратичный критерий качества”, “критерий ИТЕА” и “расширенный квадратичный критерий качества”. Так как эти критерии очень сложно применять на практике, то здесь их далее не рассматриваем.

Оценка точности регулирования

Для суждения о том, какие варианты регулирования годятся для применения, надо сначала получить технически осмысленную ясность требований к желаемой точности регулирования. Каждый вопрос к потребителю, насколько точно он хочет регулировать, при температурном

¹ по критерию линейного суммирования

регулировании получает стереотипный ответ с заданием $\pm 0.1^\circ$. При реальной области значений до 400° само требование $\pm 0.1^\circ$ означает статическую точность¹ 0,25%, которая включает все ошибки общей цепи (сенсора, измерительного преобразования, считывания аналогового значения, регулятора, формирования выходного сигнала, преобразования номинального значения, исполнительного звена).

Поскольку сегодня каждый применяемый цифровой термометр на индикаторе имеет и одну цифровую позицию после запятой, то с точки зрения потребителя такое требование понятно. Но встает вопрос, точно ли соответствует такое показание истинному значению и насколько повторяем такой результат. Если же требование потребителя к точности регулирования всего контура остается таким жестким, какое формулируется от незнания, то ему надо дать ясно понять, что он должен быть готов к значительным инвестиционным расходам.

Все звенья в цепи регулирующего контура должны иметь близкие классы точности. Каждый АЦП при 12-разрядном разрешении и области измерения 420° дает ошибку оцифровки уже 0.1°C , причем нельзя пренебрегать ошибкой от собственного нагрева датчика PT100 из-за протекающего тока (около 1 мА) и ошибки измерения тока и напряжения (ошибки измерения температуры и сопротивления). Еще хуже обстоит дело с применением термоэлементов, которые применяются для компенсации в сравнивающем устройстве с помощью PT100. Там цепь ошибок еще длиннее и в худшем случае может привести к очень значительным погрешностям. Различные изготовители приборов с обработкой аналоговых значений часто приводят захватывающие дух допуски на погрешности, которые наверняка обеспечиваются только в отдельных, удобных для них, точках измерения.

Ошибки и допуски в SIMATIC относятся ко всей области измерений, если другое не указано в технических данных. Что означают названные выше требования для исполнительного звена - должно быть ясно. Изношенность и погрешность линеаризации должны быть близки к нулю, скорость исполнения должна быть в состоянии почти без задержки следовать за аналоговым сигналом регулятора, механика и конструкция исполнительного органа должны работать без проявлений износа. Эти требования в регуляторе полностью относятся только к пропорциональному исполнительному звену. Дорогостоящие релейные исполнительные звенья при столь высоких требованиях заведомо исключаются.

¹ Статическая точность не равнозначна качеству регулирования.

Указание: Качество регулирования существенно зависит от места установки исполнительного органа и сенсора. Основным правилом является то, что и датчик, и исполнительное звено должны быть расположены как можно ближе к месту их физического функционирования, чтобы избежать действия переходных и изменяющих процессов на промежутке от исполнительного звена и сенсора до точки действия.

2.2.4 Требования надежности

При проектировании регулирования должны учитываться вероятные отказы, работоспособность и надежность. При этом может оказаться необходимым так называемое резервирование регулирования. Если не случится отказ, то работает ведущий программный регулятор и обменивается значениями процесса с подчиненным “резервным регулятором”, который в таком режиме работает как прибор, децентрализованный по входу и выходу (см. рис. 2.6).

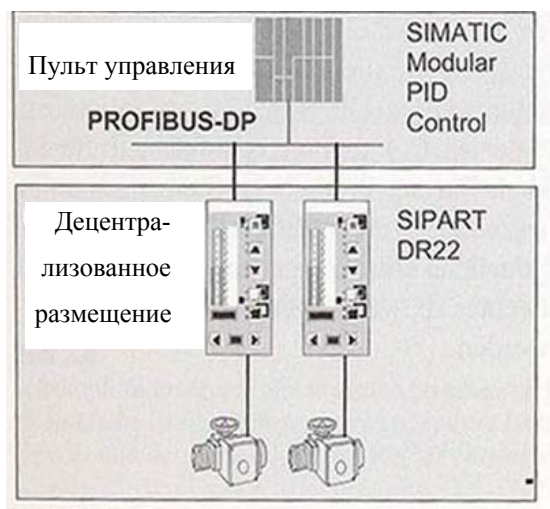


Рис.2.6. SIPART-регулятор как резервный регулятор для более высокой регулирующей структуры с Modular PID Control в SIMATIC S7-400

При отказе процессора или коммуникации подчиненный регулятор перехватывает контроль над процессом и регулирует систему дальше или по крайней мере держит ее в надежном рабочем состоянии. При этом различают способы работы SPC (Set Point Control)- и DDC (Direct Digital Control) – см. главу 5.5 “Безопасные режимы работы”.

2.2.5 Обслуживание и визуализация

В соответствии с теми требованиями потребителя, какие значения процесса и параметры регулирования оператор должен наблюдать или даже изменять в последующей эксплуатации, уже в процессе проектирования следует постоянно выяснять вопросы, какие значения должны обрабатываться в графических представлениях и в долговременных архивах. Особенно в пищевой и фармацевтической промышленности все большую роль играют долгосрочные доказательства качества, достоверность данных процесса и воспроизводимость результата. Системы управления процессом, например, PCS7, в таком случае предпочтительнее системы SCADA¹.

2.2.6 Комплексность и гибкость

Если при проектировании регулирования потребителем ставятся требования в отношении гибкости и дополнительной изменяемости регулирования во время эксплуатации, то следует предпочесть модульное построение - например, Modular PID Control в сочетании с CFC (начиная с версии 5 CFC), как ниже показано на рис. 4.9. Если же потребитель предпочитает простые, наглядные и надежные схемы регулирования, то следует выбирать уже известные варианты (см. рис. 2.7).

¹ Сокращение SCADA обозначает Supervisory control and data acquisition и может быть переведено как “управление параметром (или по уставке) и сбор данных”. Системы SCADA имеют, таким образом, самостоятельное (программное) применение, они в большинстве случаев соединяются через систему шин с автоматическим прибором, читают и записывают данные из его базы, сохраняют и активируют в своей базе данных. Системы управления процессом, напротив, имеют собственное хранилище данных.

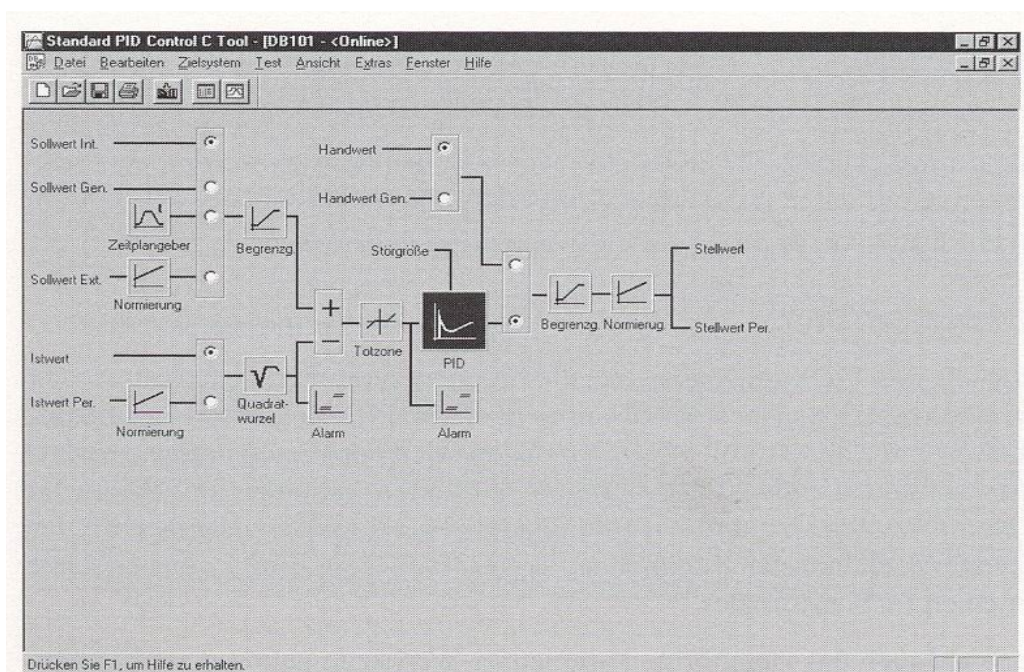


Рис.2.7

Панель проектирования Standard PID Control. При заданной структуре регулятор прост и нагляден. Изменения отдельных функций (например, PID-регулятора) можно выполнить двойным щелчком на соответствующем блоке.

2.2.7 Помощь при наладке: автонастройщик PID Self-Tuner

С помощью дополнительных функциональных элементов управления (TUN_ES для релейных регуляторов и TUN_EC для непрерывных регуляторов) можно преобразовать PID-регулятор в самонастраивающийся регулятор. При этом PID-регуляторы настраиваются в режиме online (в реальном времени). Автонастройщик PID Self-Tuner специально приспособлен к регулированию температуры, но может применяться и для регулирования давления, потока и уровня. Условием является стабильная, имеющая запаздывание, асимптотическая переходная характеристика.

Из этой возможности исключаются те процессы, которые колебательны без регулятора, и которые неустойчивы. Не рекомендуется применение и при очень больших запаздываниях или паузах. В то же время PID Self-Tuner (версия 5.0) применим для PID Control, Standard PID Control, Modular PID Control, PID Control (интегрированный в STEP 7, FB CONT_C,

FB CON_S и FB_PULSEN), также и для FM355 / FM455. Заметим, что регулятор с PID Self-Tuner не является адаптивным регулятором.

Автоматически настраиваемый регулятор (как, например, PID Self-Tuner) по установленной методике идентификации участка регулирования определяет параметры регулирования на основе измеряемых значений процесса. После проверки результатов параметры автоматически передаются в регулятор. Новая автоматическая настройка может быть предпринята с новым скачком уставки на некоторую определенную минимальную величину. Адаптивный же регулятор, напротив, непрерывно определяет обновленные параметры регулятора на основе значений процесса и поэтому может сразу же реагировать на изменения характеристики участка.

Стандартные продукты для адаптивного регулирования в настоящее время не предлагаются в спектре SIMATIC, и при потребности должны быть или реализованы модульными функциями на прикладном уровне, или же найдены на рынке у других поставщиков. Фирма i.p.a.s.-Systeme во Франкфурте поставляет, например, адаптивный регулятор положения ADCO как функциональный элемент для SIMATIC S7, который проверен фирмой Сименс и как партнерский продукт включен в каталог Сименс. Результаты регулирования автоматически настроенного регулятора по сравнению с регулятором, настроенным опытным техником для конкретной установки, иногда отличаются в худшую сторону, если нарушены какие-нибудь граничные условия методики идентификации.

2.2.8 Регулятор со встроенным настройщиком

Автонастройщик PID Self-Tuner как отдельный функциональный элемент может очень гибко комбинироваться с различными регуляторами. Неправильное подключение регулятора и настройщика связано, однако, с издержками и всегда приводит к ошибкам. Поэтому предлагаются два регулятора с интегрированной автонастройкой. Методика настройки (сравнить с рис. 2.8) является усовершенствованием Self-Tuner со следующими преимуществами:

- Уже в точке перегиба получается окончательный набор параметров. Выпадает промежуточная фаза 3 с осторожным PI-регулированием, не надо ожидать стационарного конечного состояния.

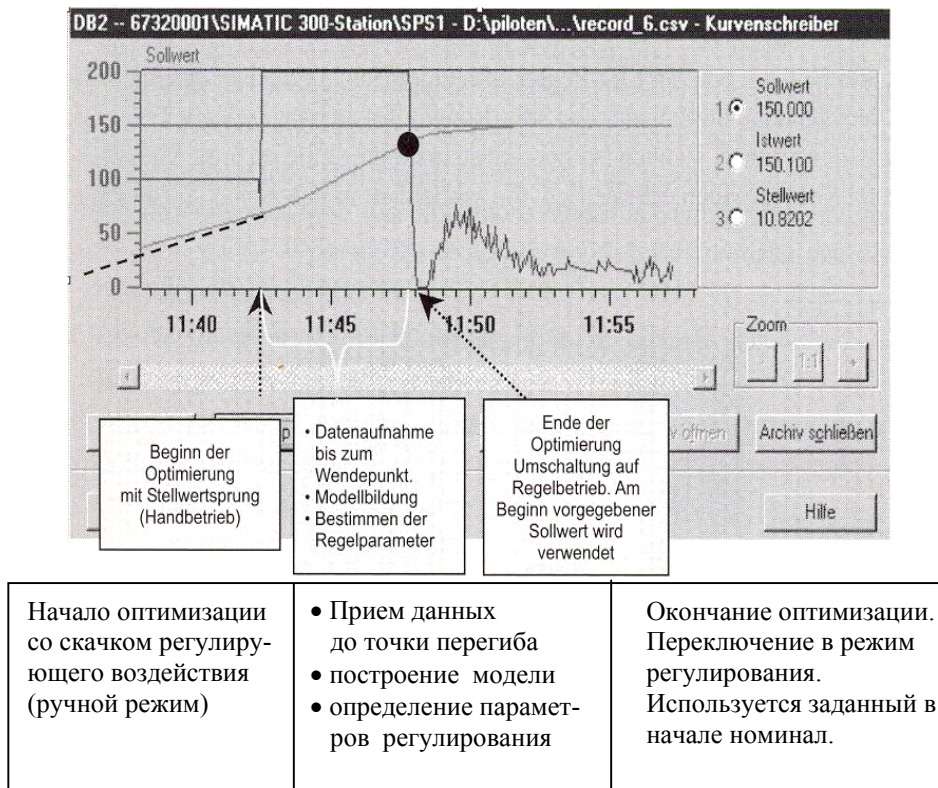


Рис.2.8

Автоматическая оптимизация из начального состояния с постоянным подъемом температуры (штриховая линия), Уже в точке перегиба (черный кружок) оптимизация закончена и определен окончательный PID-регулятор.

- Начальное состояние не обязательно должно быть строго стационарным, допустимы и состояния с постоянным градиентом (стабильным спадом или ростом температуры).
- Расширены возможности последующей адаптации в рабочей точке.

Температурный PID Control в STEP 7

Впервые все три функциональные элемента, которые требуются для типичного температурного регулятора, собраны в одном корпусе: PID-регулятор с зоной регулирования, настройщик в реальном времени и формирователь импульсов. Этим резко сокращается

объем соединений и количество интерфейсных параметров для программы PLC. Все три компоненты оптимально согласованы друг с другом, так что для пользователя такое решение оказывается простейшим (рис. 2.9). Второй вариант элемента предлагает шаговый регулятор. Как элементы, так и соответствующий инструмент параметрирования, относятся к серийному комплекту STEP 7

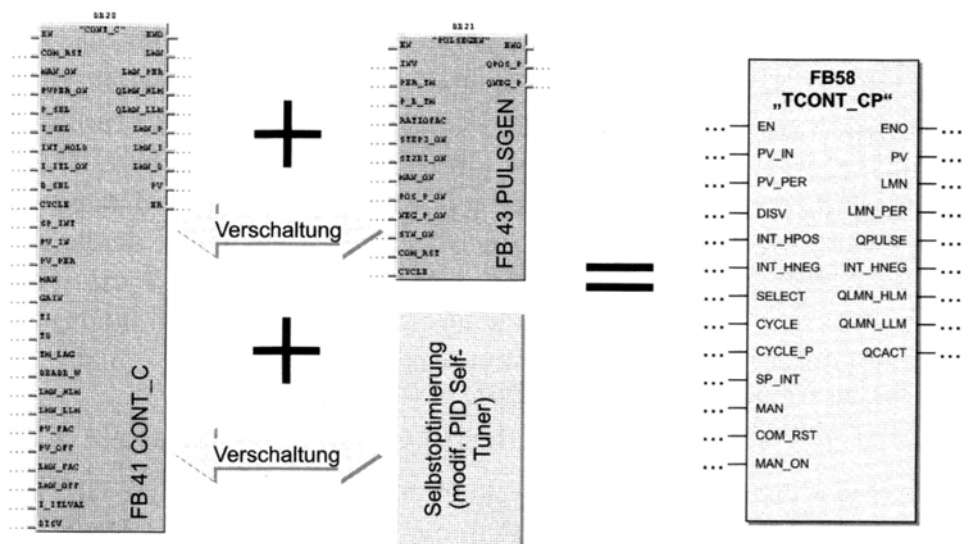


Рис. 2.9

Температурный PID Control в STEP 7: новый интегральный функциональный элемент TCONT_CP заменяет комбинацию из трех прежних элементов.

FM 355-2

Это дальнейшее развитие элементов регулирования создано специально для температурного регулирования. Они содержат PID-регулятор со встроенной технологией настройки подобно температурному PID Control в STEP 7. С помощью дополнительных функций он, однако, подходит для средней и высокой производительности:

- Активное нагревание и охлаждение, т. е. PID- регулятор в зависимости от знака рассогласования обращается к двум различным исполнительным устройствам (разделенные границы). Так как оба исполнительных устройства могут вести себя

различно, то при автонастройке требуется различная идентификация характеристик нагрева и охлаждения, которая выразится соответственно в различных параметрах (коэффициент передачи регулятора, длительность периода формирования импульсов). Таких функций нет больше ни в каких других продуктах регулирования. Примером применения являются экструдеры синтетических материалов, которые нагреваются электронагревательными лентами от полупроводниковых реле и охлаждаются воздушными вентиляторами с механической защитой.

- Бесступенчатое разделение Р-звеньев на ветви номинала и обратной связи. Во всех других регуляторах допускается (если вообще допускается) передавать Р-компоненту в цепь обратной связи только полностью до бита. Бесступенчатое разделение позволяет точно дозированное ослабление действия Р-звена при скачках номинала и отсюда получить оптимальную характеристику управления (см. рис. 2.10).
- АЦП с разрешением 14 бит и временем преобразования 100 мс дает значительное повышение точности измерения.
- Температурная компенсация с применением термоэлементов возможна как с применением интегрированного термодатчика, так и с внешним датчиком Pt100 или с параметризованным сравнением температур.

2.3 Преимущества программных регуляторов и функциональных модулей FM

Преимущества программных регуляторов:

- программные регуляторы могут многократно загружаться в процессор без дополнительных расходов,
- при использовании программных регуляторов не требуются затраты на подключение к блокам регулирования,
- экономические выгоды при наличии аналоговой периферии и при большом числе контуров регулирования,

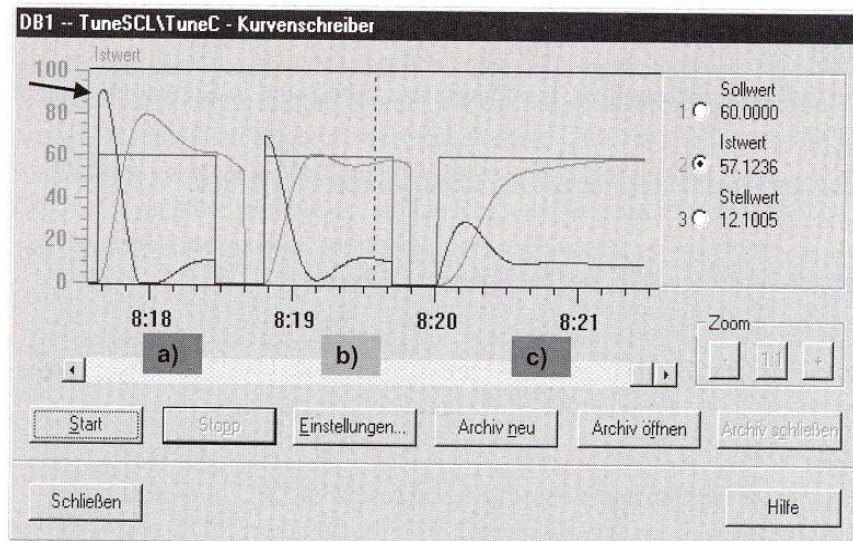


Рис. 2.10

Ослабление Р-компоненты при изменениях номинала: а) без Р- компоненты в обратной связи, большой скачок устанавливаемой величины (см. стрелку), слишком большой выброс; б) Р-компонента 20% в цепи обратной связи, оптимальная характеристика управления; с) Р-компонента полностью в обратной связи, нет скачка устанавливаемой величины, очень долгое время установления.

- обслуживание применяемых программ можно просто встраивать в модульные структуры программного обеспечения и
- специальные функции (например, характеристика затухания, различные временные диаграммы и т. д.) просто интегрируются в программные решения.

Модульно построенное регулирование дает максимум гибкости.

Условия применения и лицензионные права на программный продукт

Параметрированное программное обеспечение

Параметрированное программное обеспечение приобретается отдельно для каждого рабочего места. Лицензии на многократное применение или копирование не предлагаются.

Использование программы

Для использования программы (функционального элемента для установки в модуль центрального процессора) необходима отдельная лицензия. При приобретении программного пакета дается одна отдельная лицензия, которая разрешает установку функционального блока только в один процессор. Для установки функционального блока в следующие процессоры необходимо приобретение дополнительных лицензий на использование программы, которые предлагаются на льготных условиях. В отдельных случаях условия применения и лицензионные права содержатся в паспорте на программный продукт, который прикладывается к соответствующему комплекту.

Преимущества узлов регулирования и приборов регулирования процесса

- Функциональные модули рассчитаны на высокие требования по динамике, качеству регулирования и функциям безопасности. Для регуляторов с каскадами импульсного формирования для неинтегрирующих исполнительных устройств требуются специальные модули, если это вызвано постоянной времени процесса.
- Готовые регулирующие структуры разделены на множество узлов и должны быть раскрыты только до уровня структурных схем. Это часто поддерживается инструментами проектирования.
- Благодаря способности к диагностике функциональные модули могут быстрее реагировать на критические события в процессоре.
- Обработка аналоговых значений согласована с потребностями регулирования (например, возбуждение измерительного преобразователя может быть придано регулятору установленным в систему безопасности, так что не потребует специальной программы пользователя в процессоре).
- Изменения при вводе в эксплуатацию очень просты. Дополнительные функции параметрируются установкой соответствующих битов.

- Функциональные модули SIPART, FM355 / 455 обладают свойством резервирования (SPC-резервирование см. главу 5.5).
- Специальные усовершенствования для температурного регулирования с необходимыми для него инструментами оптимизации делают аппаратный регулятор специализированным отраслевым регулятором (например, FM 355 / 2).

В функциональных модулях частично заложены сложные функции, которые не реализуемы в процессорах из ограничений объема (например, адаптивный фильтр, вычислитель коррекции и т. д.).

Выводы

Что касается стоимости и потребности в объеме, то для обоих вариантов имеются сочетания (количество регуляторов, тип датчика, тип исполнительного устройства и требования по скорости), которые дают экономические преимущества тому или другому варианту. Если же можно сказать, что при всех применениях оба варианта могут показаться одинаково дороги, то все же стоит просчитать подробно, который из обоих типов регулятора следует принять к исполнению, с учетом их технических требований.

3 Исполнительные устройства и сенсоры регулирования

3.1 Влияние исполнительных органов на регулирование

Во введении уже было описано много исполнительных звеньев и дистанционно управляемых исполнительных органов. Это ясно показывает, сколь важно значение характеристики исполнительного органа на регулирование. На практике часто случается, что исполнительное звено имеет самое большое влияние на общую характеристику участка регулирования, и регулятор главным образом загружен тем, что “исправляет” влияние исполнительного звена. К сожалению, при проектировании часто экономят на исполнительном звене (т. е. в ложном месте), и “экономия” на аппаратуре затем многократно съедается при установке и запуске в эксплуатацию.

Относительно исполнительных звеньев имеют значение две точки зрения из соображений техники регулирования. Первая определяется характеристикой контура управления по виду действия привода исполнительного органа, а вторая - физическим воздействием на регулируемую среду. Для вида привода решающей является используемая энергия. Различают электромеханические приводы/исполнительные устройства, приводы с механической энергией и приводы с гидравлической энергией. В [4], [6] и [7] приведены подробные данные и рекомендации исполнительных органов и регуляторов положения, специально для техники процессов и технологических установок. Здесь должны быть подробнее объяснены некоторые важные понятия:

Аналоговые исполнительные звенья

Аналоговые исполнительные звенья с точки зрения техники регулирования делятся на пропорциональные исполнительные звенья, интегральные исполнительные звенья и панельные приборы. Пропорциональные исполнительные звенья являются звеньями с ана-

логовым управлением от стандартных сигналов техники регулирования 0...10 В, 0...20 мА, 4...20 мА. При этом для регулятора не играет никакой роли, является ли управляющий сигнал электрическим или он преобразован в энергию привода с помощью аналогового электропневматического регулятора положения (I/P преобразователя).

Понятие “пропорциональный” относится к преобразованию управляющего сигнала в механическую величину (например, в положение). Пропорциональный исполнительный привод к шаровому крановому вентилю, которому подается управление на 20%, дает угол открытия 20% от механически устанавливаемой области установки. Это означает, что пропорциональное исполнительное звено само может проявлять совершенно нелинейную физическую характеристику, но оно должно быть линеаризовано (см. также главу 9.1.4) в соответствии с данными изготовителя. В качестве примеров пропорциональных исполнительных звеньев могут быть названы:

- подъемный исполнительный блок с одним регулирующим вентилем с V-образным затвором,
- трехфланцевая камера и пневматический привод,
- трехшаровый блок с электромеханическим исполнительным приводом,
- электрически управляемый шаровой регулирующий кран с подпружиненным поворотным приводом однократного или двойного действия и скользящий вентиль.

При проектировании контура управления немаловажную роль играет время установки этих исполнительных звеньев. Динамика регулирующего контура сильно зависит от скорости работы исполнительного регулятора или времени срабатывания исполнительного оборудования.

Панельные приборы (также и интеллектуальные приборы) являются большей частью пропорциональными и линеаризованными исполнительными звеньями. Они часто оснащены собственным (подчиненным) регулятором установки, элементами обслуживания и панелями программирования или параметрирования. Хотя эти исполнительные устройства относительно дороги, на рынке год от года предлагается все больше таких приборов.

Применение таких исполнительных звеньев часто компенсируется низкими расходами на ввод в действие и сервис. В качестве примера таких исполнительных звеньев можно назвать: преобразователь частоты (например, для привода вентилятора), SIMOVERT, SIPART, SIPOS, SITRANS и т. д., а также цифровые электропневматические регуляторы положения. Также и в этих управляющих звеньях играет роль время установки, которое должно учитываться при проектировании регулирующего контура.

Бинарные (переключающие) исполнительные звенья

Бинарные переключающие исполнительные звенья с точки зрения техники регулирования делятся на механически переключающие (двухпозиционные) исполнительные звенья, электронно переключающие (двухпозиционные) исполнительные звенья и интегрирующие (трехпозиционные) исполнительные звенья с обратной связью по положению или без нее.

Механически переключающие (двухпозиционные) исполнительные звенья – это релейные элементы, которые различают только два входных состояния: “0” и “1” (вкл./выкл., вверх/вниз). Эти элементы сами не интегрируют, т. е. однажды подведенная энергия не остается сохраненной, когда управляющий сигнал снимается. Однако внимание: такой релейный элемент может быть, естественно, включен в цепь исполнительных элементов, из которых один имеет интегрирующую характеристику. В случае применения такового в регуляторе с бинарным аналоговым сигналом с широтноимпульсной модуляцией следует принимать во внимание допустимое количество срабатываний.

Даже при использовании реле с обеспечением работы миллион переключений радость от регулирования может быть очень короткой. При длительности периода 100 мс этот предел переключений достигается за несколько дней. Поэтому применение таких механических исполнительных звеньев при неинтегрирующей характеристике участка исключается. При рабочих органах такого типа важное значение для срока службы исполнительного звена и его управляющего прибора имеет соблюдение минимальной длительности импульса (и минимальной длительности паузы). Эти данные запускаящий в эксплуатацию найдет в списке параметров изготовителя прибора. Далее Вы найдете таблицу 3.1 с типичными значениями времени установки.

Электронно переключающие (двухпозиционные) исполнительные звенья – это также релейные элементы, которые различают только два входных состояния: “0” и “1” (вкл./выкл., вверх/вниз), но вследствие их неизнашиваемого построения предназначены для применения при регулировании участков с неинтегрирующей характеристикой. Представителями этого типа являются, например, триодные тиристоры и электронные реле (например, твердотельные реле), которые могут управлять электрическим нагревом напрямую, без дополнительного физического преобразования. Для таких представителей исполнительных звеньев минимальная длительность импульса не является проблемой.

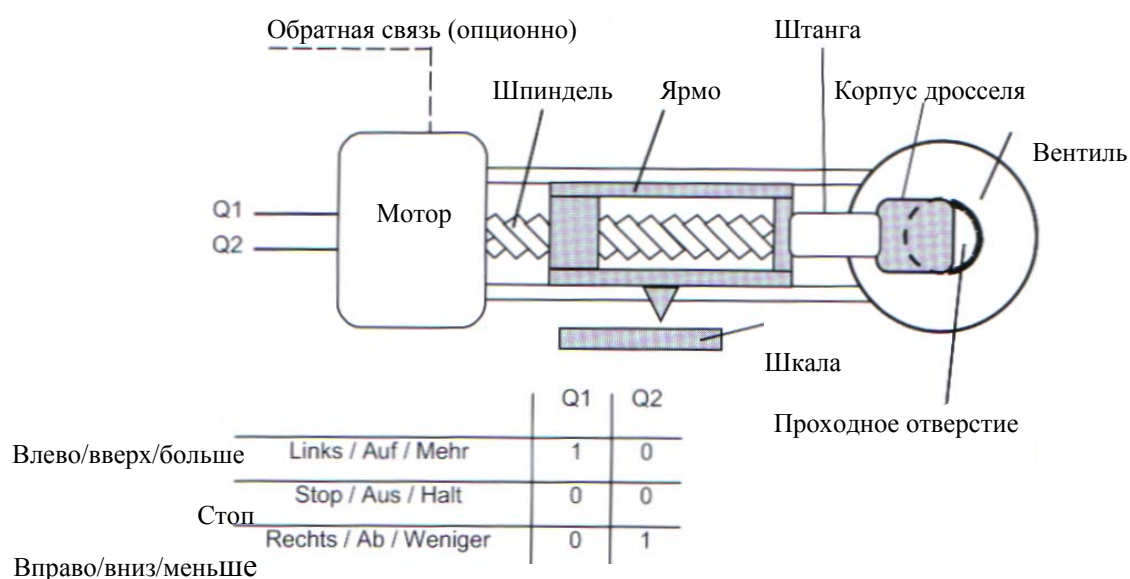


Рис. 3.1 Механическое устройство интегрирующего исполнительного звена

Интегрирующие (трехпозиционные) исполнительные звенья с обратной связью по положению – это релейные элементы с двумя бинарными входами, которые различают только два состояния 1 и 0 (как показано в таблице состояний на рис. 3.1).

Эти приборы в регуляторе преобразуют электрическую, пневматическую или гидравлическую энергию в механически сохраняемую величину. Также и для них соблюдение мини-

мальной длительности импульса является моментом, который играет определенную роль при запуске в действие и при проектировании.

На основе вращения мотора на рис.3.1 шпindelь сдвигает ярмо, и таким образом проходное отверстие в вентиле становится больше или меньше. Если мотор остановится, то корпус дросселя застывает в своей позиции и отверстие не изменяется. Таким образом шпindelь работает как интегрирующее звено. Показание механической шкалы должно быть согласовано с аналоговым выходным сигналом регулятора (действительным значением). Этим будет подана к регулятору обратная связь по положению и скорректировано положение корпуса дросселя по отношению к бинарному входу "вверх" / "вниз" (см. рис.3.2).

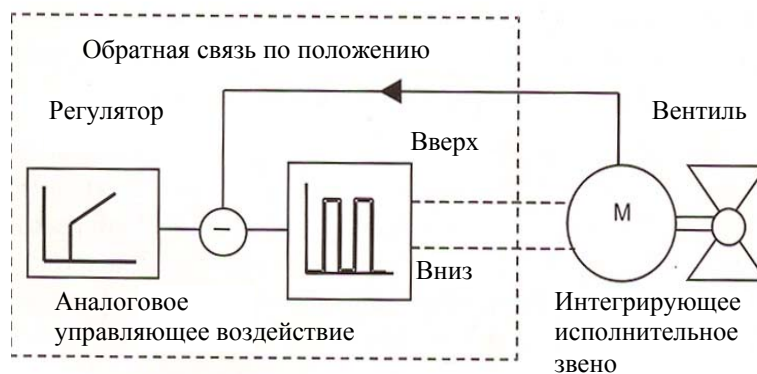


Рис. 3.2 Принцип интегрирующего исполнительного звена с обратной связью по положению

В исполнительных звеньях с аналоговой обратной связью по положению формирование сигнала в регуляторе очень простое. Основным принципом является использование подчиненного контура регулирования по положению с аналоговым исполнительным значением из PID-алгоритма в качестве уставки и с обратной связью по положению. Регулятор положения состоит в основном из компаратора или подчиненного регулятора, который управляет бинарным выходом (вверх и вниз). Этот тип исполнительного звена на практике применяется все реже, так как существенны затраты на аналоговую обратную связь (формирователь сигнала в исполнительном звене, соединение, собственный аналоговый вход у регулятора).

В дальнейшем будет рассматриваться **интегрирующее (трехпозиционное) исполнительное звено без обратной связи по положению**. В машиностроении и в малых установках из соображений стоимости часто избегают больших инвестиций в исполнительные звенья с обратной связью по положению и связанных с ними дополнительных затрат на проводку, а также расходов на интеллектуальные исполнительные приводы. На смену приходят дешевые исполнительные звенья, для которых следует принимать во внимание ограничения по точности.

При применении таких исполнительных устройств в регуляторе не остается ничего иного, как имитировать (более или менее точно) положение. Для этого выходы (вверх и вниз) внутри регулятора подключаются к (имитирующему) интегратору. Скорость, с которой интегратор смещается вверх и вниз, должна соответствовать времени установки имитируемого исполнительного звена (времени от полностью открытого до полностью закрытого состояния). При этом на интегратор подаются только управляющие бинарные выходы “вверх” и “вниз”. Способ имитации, показанный на рис. 3.3, скрывает большую ненадежность. Интегратор (функциональный блок на рис. 3.3, закрашенный серым цветом), который имитирует положение исполнительного звена, не имеет связи с фактическим положением этого звена, и поэтому оба значения (действительное положение исполнительного звена и имитируемое) могут различаться.

Если, например, исполнительное звено будет ограничено или заблокировано проскальзывающей муфтой (как механической защитой) в предельном положении, или же последует ручное механическое вмешательство, то действительное значение положения и имитируемое “разбегутся”. Неточность в задании времени установления, потери в трансмиссии и изменения механики вследствие старения являются следующими причинами, почему имитация не всегда точно соответствует истинному положению. Поэтому разработаны способы приближения к синхронизму.

Простая методика синхронизации исходит из того, чтобы исполнительное звено синхронизировать тогда, когда внутренний интегратор доходит до конца своего диапазона (0% или 100%) и в этом положении активируются соответствующие управляющие биты.

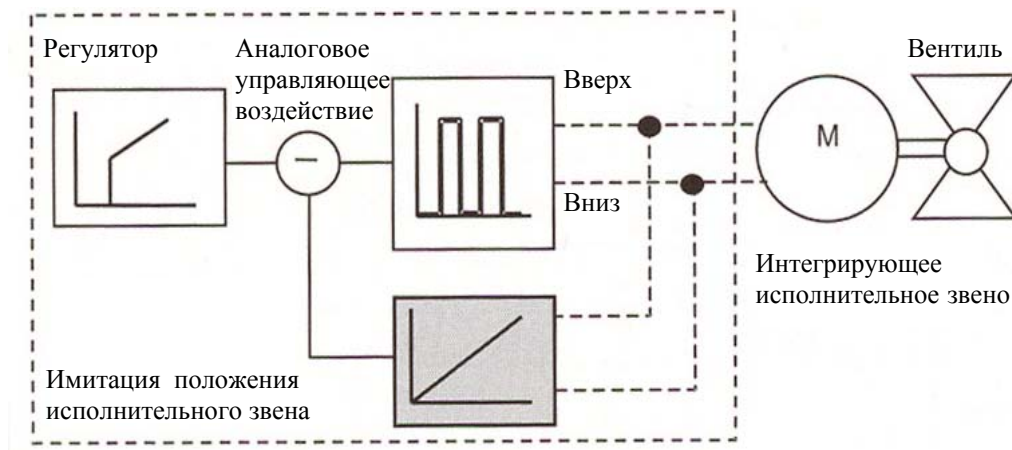


Рис. 3.3 Прохождение сигнала при интегрирующем исполнительном звене без обратной связи по положению

Обратная связь отслеживает процесс. Этот метод функционирует как при бинарном сигнале обратной связи, так и без него. Принцип объясняется на рис. 3.4. Там показано, как два “разбежавшиеся” значения процесса и регулятора снова синхронизируются, когда управление остановится в конечном положении имитатора.

Предпосылкой такого метода является то, что исполнительное звено имеет надежное электрическое и/или механическое конечное выключение, т. е. ограничение. Если при вводе в эксплуатацию будет установлено, что регулятор повторно выполняет эту синхронизацию, то это является явным признаком, что значение времени установления исполнительного звена определено или выставлено неправильно. Такая методика связана, естественно, с ограниченной точностью.

В Standard PID Control интегрирован улучшенный метод, при котором имитация положения и I-звено регулятора вычисляются одним и тем же интегратором.

3.1.1 Контактторы, реле и полупроводниковые реле

Контактторы, реле и полупроводниковые реле являются, среди прочих, представителями релейных (двухпозиционных) исполнительных звеньев. Контактторы и реле имеют ограни-

ченное число срабатываний (например, 10^6) и конечное время реакции, которое может иметь порядок 2 – 10 мс.

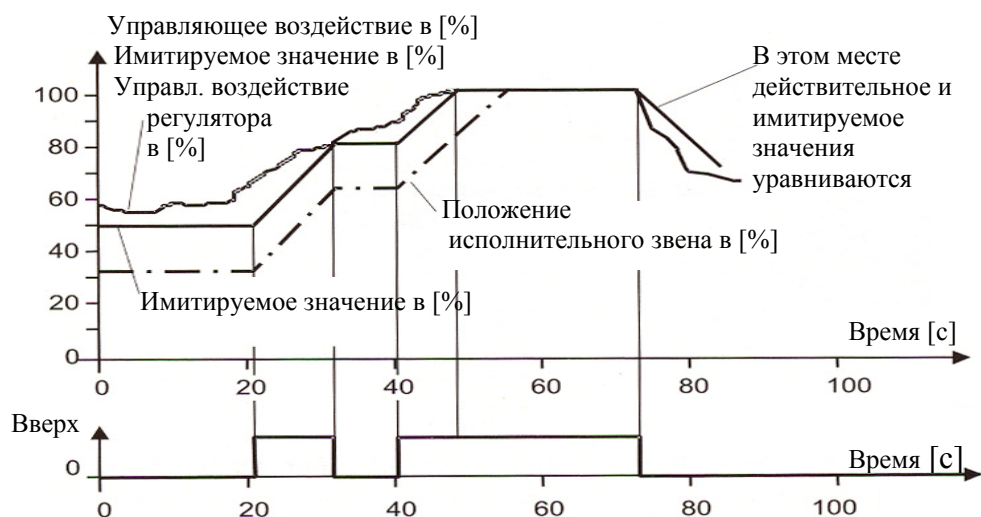


Рис. 3.4 Функция синхронизации при исполнительном звене без обратной связи по положению

В таблице 3.1 показано время включения различных релейных элементов. Полупроводниковые реле имеют конечное, хотя и очень маленькое, время реакции, которое зависит от частоты сети, так как для них при переменном токе решающее значение для переключения имеет переход через нуль.

Таблица 3.1 Время включения различных релейных элементов

	от	до
(Мощный) контактор	100 мс	1000 мс
(Вспомогательный) контактор	50 мс	200 мс
Реле	20 мс	100 мс
Твердотельное реле	10 мс	-
Тиристорный переключатель	10 мс	-

3.1.2 Вентили и задвижки

Приводы исполнительных вентилей и задвижек разделяются на пневматические, электропневматические и электрические приводы. Пневматические приводы отличаются надежностью, очень высокой динамикой, они могут давать очень большое усилие. При отключении питающей энергии (воздушного давления) они самостоятельно занимают определенное положение.

На практике часто перед пневматическим приводом включают так называемый I/P-преобразователь (например, на 0,4...2 бар), который из стандартного аналогового сигнала вырабатывает управляющее воздушное давление для пневматического вентильного привода. Если этот I/P-преобразователь встроен в вентиль, то говорят об электропневматическом приводе.

Электрические приводы имеют то преимущество, что им не нужна никакая другая питающая энергия (например, воздушное давление). Они в большинстве случаев преобразуют энергию моторного привода через трансмиссию непосредственно в положение. Электрические приводы, как правило, медленнее пневматических и требуют специальную выходную функцию регулятора (формирователя импульсов и пауз).

По рис. 3.5 на примере исполнительного вентиля для воды (рекомендация VDE 2173 и 2174) можно показать, что как для проектировщика, так и для вводящего в эксплуатацию важно знать, что характеристика исполнительного звена может играть важную роль для регулирования и для установки, что в каждом случае перед вводом в эксплуатацию применяемое исполнительное звено должно быть рассмотрено обстоятельно. При закрытом проходном вентиле нет потока (см. рис. 3.5). При закрытом трехпутевом вентиле идет по прежнему полный поток, но жидкость выходит из вентиля через другой выход, нежели при открытом вентиле.

По существу среди вентилей различают дроссельные шаровые вентили, мембранные вентили, крановые шаровые вентили и перекидные шаровые вентили. Все эти вентили отличаются значениями k_v и K_{vs} .

Значение k_v

Значение k_v для вентиля означает поток воды в м³/час (при 4...30°C) при соответствующем положении дросселя. Это верно в предположении, что в этом положении дросселя приложен перепад давления 1 бар.

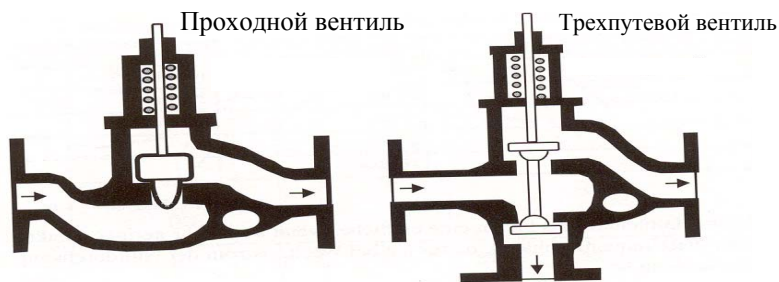


Рис. 3.5 Примеры отличающихся конструкций различных вентилях

Значение K_{vs}

Значение K_{vs} означает номинальное значение (справочное значение) k_v исполнительного вентиля при номинальном подъеме (100%). При серийном изготовлении исполнительные вентили при подъеме 100% могут иметь эффективное значение k_v с отклонением $\pm 10\%$ от предусмотренного значения K_{vs} .

Характеристика вентиля

Под характеристикой вентиля понимают зависимость значения k_v от подъема вентиля. При этом по существу различают две характеристики: равнопроцентную и линейную. При выборе исполнительного звена это имеет существенное значение на регулирование, прежде всего при сильно изменяющихся рабочих точках. Чем больше поток в протяженном трубопроводе, тем больше потери давления из-за сопротивления потоку. Зависимость между потоком и потерями давления из-за сопротивления потоку можно приблизительно описать квадратичной характеристикой.

Это может быть выравнено применением равнопроцентного вентиля. Рис. 3.6 показывает обе формы характеристик.

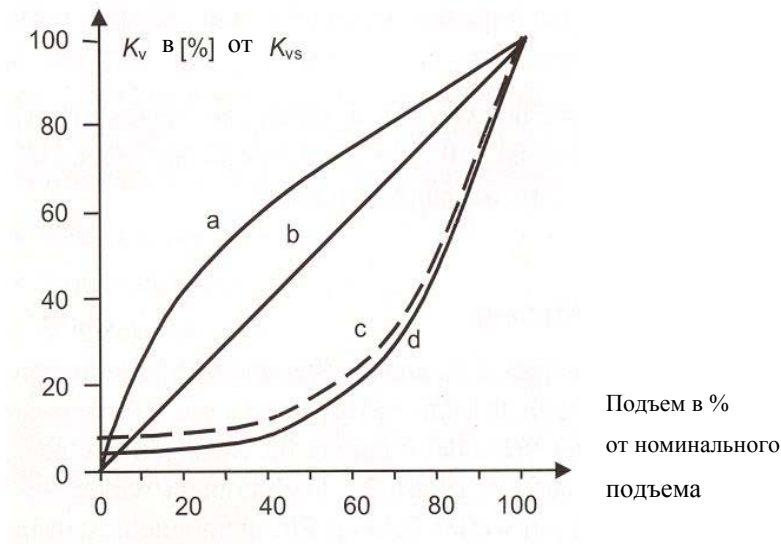


Рис. 3.6 Характеристики вентиля

- a) закрывающий вентиль b) линейная характеристика при $S_v=50$
- c) равнопроцентная характеристика при $S_v=25$ и наклоне характеристики $n=3,22$
- d) равнопроцентная характеристика при $S_v=50$ и наклоне характеристики $n=3,91$

Различные характеристики ясно показывают, что одним только выбором типа вентиля можно внести большое различие в характеристику объекта управления. Идея выровнять такую нелинейность (на выходе регулятора или на входе участка) с помощью функции линеаризации на входе может работать только тогда, когда в остальном участке нет других нелинейностей или возмущающих воздействий, которые могут влиять на рабочую точку исполнительного звена. В промышленности это бывает только в редких случаях. Поэтому с точки зрения техники регулирования было бы идеально, если бы при запуске в эксплуатацию линеаризовалась нелинейность в исполнительном звене на выходе регулятора, а нелинейность сенсора — на входе регулятора.

Указание: Увеличение размеров исполнительных звеньев и особенно вентилях нередко является основой того, почему регулирование работает неправильно или регулятор не удается настроить. Если из соображений надежности исполнительное звено будет установлено “на номер больше”, то может случиться, что исполнительное звено будет работать всегда на нижней границе и поэтому при некоторых обстоятельствах в крайне нелинейной области. Будет идеальным для регулятора, если рабочая точка исполнительного звена будет расположена при относительно больших отверстиях (в вышеприведенных примерах в области 40...95%)

3.1.3 Заслонки и дроссельные заслонки

Заслонки и дроссельные заслонки для жидкостей и газообразных материалов (например, воздуха) состоят в основном из подвижного диска или пластины, которые оказывают большее или меньшее сопротивление потоку. Заслонки часто имеют очень нелинейный характер. При повороте заслонки проявляется синусоидальная нелинейность. Приводами механизма заслонок являются в большинстве случаев очень медленно поворачивающиеся устройства с изменяемым углом установки. Приводы в граничных положениях в большинстве случаев отключаются автоматически. Дроссельные приводы широко распространены в автоматике зданий (например, в отопительных и водопроводных системах). Раньше применялись почти исключительно переключающие (двухпозиционные) сервоприводы. Сегодня значительно большую роль играют пропорциональные дроссельные приводы. Для релейных (двухпозиционных) сервоприводов рекомендуется, если изготовитель не предлагает другое значение, минимальная длительность импульса $\geq 100\text{мс}$. Рис 9.1 показывает пример характеристики дросселя.

3.1.4 Магнитные вентили

Магнитные вентили являются примерами механически переключаемых (двухпозиционных) исполнительных звеньев. Они меньше подходят для регулирования процессов, особенно для регулирования потока жидкости. Магнитные вентили в трубопроводах с потоком жидкости

вызывают сильные удары, которые могут существенно нагружать всю трубопроводную систему механически. Они или переключают задвижки и подводят их к определенному граничному положению, или же они применяются для регулирования газообразных потоков.

В технологии они играют ведущую роль при дозировании жидкостей (см. главу 3.1.6) Для магнитных вентилях рекомендуется, если изготовитель не предлагает другое, минимальная длительность импульса $\geq 100\text{мс}$.

3.1.5. Насосы и моторы с изменяемым числом оборотов

Насосы и моторы без дополнительных вспомогательных агрегатов едва ли применимы в качестве исполнительных звеньев для регулирования. Простое включение и выключение еще не делает возможным точное регулирование. Совместно с преобразователем частоты, устройством перестановки регулирующей передачи или иными стабильно регулируемые вспомогательными устройствами заполняют (трехфазные) моторы и насосы широкое поле возможностей применения в технике регулирования. Но решающим для вида исполнительного звена все же является не сами мотор или насос, а вспомогательные агрегаты.

Приводы с изменяемым числом оборотов применяются для регулирования потоков (насосы), для регулирования давления (вентиляторы и экструдеры) и для обслуживания и поддержки технологических процессов (мешалки, центрифуги, увлажнители, очистные агрегаты и т. д.).

3.1.6 Исполнительные звенья дозирования

Дозирование жидкостей может быть реализовано дозирующими насосами или дозирующими вентилями, управляемыми дозирующими функциями. Существует также дозирование мерными емкостями.

К дозирующим насосам относятся высказывания главы 3.1.5. Дозирующие насосы для дозирования жидкостей применяются по принципу регулировки подъема и числа ходов при

непрерывном дозировании жидкостей, но могут также применяться и для дискретного дозирования. Дозирующие насосы имеют очень маленькую погрешность дозирования, а из-за их аналогового управления и обычно приемлемых интеллектуальных панельных конструкций они не предъявляют особых требований к динамике управления.

Дозирование на основе дозирующих вентилей с программно реализованными функциями дозирования (например, технологический функциональный элемент “DOSE” из PCS7 с функциями подготовки к выключению, дополнительного дозирования и корректировки) работает с помощью запорного вентиля в системе под давлением (см. пример в главе 10). Часто из-за непостоянного давления в трубопроводной системе ставят дроссельное управление или даже PID-регулятор потока, чтобы можно было выполнять точное выключение потока жидкости. Управление запорным вентилем ставит существенно высокие требования к динамике дозирующей функции – в зависимости от требований по скорости и точности процесса.

Дозирование твердых и сыпучих материалов обычно создает на практике значительно меньше проблем, чем дозирование жидкостей. Твердые вещества можно дозировать по объему или гравиметрически. Объемное дозирование отсчитывает установленные частичные объемы и при достигнутом количестве останавливает управление; гравиметрическое дозирование осуществляется путем непрерывного наполнения емкости, изменение веса которого используется для регулирования, т. е. для управления приводом. При этом различают дозирование наполнением и дозирование опорожнением. Проблемы в дозировании твердых материалов связаны больше с механикой или специфическими производственными свойствами дозируемым сыпучих материалов и меньше с самим регулированием. В качестве исполнительных звеньев для дозирования сыпучих материалов могут рассматриваться:

- вибрационные дозаторы,
- дозаторы с ячеистым колесом,
- шнековые дозаторы,
- конвейерные весы и т. д.

Многие из этих исполнительных звеньев управляются “только” с помощью одно- или двухступенчатых приводов.

3.2 Влияние измерительной техники на регулирование

SIMATIC с ее программными регуляторами, регуляторами процессов и универсальными регуляторами использует для управления, как правило, стандартные аналоговые сигналы 0...10 В, 0...20 мА, 4...20 мА и дополнительно температурные сигналы от PT100, а также от обычных термоэлементов. Кроме того, многие стандартные аналоговые узлы могут обрабатывать и другие сигналы (например, -10...+10 В, 0...50 мВ). Для этих регуляторов и аналоговых модулей возможна (свободная по выбору) загрузка каждого канала отдельно - или группами по четыре канала - вышеперечисленными стандартными сигналами. Считываемые аналоговые сигналы преобразуются и внутри нормируются (0...100%) или выдаются в физической форме (например, 0...420°C или °F).

Как и исполнительные звенья, сенсоры бывают линейные и нелинейные. К нелинейным сенсорам относятся PT100 и группа термоэлементов. Нелинейные сенсоры в большинстве случаев являются пассивными элементами, передаточные характеристики которых линеаризуются. Рис. 3.7 представляет некоторые из применяющихся нелинейных сенсоров, которые для получения линейного температурного значения должны быть линеаризованы.

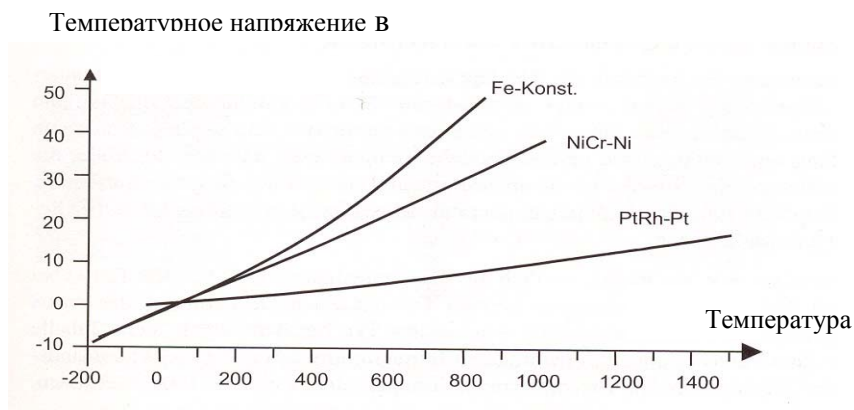


Рис. 3.7 Примеры нелинейных передаточных функций термоэлементов

Большинство аналоговых узлов ряда SIMATIC S7 дают соответствующую линейризацию в самих узлах. Универсальные регуляторы и функциональные модули предполагают, как правило, подготовленные линейризации для наиболее применяемых сенсоров. Специализированные сенсоры должны быть линейризованы самим пользователем. На рынке постоянно растет число линейризованных сенсоров, которые выполнены как активные сенсоры с собственной линейризацией, потенциальной развязкой и/или преобразованием уровня.

На практике при подключении сенсоров часто делают ошибки, которые в простейшем случае приводят к полному отказу аналогового входа. В таком случае поиски ошибки и устранение отказа сравнительно просты. Сложнее и более опасным для человека, окружающей среды и процесса является случай, когда на аналоговый вход поступает значение, не соответствующее правильному. Некоторые важные правила, которые следует соблюдать при проектировании, установке и вводе в эксплуатацию аналоговых устройств считывания, таковы:

- Неиспользуемые аналоговые входы должны заземляться и замыкаться накоротко (но не аналоговые выходы, что приведет к ошибке).
- Аналоговый кабель (особенно все сигналы с напряжением 0...10 В, с термоэлементов, с PT100) должны быть экранированы, а экраны должны быть заземлены вблизи узлов, с большой площадью контакта.
- При разности земных потенциалов менее мВ экран должен подсоединяться только с одной стороны, в ином случае – с двух сторон.
- Прокладка аналоговых кабелей должна выполняться по возможности отдельно от питающего кабеля.
- Длины проводников не должны превышать максимальных длин, указанных в технических данных модуля.
- Место установки сенсора часто определяет регулируемость или качество регулирования процесса

Далее будут описаны важнейшие типы датчиков и их принципы функционирования.

3.2.1 Измерительные сигналы непосредственно подключаемых термоэлементов

Термоэлементы, в дальнейшем обозначаемые сокращенно ТЕ, есть сенсоры, которые создают для применения различную разность потенциалов двух различных металлов (металлических сплавов), если их с одной стороны гальванически соединить, а к началу и концу их проводников дать различные температуры. Чем больше разность температур, тем больше считываемая и оцениваемая разность потенциалов. Зависимость между разностью температур (машина/место сравнения) и разностью напряжений нелинейна.

На рис. 3.7 показано, насколько различны могут быть зависимости (DIN IE584 часть 1) при различных комбинациях металлов. Отдельные ТЕ на практике обозначаются их специальными сокращениями (так называемыми обозначениями типа, см. таблицу 3.2). В противоположность ограниченной области температур резисторных термометров¹, отдельные термоэлементы могут работать до температур выше 1000°C.

Таблица 3.2 Перечень применяемых элементов и их стандартов

Термоэлементы	Тип	Стандарт
Fe-CuNi	L	по DIN 43710
Cu-CuNi	U	DIN 43710
Cu-CuNi	T	IEC 584 часть 1
Fe-CuNi	J	EC 584 часть 1
NiCr-Ni	K	EC 584 часть 1
NiCr-CuNi	E	EC 584 часть 1
Pt10Rh-Pt	S	EC 584 часть 1
Pt13Rh-Pt	R	EC 584 часть 1
Pt30Rh-Pt6Rh	B	EC 584 часть 1

Кроме того, различают заземленные и незаземленные термоэлементы. В заземленном ТЕ электрический потенциал измерительного наконечника идентичен потенциалу станины машины (установки, участка регулирования). Заземленные и незаземленные термоэлементы зачастую требуют различной техники подключения к аналоговому входу. На практике в этом месте часто возникают неясности. Рекомендации по построению и указания по разводке

¹ Контактный термометр, в котором в качестве измерительного эффекта используется температурная зависимость электрического сопротивления проводника из металлического сплава или полупроводникового материала-

отдельных изделий следует выполнять самым точным образом. Определяющую роль при снятии значения температуры с помощью термоэлемента на измерительном наконечнике играет, как упоминалось, получение температуры сравнительного (холодного) спая. Холодный спай есть та клемма, с помощью которой выполняется переход от обоих различных металлов (например, железо – константан) к собственному металлу кабеля (см. рис. 3.8). И здесь на практике часто делаются ошибки, которые в дальнейшем ведут к существенным искажениям результатов измерений.

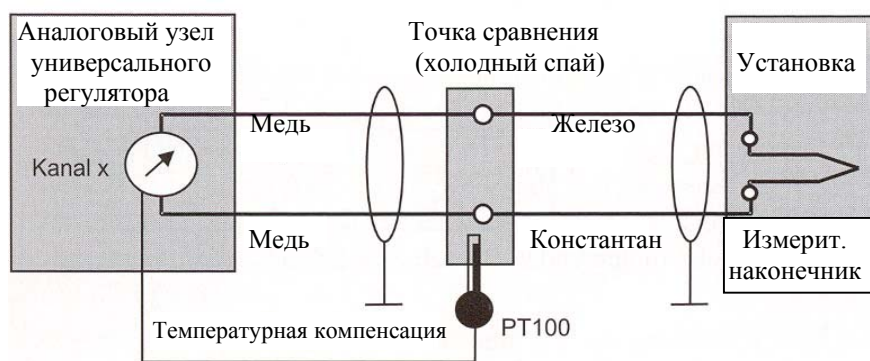


Рис. 3.8 Принцип подключения незаземленного ТЕ с температурной компенсацией

Получение температуры холодного спая логически следует по другому принципу измерений, который не привязан к этой температуре. При получении температуры холодного спая наиболее частым является применение элементов РТ100.

Несколько старая, тем не менее не совсем обычная возможность определения температуры холодного спая состоит в стабилизации холодного спая с помощью внешнего нагрева (см. рис. 3.9). При этом термически изолированная клеммная колодка находится с помощью нагрева при постоянной (относительно высокой) температуре. Основой вычисления температуры измерительного наконечника при определении аналогового значения тогда может применяться константа (в приведенном примере 30°).

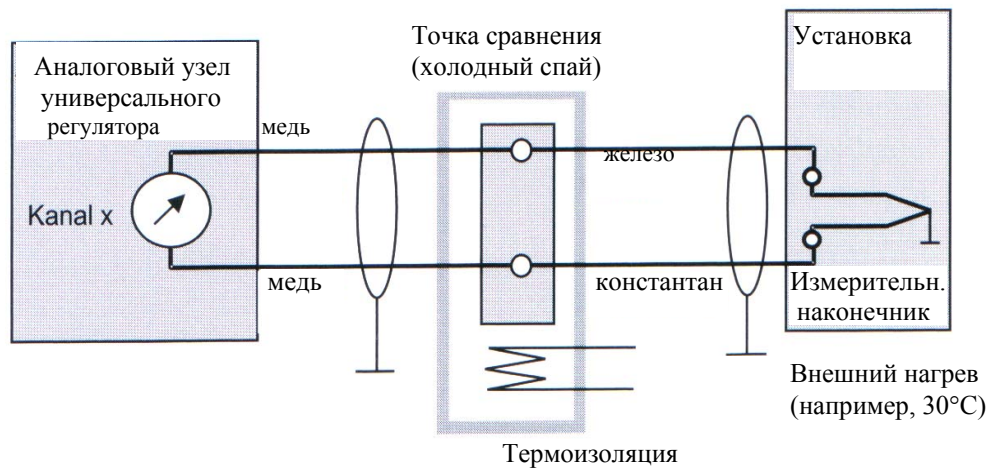


Рис. 3.9 Принцип подключения заземленного ТЕ с постоянной температурой точки сравнения

Следующей возможностью является считывание температуры с помощью компенсационной коробки¹. В этой подключаемой коробке находится измерительная мостовая схема, которая должна питаться внешним напряжением и которая дает компенсационное значение на входной узел (рис. 3.10). Подробное описание смотри в справочнике по приборам SIMATIC S7, состав SIMATIC S7-300(-400)

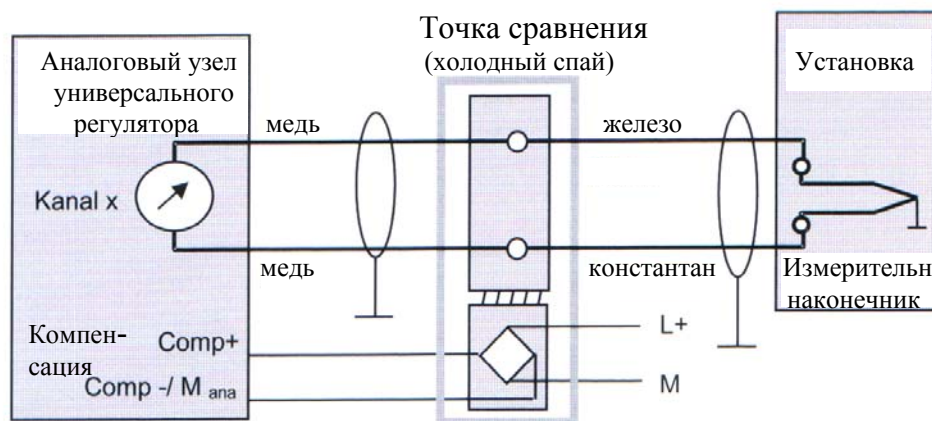


Рис. 3.10 Принцип подключения ТЕ с компенсационной коробкой

¹ Только в стандартных аналоговых входных узлах

Важное указание: Проблемы с термоэлементами могут проявляться во время (многолетней) эксплуатации. В ТЕ (специальных потенциально привязанных ТЕ) со временем корродируют измерительные наконечники. Это приводит в конце концов к срабатыванию встроенного в узел контроля обрыва провода, но такой вид разрушения ТЕ, как правило, не является внезапным. При медленной коррозии проявляется повышенное переходное сопротивление, которое в текущей эксплуатации может привести к значительным ошибкам измерения. При малых напряжениях на ТЕ эти сенсоры чувствительны к электромагнитным помехам. Это следует принимать во внимание при прокладке кабелей, определении места установки и при мерах по экранированию.

3.2.2 Измерительные сигналы непосредственно подключенного резисторного термометра

В противоположность принципу измерения разности напряжений на термоэлементах, резисторные термометры получают их измеряемое значение на основе измерения сопротивления определенных сплавов, которые при температурных изменениях имеют различные значения сопротивления. Важнейшим представителем является сенсор РТ100.

Для измерения сопротивления постоянный ток преобразуется в температурнозависимое напряжение и подводится к узлу. Для этого типа сенсоров отпадает холодный спай, по отношению к коррозии они значительно надежнее термоэлементов. Запитка током резисторных термометров требует компромисса противоречий: с одной стороны ток должен быть выбран по возможности малым, чтобы не вызывать никакого разогрева сенсора, с другой стороны он должен быть выбран по возможности большим, чтобы получить как можно больший измеряемый сигнал. Для запитки резисторного термометра с целью обеспечения точности измерений следует проложить собственные проводники до измерительной головки и там их разместить. Такую технику подключений называют 4-проводным подключением (рис. 3.11).

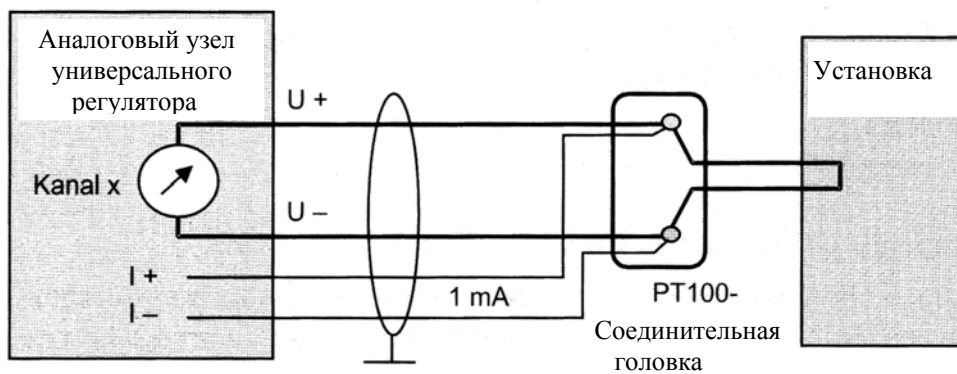


Рис. 3.11 Принцип 4-проводного подключения сенсора PT100

При этом можно ожидать самых малых искажений из-за сопротивления проводников. Если объединить вместе минусовые проводники для измерительного сигнала и электропитания, то получится 3-проводное подключение, при котором появляются больше ограничений по точности. Трехпроводное подключение показано на рис. 3.12.

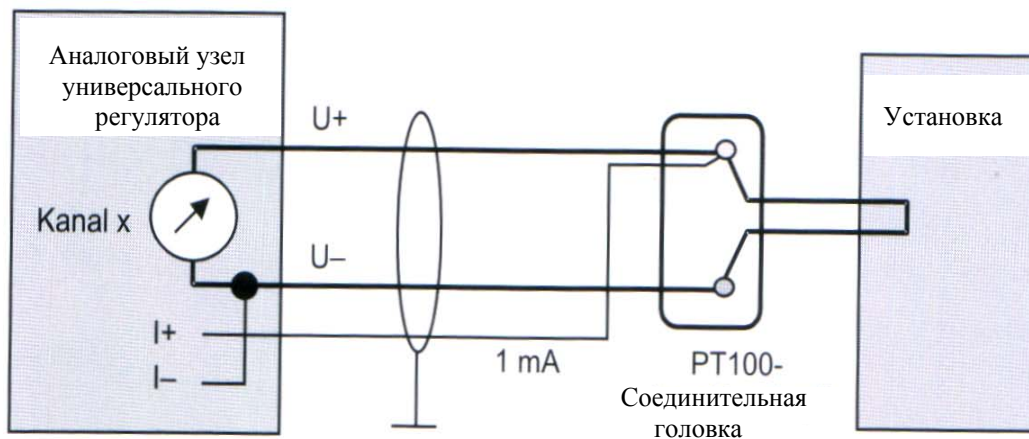


Рис. 3.12 Принцип 3-проводного подключения сенсора PT100

PT100

Сенсор PT100 (см. рис. 3.13) получил свое название от платинового сплава, который при 0°C имеет номинальное сопротивление точно 100 Ом. Сенсоры PT100 на быстрых участках не

столь динамичны, как термоэлементы, так как они, как правило, выполняются более массивными. Сенсоры PT100 имеют также нелинейную характеристику, которая приведена в DIN 43760 и в IEC 584-1 и должна быть линеаризована. Следует, однако, принимать во внимание, что различные универсальные регуляторы используют не весь диапазон DIN, чтобы сохранить потребление питания в приемлемых границах. Соответствующие данные можно найти в технических описаниях узлов регуляторов или входных аналоговых узлов.

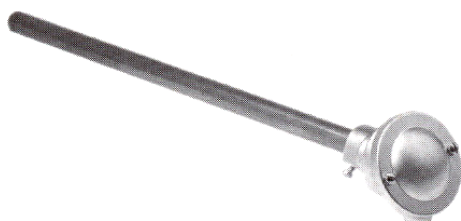


Рис.3.13 Сенсор PT100

PT500 и PT1000

Сенсоры PT500 и PT1000 построены в принципе так же, как и сенсор PT100, только с соответствующим номинальным сопротивлением (500 Ом и 1000 Ом) при 0°C. Эти сенсоры находят применение при требованиях высокой точности. Из-за высокого сопротивления самого сенсора влияние сопротивления проводников незначительно, кроме того, при той же точности они работают со значительно меньшим током питания и поэтому с меньшим саморазогревом.

NI1000

Сенсор NI1000 также является резисторным термометром (DIN 43760) с номинальным сопротивлением 1000 Ом. Этот тип сенсора играет в промышленности только подчиненную роль и поэтому комиссией по нормированию исключен из стандартов.

3.2.3 Стандартные сигналы (0...10 В, 4...20 мА или 0...20 мА)

Сенсоры потока, давления и веса и другие измерительные приборы технологической области, а также во все возрастающем объеме температурные измерения (контактные изме-

рения или по излучению) на практике зачастую оборудованы собственными измерительными преобразователями, которые выдают нормированные сигналы (0...10 В, 4...20 мА или 0...20 мА). С точки зрения программного управления (PLC) и регуляторов процесса различают в основном два вида измерительных преобразователей. Четырехпроводные измерительные преобразователи запитываются от внешнего источника напряжения, как показано на рис. 3.14.

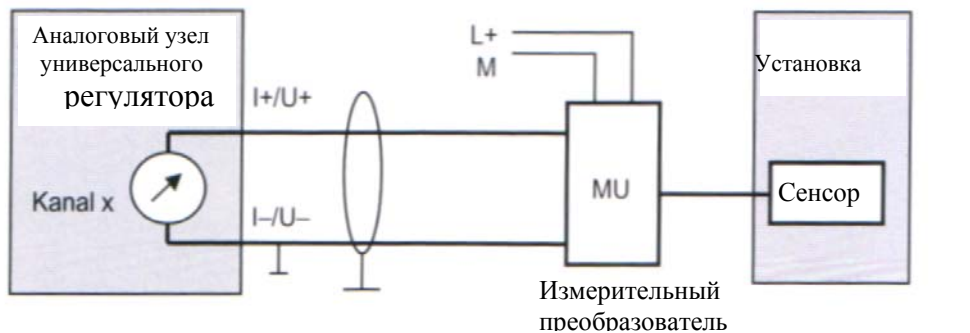


Рис. 3.14 Принцип подключения четырехпроводного измерительного преобразователя

Двухпроводные измерительные преобразователи (рис.3.15) получают свое питающее напряжение от источника питания входного аналогового узла или универсального регулятора.

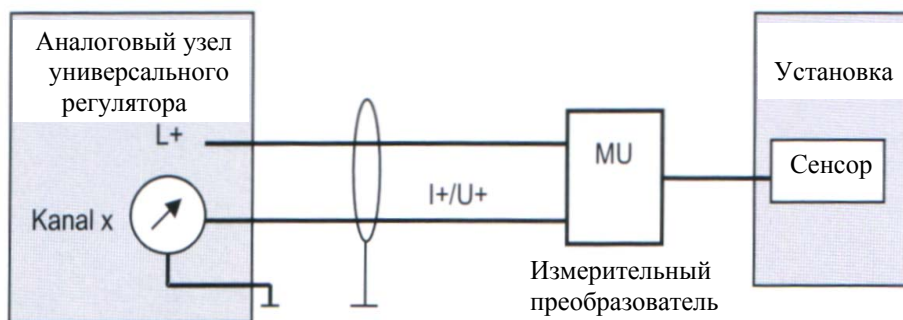


Рис.3.15 Принцип подключения двухпроводного измерительного преобразователя

3.2.4 Принцип измерения при аналоговом считывании

В общей измерительной технике известны и описаны различные методы считывания измеряемых значений и обработки сигналов в цифровых вычислителях, приборах регулирования и системах управления процессами (см. по этому вопросу [9]). Считывание измеренных значений выполняется с помощью входных усилителей, фильтров, мультиплексоров и аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Принцип измерения АЦП в особенности может иметь свое особенное положительное или отрицательное влияние на регулирование. В SIMATIC находят применение в основном три известных способа такого преобразования, которые здесь будут коротко описаны:

Интегрирующий¹ или двухтактный способ

Самым старым и довольно широко распространенным принципом измерения в АЦП при аналоговом входе (для сигнальных модулей SIMATIC) регуляторов процесса и универсальных регуляторов является интегрирующий способ (см. таблицу 3.3). Этот способ относительно медленный, но зато очень устойчив относительно помех в промышленном окружении. Там особенно распространены электромагнитные мешающие поля с гармониками, кратными частоте сети. Измерения показали, что в Европе особенно доминирующую роль в спектре мешающих частот играет частота 400 Гц.

При интегрирующем способе измеряемое значение интегрируется в течение целой волны – 20 мс при 50 Гц. Разрядка интегратора запускается опорным сигналом. Интервал времени от начала разряда до его полного окончания принимается мерой приложенного измеряемого сигнала. При таком принципе измерения автоматически исключаются все мешающие частоты, так как их отрицательные и положительные мешающие импульсы компенсируются. Вследствие длительного времени получения нового аналогового значения (20 мс при частоте сети 50 Гц и 16,7 мс при 60 Гц) этот способ годится только для относительно медленных участков регулирования (преобладающие постоянные времени участка ≥ 1 -2 секунды).

¹ В [9] он обозначен и описан как двухступенчатый АЦП.

Как правило, этого хватает для температурных участков и обычного регулирования в промышленности.

Таблица 3.3

Выдержка из технических данных аналоговых входных модулей SM 331, AI8×12 бит, взята из справочника “Automatisierungssystem (Система автоматизации) S7-300, M7-300/Baugruppendaten (Данные модулей)”

Образование аналогового значения				
Принцип измерения	интегрирующий			
Время интегрирования -/время преобразования/разрешение (на канал)	да			
• параметрируемость	2,5	16 2/3	20	100
• время интегрирования (в мс)	3,0	17	22	102
• полное время преобразования (в мс)				

Способ кодирования мгновенного значения

Существенно более быстрым принципом АЦП при аналоговом вводе для сигнальных модулей SIMATIC является способ кодирования мгновенного значения. Этот способ измерения обеспечивает в аналоговых узлах SIMATIC действующее измеряемое значение в течение нескольких микросекунд (см. таблицу 3.4). Такое считывание аналоговых значений подходит для быстрого регулирования, как, например, для регулирования числа оборотов. Проблемы с такими аналоговыми узлами могут появляться в том случае, если сенсор или

Таблица 3.4

Выдержка из технических данных аналоговых входных модулей SM 431, AI8×14 бит, взята из справочника “Automatisierungssystem (Система автоматизации) S7-300, M7-300/Baugruppendaten (Данные модулей)”

Образование аналогового значения			
Принцип измерения	Кодирование мгновенного значения		
Подавление мешающих частот	Посредством гребенчатого фильтра		
• параметрируется для мешающих частот	400 Гц	60 Гц	50 Гц
• порядок (гармоника)	6	40	48
Время преобразования на канал	10 мкс		
Полное время преобразования	52 мкс		

аналоговые проводники подвергаются влиянию мешающих электромагнитных полей. Из-за эффекта биений могут возникать длительные помехи в виде накладываются частот на получаемое значение сигнала. Отфильтровать эти помехи с помощью программных алгоритмов часто оказывается трудно и дорого.

Последовательная аппроксимация

Само понятие “последовательная аппроксимация” описывает принцип считывания измеряемого значения. При этом к значению измеряемого сигнала приближаются по шагам. Сначала грубо, а затем все более мелкими шагами, пока сравниваемое значение не будет приблизительно соответствовать измеряемому сигналу.

Сигма-дельта ($\Sigma\Delta$) способ

Новый, но весьма затратный способ сигма-дельта АЦП для аналогового ввода основывается на том, что интегратор с подключенным компаратором с обратной связью (1-битный преобразователь) создает переменную длительность импульса, из которой получается измеряемое значение. Это выполняется в чипе с высокой степенью интеграции. При таком относительно медленном способе измерения можно достичь очень высокую точность при одновременно высокой достоверности (см. таблицу 3.5). Применение такого способа оправдывается в узлах с высокими требованиями по разрешению и при сложных измерительных задачах (измерение температуры при прямом подключении). Фильтрация

Таблица 3.5

Выдержка из технических данных аналоговых входных модулей SM 431, AI8×RTD×18 бит, взята из справочника “Automatisierungssystem (Система автоматизации) S7-400, M7-400/Baugruppendaten (Данные модулей)”

Образование аналогового значения		
Принцип измерения	Сигма/дельта (конвейер)	
Подавление мешающих частот	60 Гц	50 Гц
Время преобразования / разрешение		
• время активизации (8 каналов)	<25 мс	
• время активизации (1 канал)	<8 мс	

мешающих частот происходит большей частью в узлах и выполняется там комбинацией аппаратных и программных комплексных фильтров.

Указание: Каждая погрешность измерения влияет непосредственно на качество регулируемого процесса, даже если регулятор индицирует нормально регулируемое состояние.

3.2.5 Разрешение, точность и воспроизводимость

Основными величинами в оценке аналогового ввода наряду со временем кодирования являются разрешение, точность и воспроизводимость (повторяемость). На практике эти понятия всегда следуют одно за другим.

Разрешение считывания аналоговых значений

Разрешение аналогового ввода есть число бит, которыми измеряемый сигнал представлен внутри модуля (например, в FM355 12 бит при времени кодирования 20 мс или 14 бит при 100 мс) или, согласно [10], разрешение есть наименьшее изменение измеряемой величины, еще воспринимаемое измерительным прибором.

Точность считывания аналогового значения

Под точностью аналогового ввода (заметим, не точность всего регулирования) понимают точность представления измеряемого значения. В него входят ошибки измерительного ввода, ошибки преобразования и квантования и прежде всего ошибки измерительного преобразователя. Эта суммарная ошибка цепи ошибок проявляется всегда в конечном значении представления. Если измерение происходит всегда в нижней части диапазона измеряемых величин, то даже при 14-битном преобразовании получатся большие погрешности при считывании измеряемых значений.

Воспроизводимость

Воспроизводимость результатов измерения определяется по разности показаний измеряемого значения после замены узлов при сохранении сигнала на его аналоговом входе. Она должна быть меньше 0,1% от граничного значения области измерений.

Указание: В программном регулировании при входном нормировании номинальных и действительных значений всегда следует обращать внимание, чтобы выбрать разумный, но по возможности меньший диапазон измерений. В большинстве аппаратных регуляторов процесса при температурных измерениях пользователь далее не имеет никакого влияния (выбор сенсора при считывании аналогового значения: PT100 или термоэлемент) на определение диапазона измерений (начало и конец диапазона).

3.3 Подключение исполнительных устройств и сенсоров к PLC (программному логическому контроллеру)

В SIMATIC S7/PCS7 конфигурация и наладка¹ непосредственно или централизованно подключенных сенсоров и исполнительных устройств выполняется с помощью SIMATIC Manager (вид сигнала и задание диапазона измерений).

В SIMATIC Manager с помощью “аппаратной конфигурации” – или сокращенно “HW Config” – можно не только конфигурировать и адресовать соответствующую аппаратуру, но и увидеть все подходящие узлы в виде аппаратного каталога, которые могут быть выбраны пользователем в соответствии с применяемым принципом измерения. Так, на одном 8-канальном узле аналогового ввода (см. рис. 3.16) в определенных границах можно подобрать каждому аналоговому каналу в этом узле другой тип измерения или другой диапазон измерений. Кроме того, с помощью этой маски можно также установить вид диагностики,

¹ Исключение представляют аналоговые узлы, в которых дополнительно должен быть установлен (с помощью кодового устройства на аналоговом модуле) вид считывания аналогового значения (ток, напряжение и т. д.).

если это поддерживается модулями. В SIMATIC S7/PCS7 конфигурация и установка панельных приборов выполняется с помощью SIMATIC PDM. Там можно выполнить наладку прибора с помощью конфигурационной маски (см. рис. 3.17), вложенной в инструмент (как пример широкого спектра продукции SIEMENS AG на рис. 3.18 показано изделие SITRANS P).

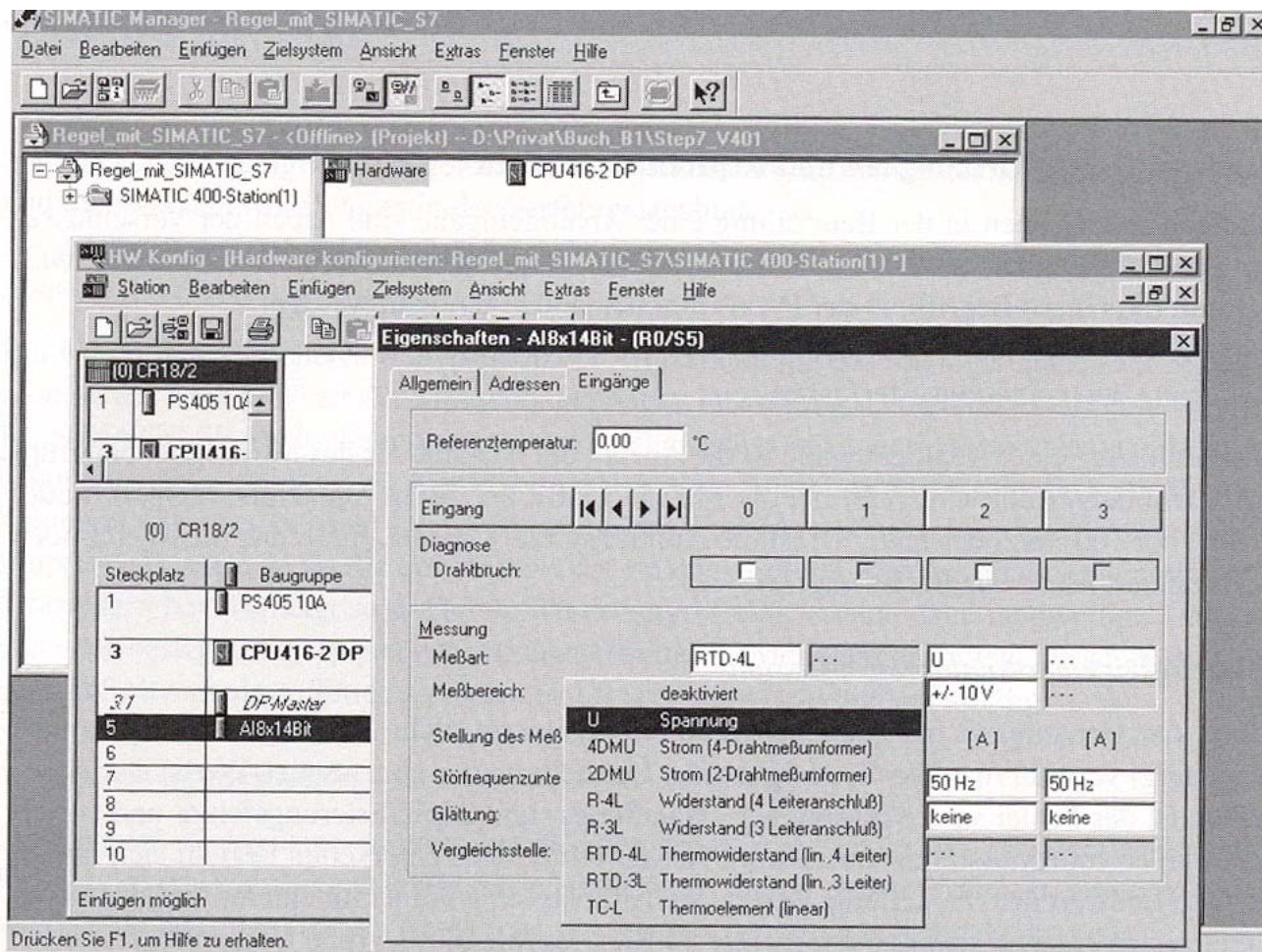


Рис. 3.16 Пример установления вида измерений и диапазона измерений 8-канального аналогового модуля ввода с помощью инструмента “HW-Config” SIMATIC Manager

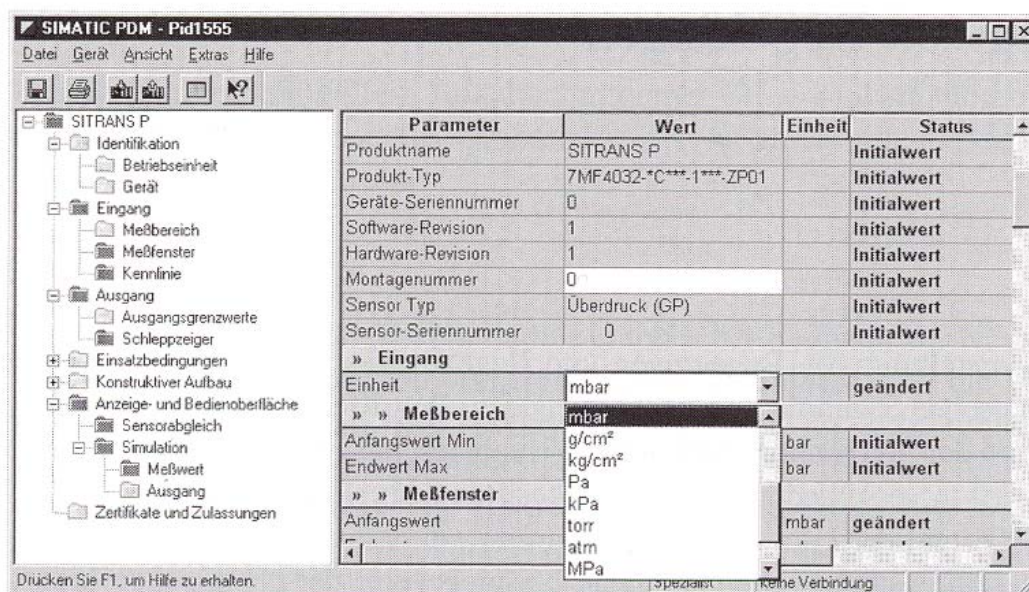


Рис. 3.17 PDM-маска для наладки SITRANS P

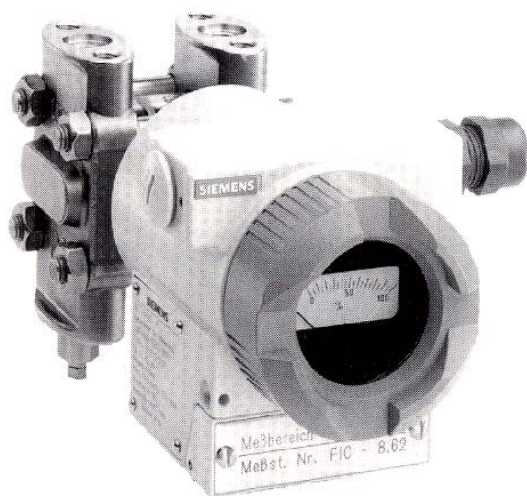


Рис.3.18

Источник – Siemens AG: SITRANS P¹

¹ Измерительный преобразователь SITRANS P серии DS может служить для измерения различных давлений, уровня или потока. В серии DS имеются специальные устройства для подключения к шине PROFIBUS PA, которая является вариантом PROFIBUS DP. Так как PROFIBUS PA имеет малую скорость передачи и поэтому незначительный расход мощности, то эти приборы могут устанавливаться во взрывоопасной зоне.

4 Отображение регулирования

Нормализованное представление регулирования и контуров регулирования предполагает, что буквы, графические символы и применяемые понятия в технической документации и на панелях обслуживания систем визуализации должны быть едины и нормированы. Это установлено в различных предписаниях DIN (Немецкого Института Стандартизации). В DIN 19227, части 1 – 5, DIN 28004 и DIN 19222 установлено, что цитируемые нормы находят применение в технологических установках, например, в химической промышленности, в горной промышленности, в соответствующих частях энергетических станций, металлургических заводов, шахт, строительной промышленности, в промышленности нерудных полезных ископаемых, целлюлозной и бумажной, пищевой промышленности, газо- и водопроводной технике, в климатических устройствах.

Здесь покажем на простейшем примере установки для производства дисперсионной краски различные способы нормализованного представления (отображения) технологического процесса.

4.1 Мнемонические схемы по DIN 28004

Представление мнемонических образов технологических установок, исполнительных устройств, сенсоров, аппаратов, машин и частей установок, а также трубопроводов, - определено в стандарте DIN 28004 часть 1. Мнемонические схемы принципиально можно разделить на основные мнемосхемы, технологические мнемосхемы и RI-мнемосхемы.

Основная мнемосхема

Основная мнемосхема, как, например, рис. 4.1, абстрагирует с помощью прямоугольников и соединяющих линий основные пути воздействия, т. е. мнемонические линии между отдельными частями установки и технологическими процессами.

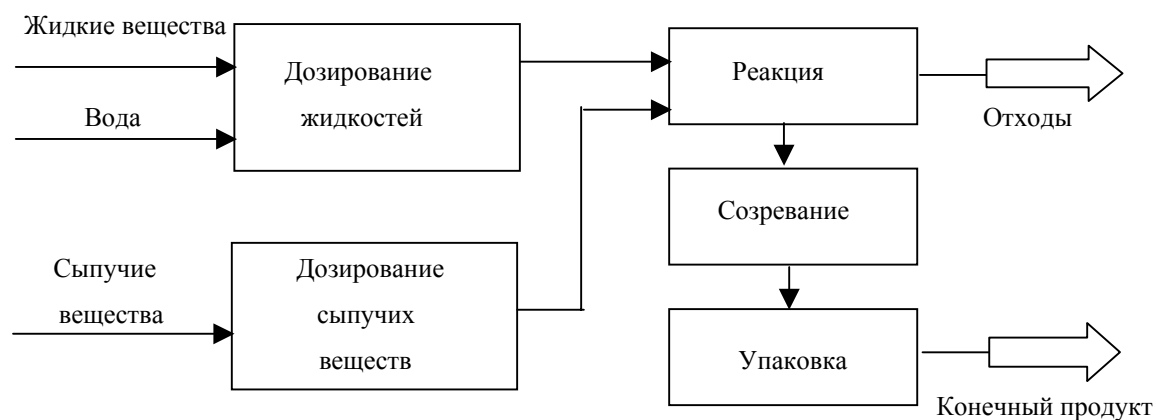


Рис. 4.1 Пример основной мнемосхемы по DIN 28004

Технологическая мнемосхема

Технологическая мнемосхема (частичный фрагмент общей установки для производства красок показан на рис. 4.2) символизирует технологию с помощью графических элементов, которые связаны линиями.

RI-мнемосхема

RI-мнемосхема изображает с помощью графических элементов техническое оборудование установки. Как и на предыдущих мнемосхемах, графические элементы соединены линиями. Сокращение “RI” состоит из R –Rohrleitung (трубопровод) и I – Instrumenten (инструменты). На рис.4.3 обозначение $FRCA^{\pm 11}$ определяет регулирование потока с регистрацией регулируемой величины и возмущающих воздействий в контрольном устройстве при достижении верхней или нижней границы; регулирование $FQIC^{+41}$ обозначает счетчик количества с предустановкой количества, а регулирование $TRCA.41$ есть регулирование температуры с регистрацией и аварийным сообщением при достижении нижней границы. Обозначения см. на рис. 4.5.

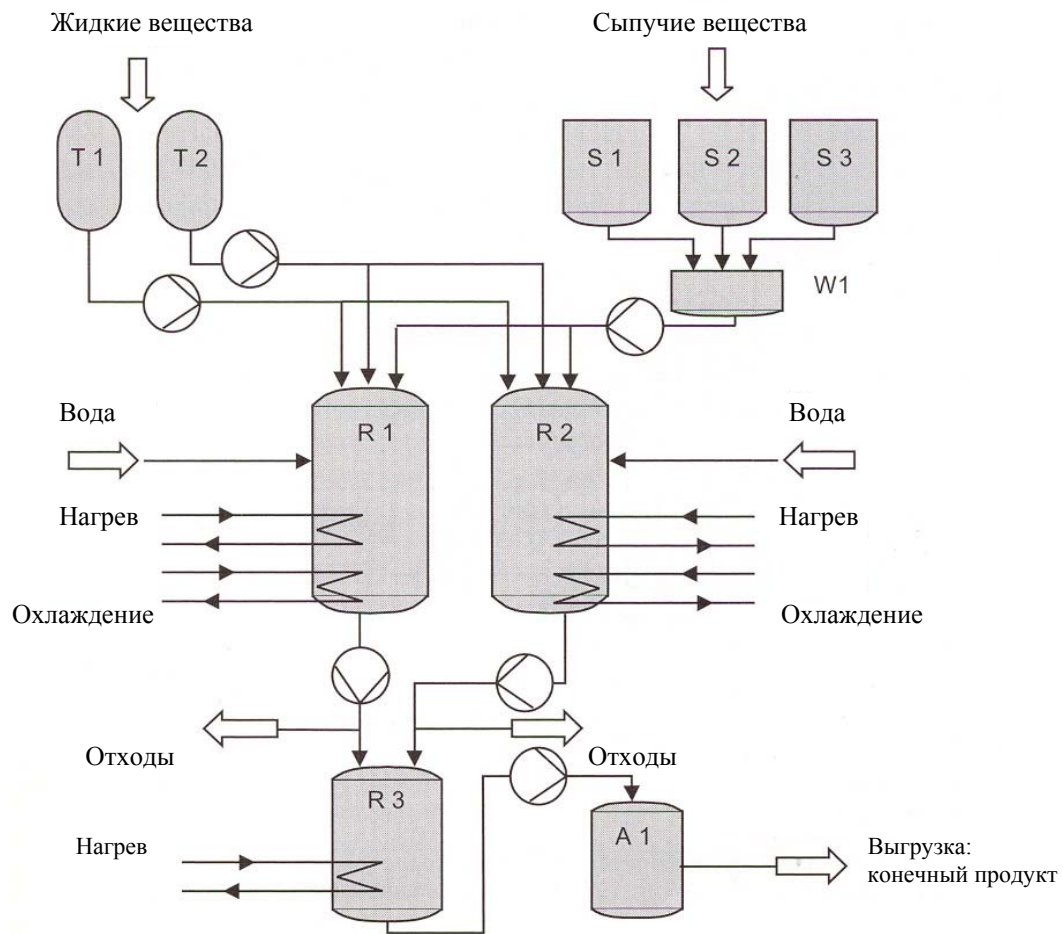


Рис. 4.2 Пример технологической мнемосхемы по DIN 28004

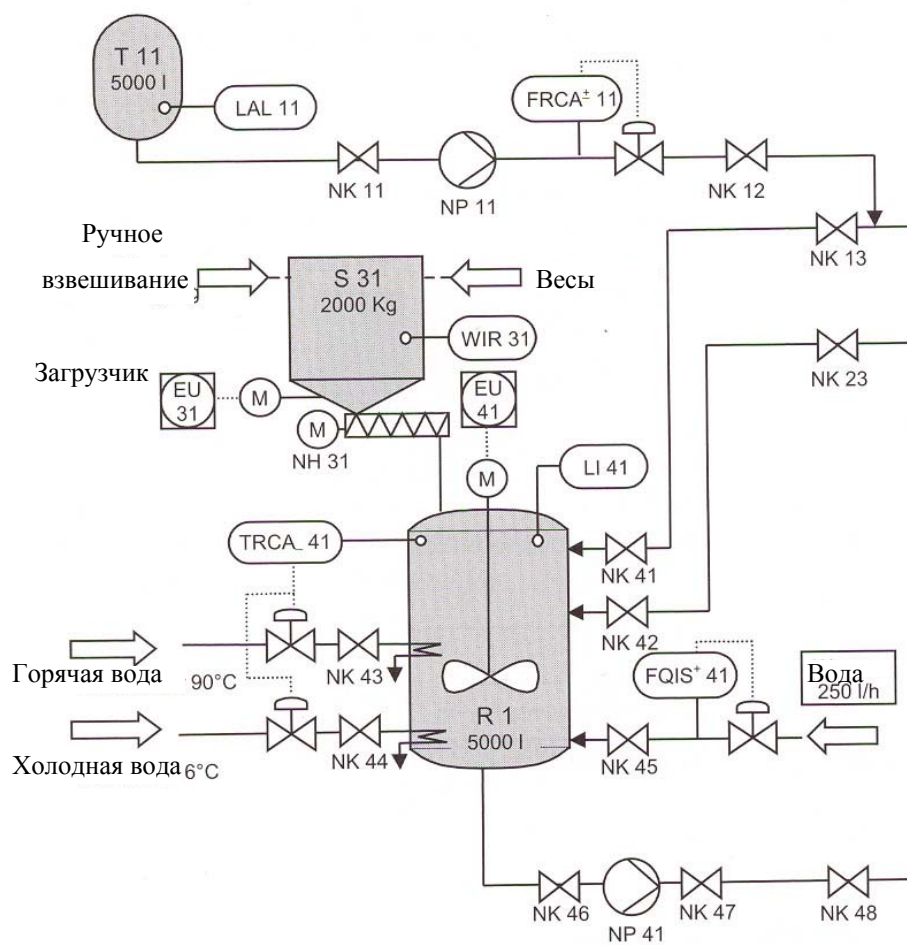


Рис. 4.3

Фрагмент из RI-мнемосхемы технологической установки, служащей для производства краски

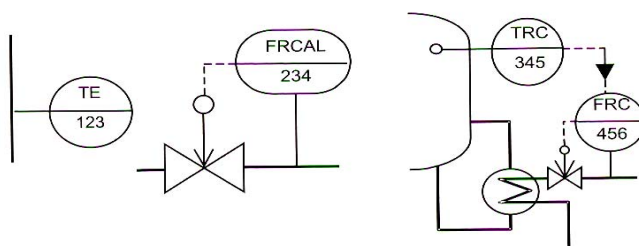


Рис.4.4

Три примера: приемник температуры (слева), регулятор потока (в середине) и каскадный регулятор температуры – потока (справа)

4.2 Проектная документация по DIN 19227, часть 1

Отображение отдельных задач PLT (Prozessleittechnik --техники управления процессами) установлено буквенными обозначениями, которые определены в DIN 19227 часть 1. Они применяются в RI-мнемосхемах и служат для установления точек измерения, которые могут быть описаны видом входной величины, ее обработки, заданием места и направлением передачи данных.

На рис. 4.4 с помощью трех примеров по DIN 19222 показано, как ставятся позиционные символы EMSR¹: один EMRS-символ в верхней части с позиционными буквенными обозначениями, и в нижней части с позиционными обозначениями (численные или численно-буквенные комбинации).

Буквенные обозначения

Буквенные обозначения установлены в DIN 19227, часть 1, таблица 3 и частично показаны на рис.4.6. Они устанавливают измеряемые величины (входные величины) и их обработку и разделяются на первые буквы, конечные буквы и последующие буквы. Рис.4.5, слева, показывает “регулятор разностного давления” в соответствии с DIN 19227, часть 1. Значения процессного регулятора разности давлений визуализируются в контрольном устройстве. Рис.4.5, слева, показывает “регулятор потока” в соответствии с DIN 19227, часть 1, измеряемые действительные значения регулятора проверяются устройством контроля границ, которое может выдавать аварийные сообщения и регистрировать значения процесса.

Следует заметить, что в таблице “Буквенные обозначения для EMSR-техники” рис. 4.6 взаимно исключаются последующие и конечные буквы. В использованном выше позиционном обозначении EMSR для “регулятора потока” стоит буква “R” на 2-ом месте. Но в столбце для конечных букв нет применения для “R”. Таким образом, ее следует применять только в качестве последующей буквы для обозначения “регистрация”.

¹ Сокращение от слов Elektro-, Mess (измерение), Steuer- (управление) и Regelung- (регулирование) Technik

Все другие буквы являются автоматически последующими. При контроле границ могут быть также поставлены знаки “+” и “-” для верхнего или нижнего граничного значения. В качестве примера см. на рис. 4.3 обозначение $FRCA^{\pm} 11$.

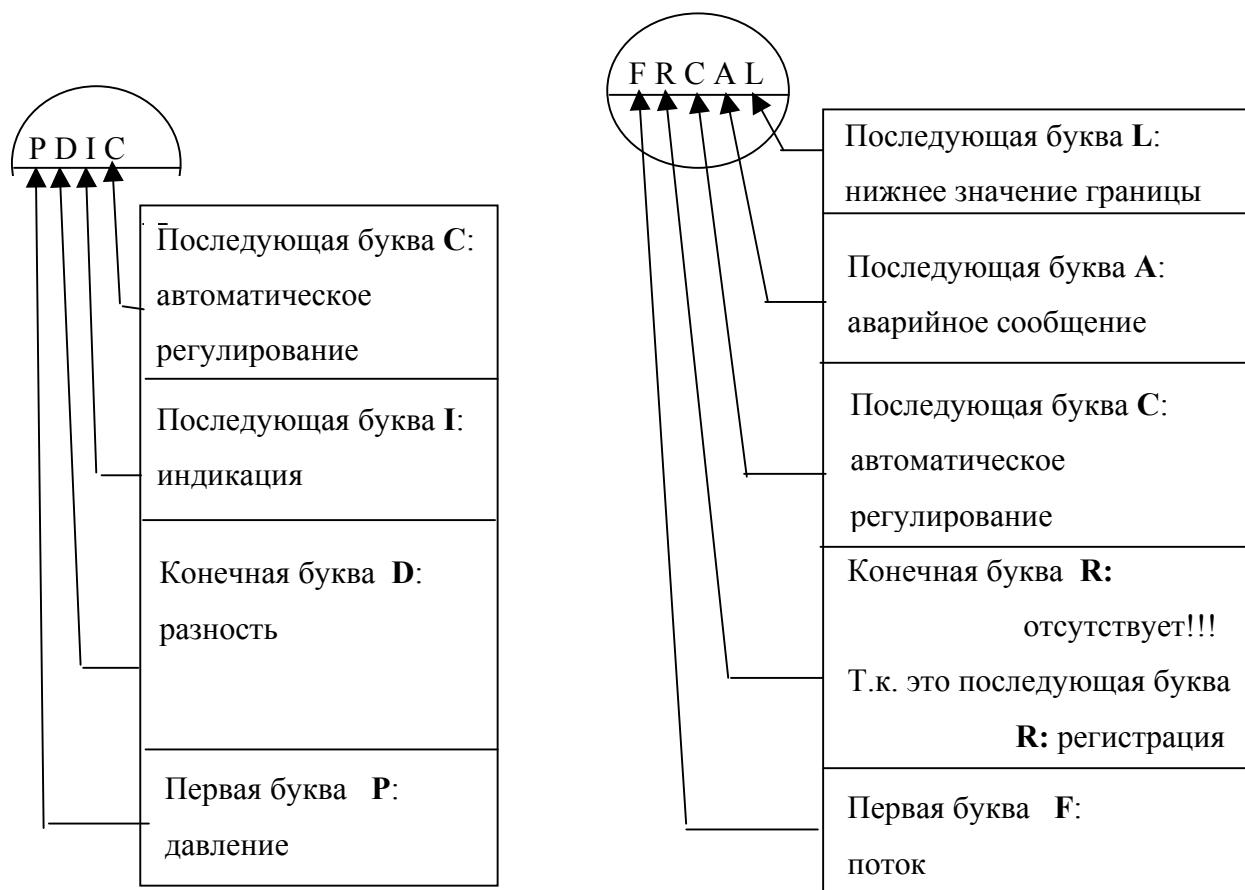


Рис. 4.5

Два примера позиционного обозначения EMSR регулятор давления (слева) и регулятор потока (справа).

4.3 Регулятор на панели проектирования

4.3.1 Программное регулирование в текстовом представлении STL

Рис.4.7 показывает фрагмент из примера, содержащегося в пакете программ регулирования “Modular PID Control”. Программирование этого примера выполнялось с помощью стандартного программного редактора из STEP7 в форме представления STL (или по нем. –

Буквенные обозначения	Группа 1		Группа 2
	Измеряемая величина или исполнительное звено - Первая буква	Входные величины, - конечная буква ^{1)a}	
A	²⁾		Аварийное сообщение
B			
²⁾ C			Автоматическое регулирование
²⁾			
D	Плотность	Разность	
E	Электрическая величина		Приемник (fkti) ¹²⁾
F	Поток, расход	Отношение	
G	Расстояние, длина, положение, растяжение, амплитуда		
H	Ручной ввод, ручное воздействие		Значение верхней границы ⁹⁾
I	²⁾ ¹⁴⁾		Индикация
J	²⁾	Точка измерения (abfr)	
K	Время		Свободно для применения ³⁾
L	Уровень или разделительный слой		Значение нижней границы ⁹⁾
M	Влажность		Свободно для применения ³⁾
N	Свободно для применения ³⁾		
O	Свободно для применения ³⁾ ¹⁴⁾		Оптический сигнал; индикация да / нет
P	Давление		
Q	Свойства вещества, уровень качества, анализ	Интеграл, сумма	
R	Величина излучения		
S	Скорость		
T	Температура		
U	Соединенные		
V	Вязкость		
W			

Рис.4.6 Фрагмент из “Буквенных обозначений EMSR-техники” DIN 19227, часть 1 – таблица 3

AWL) – Список указаний по языку программирования в STEP7. В правой части STL редактора находится каталог элементов и библиотека функций. С приобретением и соответствующей инсталляцией программного пакета “Modular PID Control” оттуда можно вызывать перечисленные элементы в модульные регулировочные структуры пользователя в текстовой форме. С помощью списка формальных параметров функциям передаются фактические параметры (например, PID-регулятор) или переключаются на другие функции с помощью передаточных параметров. Эти переключения выполняются или через глобальные ресурсы (например, указатели и данные) или же через локальные переменные (переменные блока).

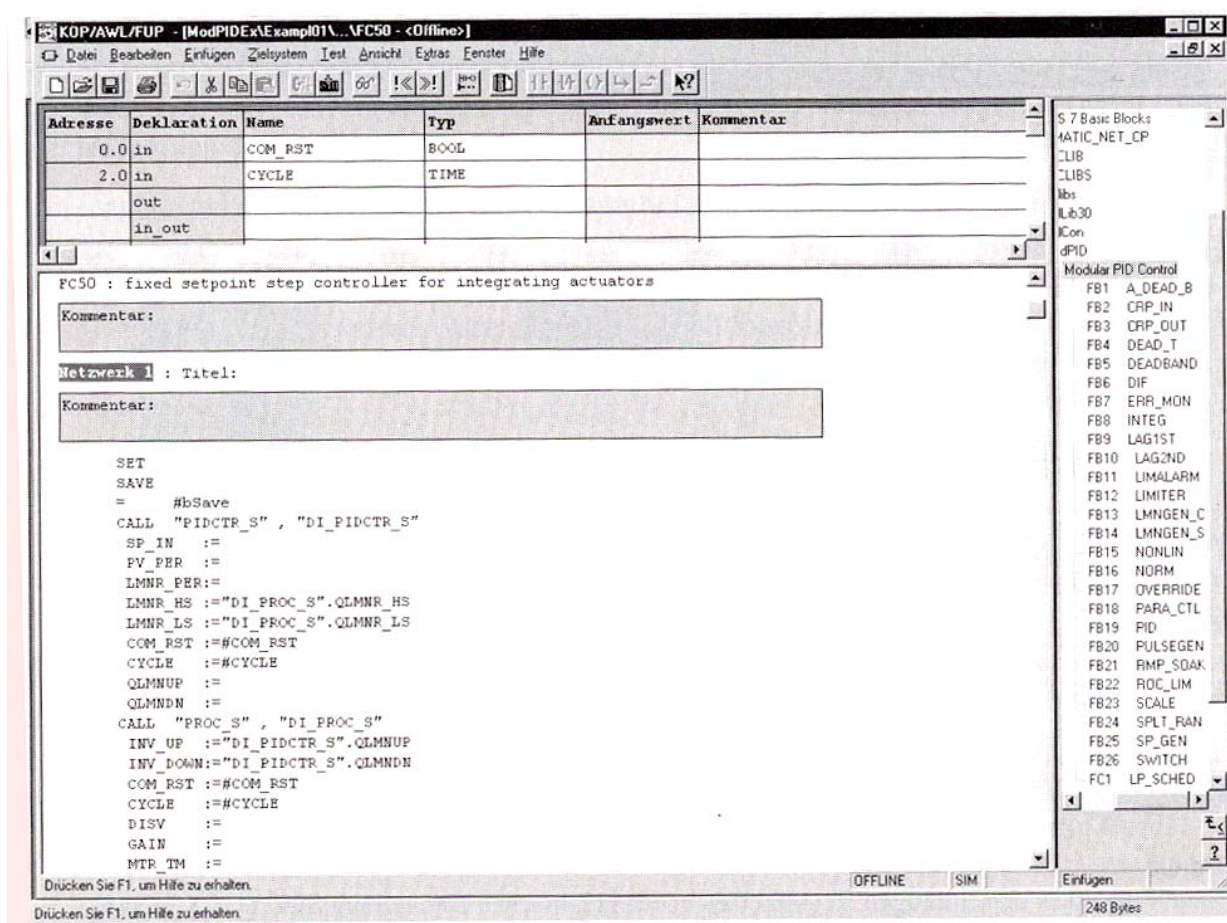


Рис. 4.7 Фрагмент примерной программы “Example01” из Modular PID Control, PC50

рующая структура с различными окнами, без распространения пути сигнала на различные части программы, как это имеет место в представлении STL. Поэтому CFC-представление регулирующих структур значительно нагляднее.

Следующим важным преимуществом CFC-представления является автоматическая документация такого графического инструмента, поскольку основная идея – это последовательное выполнение графического монтажа. Это означает, что при создании программы отказались от применения глобальных ресурсов. Не применяемые параметры в CFC могут быть погашены (сделаны невидимыми на схеме).

4.3.3 Параметрирование компактного регулирования

Для предварительно подготовленного регулирования (например, по “Standard PID Control” или “FM355”) SIMATIC предлагает инструменты конфигурирования, с помощью которых можно отобразить структурную схему в программном окне на панели WINDOW, а наладка может полностью обслуживаться графически. Наладка выполняется выбором PID-символов. При этом открывается диалоговое окно, с помощью которого обслуживается и визуализируется соответствующий функциональный блок. Обслуживание и визуализация такого компактного регулятора всегда привязана к соответствующему блоку данных (DB), который запрашивается в начале диалога с соответствующим регулятором. На рис. 4.9 этим блоком является, как показано в титульной строке на экране, DB101.

4.4 Программный регулятор на панели обслуживания

На рис. 4.10 показана стандартная панель обслуживания (контурный вид) простого PID-регулятора процесса STEP7 (“Standard PID Control”).

Рис. 4.11 показывает стандартную панель обслуживания простого PID-регулятора процесса в PCS7. В терминологии PCS7 детализация отдельных функций обозначается в виде типовых рисунков. Типовой рисунок (faceplate) программного регулятора CTRL_PID имеет различные формы (например, “стандартная”, “обслуживание”, “параметры”, “тренды”, “сообщения” и т. д.).

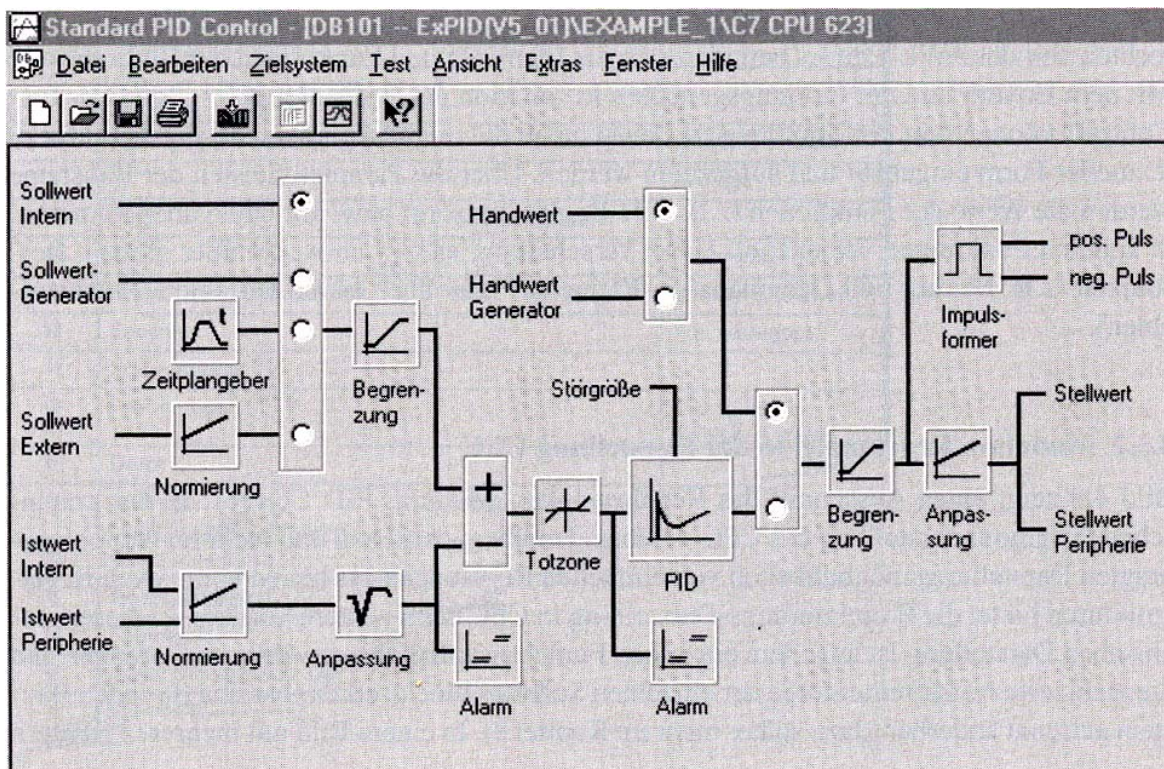


Рис. 4.9 Пример панели параметрирования STANDARD PID CONTROL

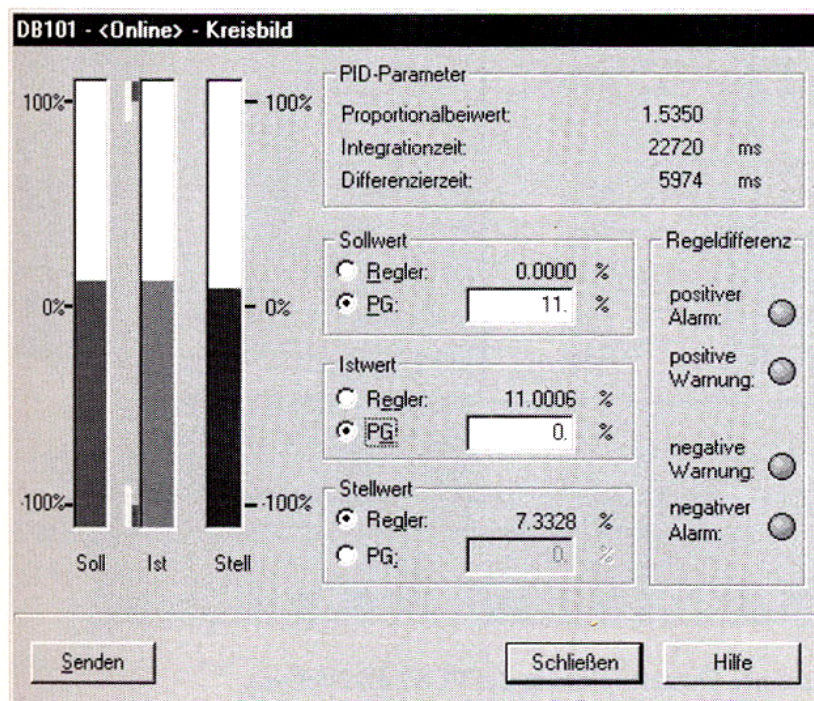


Рис. 4.10

Панель обслуживания
(контурный вид)
пакета Standard PID
Control, интегрированного
в STEP7

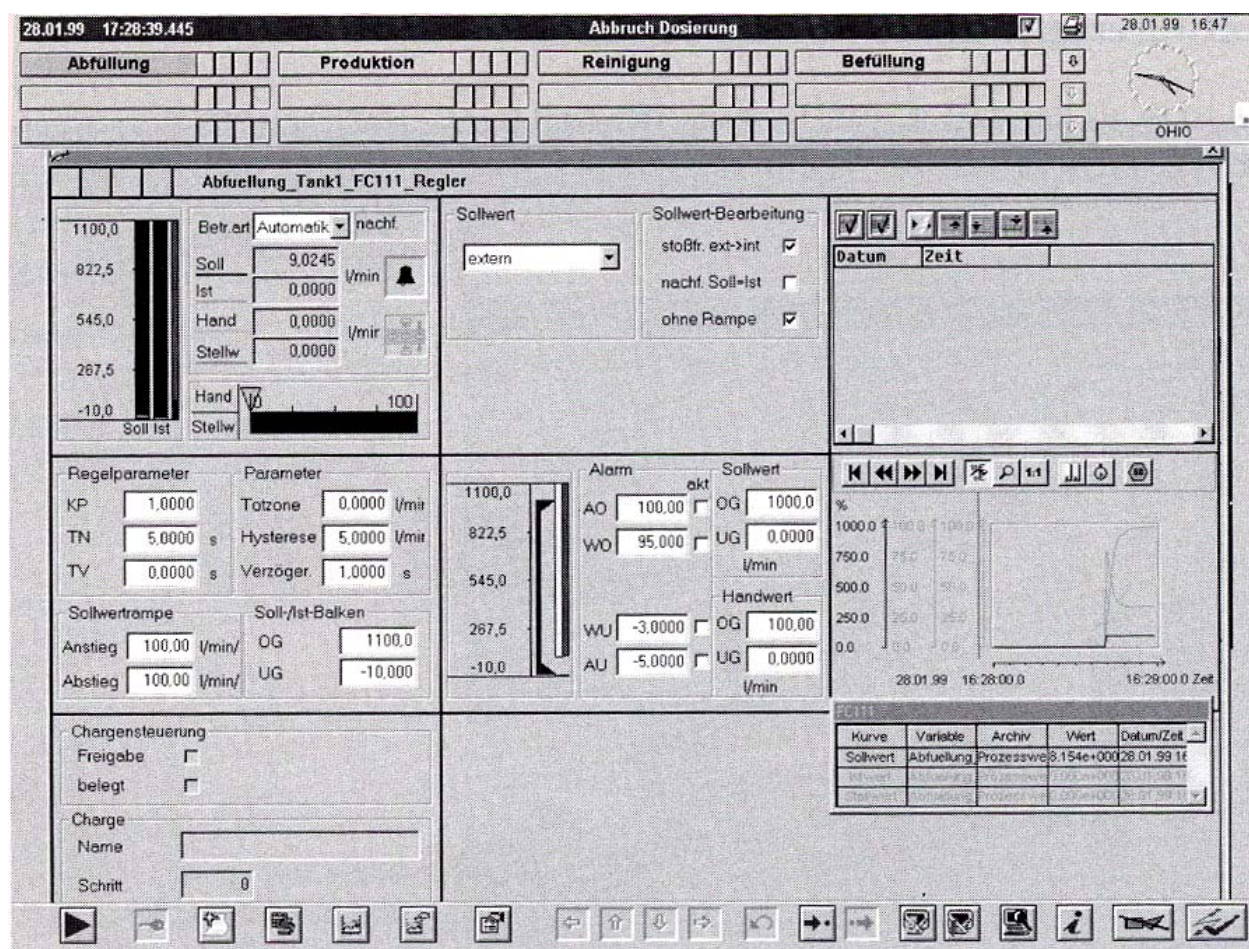


Рис. 4.11 Изображение регулятора (дозировочного регулятора) в представлении PCS7

На рис. 4.11 показан общий вид типового рисунка для CTRL_PID (в представлении LOOP). Шесть элементов рисунка начинаются в рабочей области слева сверху в стандартном представлении, в котором уставка, действительное значение и управляющее воздействие показаны как в десятичном виде, так и в виде шкал¹. На рисунке сверху в середине пользователь определяет вид задания уставки (внутренний / внешний и функцию загрузки). Вверху слева находятся все сообщения (неисправности, нарушения границ, сообщения системы управления и т. д.), относящиеся к этому контуру регулирования. В середине находятся – слева направо – сначала перечень

¹ Только уставка и действительное значение

параметров регулирования (GAIN, TN, TV, TM_LAG, HYST, DEADB и т. д.), далее следуют параметры контроля граничных значений для тревожной сигнализации и наблюдения за действительным значением, а также за нижней и верхней границами уставки и управляющего воздействия, и в конце слева следует представление тренда, включая возможность текстового представления архивных значений. Окно обслуживания справа внизу на рис. 4.11 показывает способ пакетной работы, который задается с помощью опционного пакета Batch Flexibl (гибкий) и в этом примере не используется.

Для формирования панели для обслуживания регулятора существует стандарт. DIN 19235 устанавливает, как должны выглядеть сообщения и рабочие состояния, а VDE/VDI регулирует, помимо прочего, установку цвета рисунка для регулирующего контура на панели обслуживания.

4.5 Панель обслуживания аппаратного регулятора

4.5.1 Обслуживание регулирующих FM

Функциональные модули FM355 и FM455 (см. рис¹. 4.12) относятся к аппаратным регуляторам и не имеют собственной панели обслуживания. Они могут управляться с помощью стандартного обслуживания подключенного CPU (процессора), через разъем обслуживания (например, WinCC, PCS7 OS) или прямо с панели оператора (OP) с общей панели (“Vorort”), а также с PG² в случае сервиса. Эти панели обслуживания создаются индивидуально - в зависимости от применяемых индивидуальных приборов – и соединяются с регулятором через разъем шины MPI-PROFIBUS. Это особенно удобно для строчно-ориентированных узлов обслуживания: текстового дисплея (TD) и приборов OP7, OP17. Здесь нет норм для установки панелей обслуживания.

¹ Источник: Сименс, банк данных в Интернет

² Сокращение PG относится к прибору программирования со STEP7 как Window-приложению для программирования, обслуживания и наблюдения, а также диагностики компонент SIMATIC S7.

4.5.2 Обслуживание регуляторов SIPART

Регуляторы SIPART среди продукции фирмы Сименс много лет доминируют в области техники регулирования технологических процессов. С введением техники панельных шин PROFIBUS и PROFIBUS-DP эти приборы тесно сблизились с семейством SIMATIC. В системе управления процессами PCS7 панельные приборы SIPART занимают важное место и являются частью библиотеки стандартов PCS7 “панельные приборы”. На рис. 4.13 показана панель обслуживания SIPART DR21, для которого в PCS7 есть также соответствующие типовые рисунки (faceplate) для OS (операторской станции).

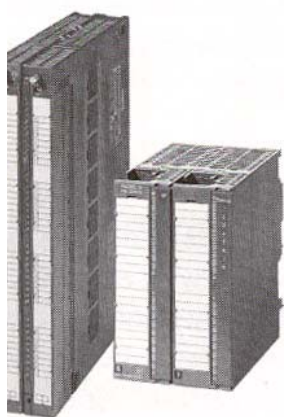


Рис. 4.12
Фото: FM455 (слева)
и FM355 (справа)

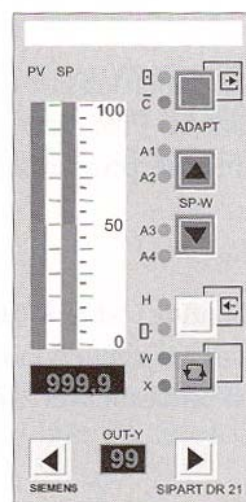


Рис. 4.13
Панель обслуживания
SIPART DR21

5 Режимы работы

5.1 Обзор режимов работы

Различные регуляторы отличаются, как уже упоминалось, не только чисто вычислительными правилами, но и их управляющими механизмами. Важнейшей возможностью управления регулятором является переключение его режимов работы. На практике самый известный переключатель режимов работы – “ручной” / “автоматический”. Если регулятор находится в ручном режиме работы, то контур регулирования разомкнут и регулирующее воздействие задается “от руки”. Если регулятор находится в автоматическом режиме работы, то контур регулирования замкнут и регулирующее воздействие вычисляется и выдается алгоритмом. Регуляторы процессов различаются, кроме того, еще и другими режимами работы (см. рис. 5.1). Подвиды ручного режима определяют виды ручного влияния на регулирующее воздействие – или, лучше сказать, на управление исполнительным звеном. Подвиды автоматического режима определяют виды задания номинального (требуемого) значения.

Режим безопасности

Режим безопасности есть ручной режим работы, он переключает выход регулятора на параметрируемое значение безопасного регулирующего воздействия (из соображений безопасных результатов).

Слежение

Слежение есть ручной режим работы, он переключает выход регулятора на значение процесса “ручное регулирующее воздействие”, которое изменяется пользователем. При программном регулировании “слежение” означает выдачу управляющей программой определенного значения управляющего воздействия.

“Рука” (при OS-обслуживании)

“Рука” (при OS-обслуживании) есть ручной режим работы, он переключает выход регулятора на заданное пользователем значение, которое может быть передано через систему визуализации (типовой рисунок).

Блокировка

Блокировка в аппаратных регуляторах есть ручной режим работы, а в программных регуляторах — автоматический режим работы; он замораживает (блокирует) управляющее воздействие.

SPC

SPC есть автоматический режим работы (Set Point Control = автоматизированное задание уставки) одного узла или программного обеспечения регулятора. При этом подается единожды установленный номинал (уставка) или номинал, задаваемый управляющим (вышестоящим) вычислителем или управляющей программой.

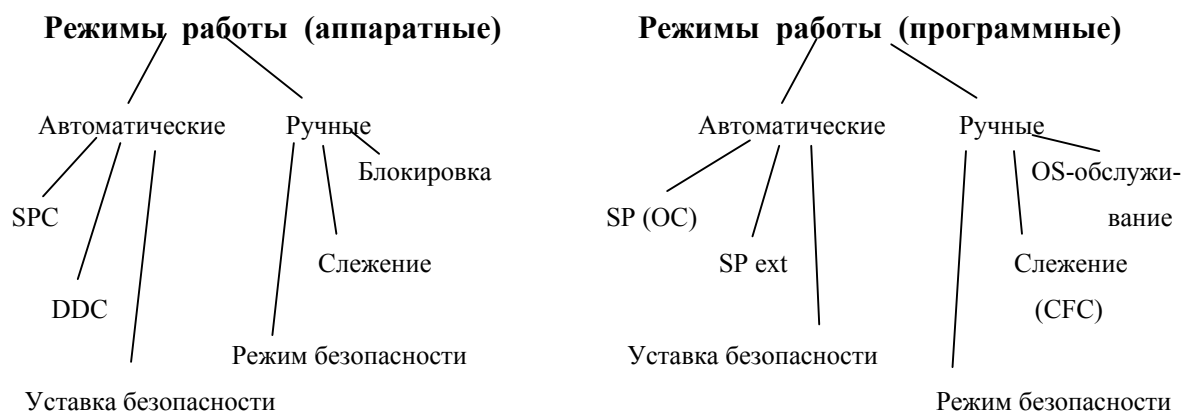


Рис. 5.1 Обзор режимов работ регуляторов процессов. Слева схема аппаратных регуляторов на примере регуляторов SIPART, справа схема программных регуляторов на примере CTRL_PID PCS7

DDC

DDC есть автоматический режим работы (Direct Digital Control – прямое цифровое управление) узла регулятора. При этом управляющее воздействие задается с вышестоящего (управляющего) вычислителя или вышестоящей управляющей программы, а находящийся в автоматическом режиме алгоритм в его мгновенном состоянии “дремлет на заднем плане”. В режиме DDC работает считывание действительного значения, и вышестоящий регулятор может пользоваться этим значением. При возникновении отказа вычислителя (или процессора) вышестоящего управления регулятор включается плавно. Такую переходную характеристику называют также характеристикой резерва.

Уставка безопасности

Уставка безопасности есть автоматический режим работы узла регулятора, который выполняется при отказе соединения, вычислителя или процессора. В нормальном случае уставку (подчиненному) узлу дает вышестоящий вычислитель или вышестоящая программа. В случае отказа узел регулирования работает не по последнему сохранившемуся значению уставки, а по специально для этого случая параметризованного значения уставки безопасности.

5.2 Режимы работы ручной и автоматический

Помимо упомянутых в регуляторе происходит еще целый ряд явлений, которые часто остаются скрытыми от пользователя и которые могут очень различно проявляться в работе отдельных регуляторов.

5.2.1. Плавное переключение ручной / автоматический

В большинстве установок требуется “плавное переключение” из ручного режима в автоматический. Без этой функции имеющаяся регулирующая разность в первый момент автоматической работы заставила бы регулятор реагировать скачком и резко изменить

прежнее значение регулирующего значения на вычисленное. В большинстве случаев это нежелательно и может вызвать отрицательные последствия для регулятора.

При плавном переключении из ручного режима в автоматический следует при ручной работе в PI(D) алгоритме так скорректировать ручное регулирующее воздействие и записать в I-звено, чтобы после переключения на автоматику не было бы скачка этого воздействия. Это показано на рис. 5.2. Упрощенно говоря, регулирующий алгоритм ручного режима должен быть пересчитан в обратном порядке и результат по формуле 5.1 записан в I-звено.

$$I = Y - P - Z \quad (5.1)$$

Здесь Y есть управляющее воздействие (его значение в ручном режиме), P – текущее значение P-звена, Z – текущее значение входного возмущения.

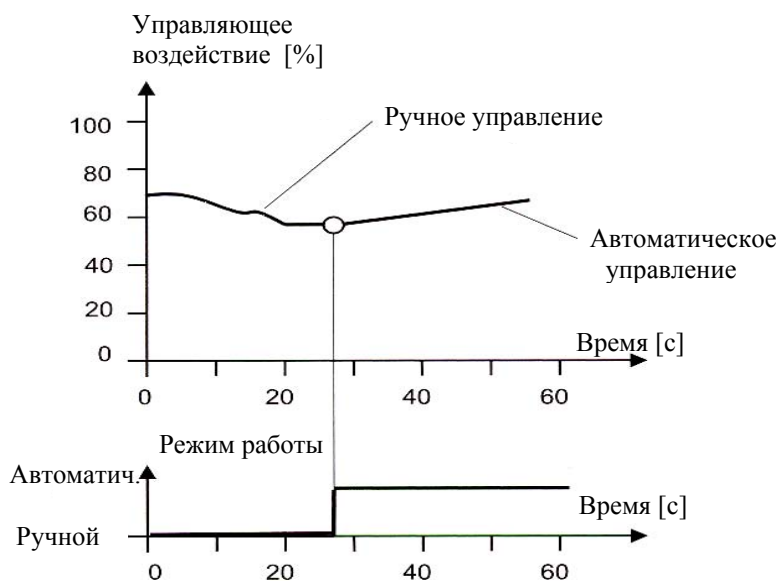


Рис. 5.2

Пример плавного переключения с ручного режима на автоматику. Показано поведение выхода регулятора после произвольной ручной установки регулирующего воздействия в ручном режиме и при последующем переключении в автоматический режим при имеющейся постоянной управляющей разности. В момент переключения нет скачка; регулятор работает непрерывно с последнего ручного регулирующего воздействия.

5.2.2 Плавное переключение из автоматического режима в ручной

Как и при плавном переключении из ручного режима в автоматический, плавное переключение из автоматики в ручное управление, какое показано на рис.5.3, является важной функцией практического регулятора процесса. Чтобы обеспечить плавное переключение из автоматического режима в ручной, в автоматическом режиме должно постоянно сохраняться текущее значение управляющего воздействия в качестве ручного значения. Таким образом значение, или параметр ручного управляющего воздействия, переходит в массив ввода ручного режима и в массив выхода из автоматического режима. Внутренняя функция регулятора (как, например, переключение ручной / автоматический) в функциональном блоке (FB) воспринимает при определенных условиях на запись, а при других условиях на чтение, один и тот же параметр. Эти параметры должны записываться или считываться (и соответственно использоваться), переключаясь согласно сравнению старый/новый.

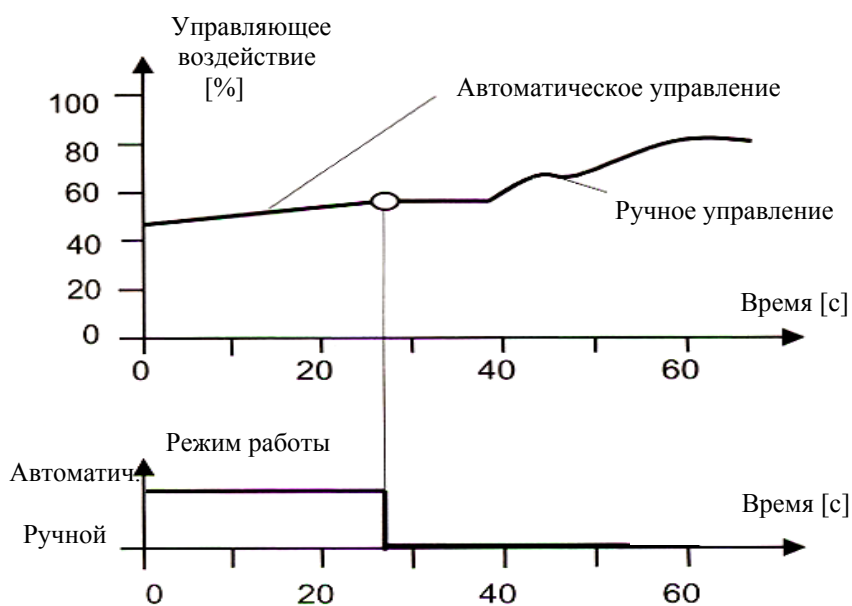


Рис. 5.3 Пример плавного переключения из автоматики в ручной режим. Показано поведение выхода регулятора в автоматическом режиме при текущей постоянной управляющей разности. При переключении в ручной режим не происходит никакого скачка; регулятор может управляться вручную от последнего автоматического значения.

Указание: Как программа пользователя, так и панели обслуживания никогда не должны записывать циклически в параметр ручное управляющее воздействие или переключатель видов работы.

5.2.3 Переключение режимов ручной / автоматический со скачком

При температурном регулировании встречаются регуляторы, в которых плавное переключение режимов с ручного на автоматический не требуется или даже нежелательно. Этот вид работы для регулятора более прост, так как алгоритм регулятора во время ручного режима должен только бездействовать, а в момент переключения в автоматический режим должен просто работать дальше с того места, в котором он был прерван переключением в ручной режим. Бездействие регулятора ни в коем случае не означает переключение программы регулятора, а только переключение в ручной режим с соответствующим соединением (уставка = действительное значение). Переключение регулятора означает, что I-звено остановилось, а при переключении с ручного режима на автоматический изменяется P-звено ($\Delta u = K \cdot e$), при этом произвольно активируется I-звено (старое I-звено (см. рис 5.4)). Такие переходы в регуляторе приводят к проблемам и не рекомендуются.

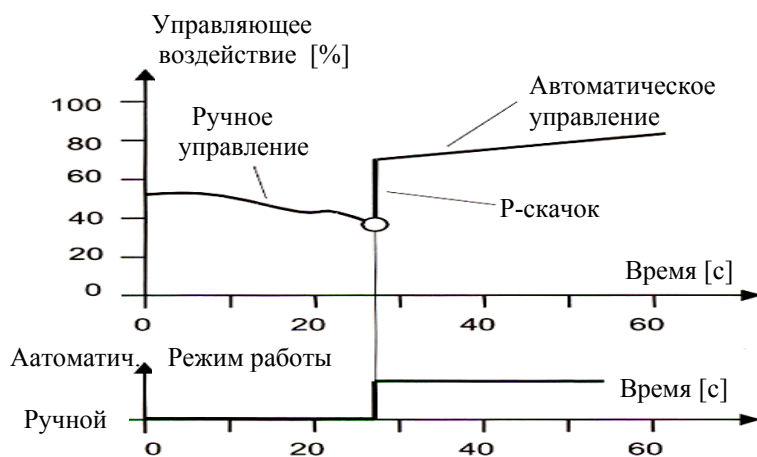


Рис. 5.4 Пример переключения режимов из ручного в автоматический со скачком. Показано изменение выхода регулятора после произвольной ручной установки управляющего воздействия в ручном режиме и последующего переключения в автоматический режим при имеющейся постоянной регулирующей разности. В момент переключения имеет место скачок (P-скачок); регулятор перепрыгивает к последнему автоматическому значению управляющего воздействия.

5.2.4 Переключение режимов автоматический / ручной со скачком

Этот вид работы в условиях “нормального” ручного управления процессом со стороны обслуживающего персонала не имеет никакого смысла и поэтому не введен ни в один из известных регуляторов процесса. Такой вид работы означал бы, что с переключением регулятора в ручной режим выход сразу же перейдет на значение последнего установленного ручного управляющего воздействия, чем вызовет нежелательные для процесса изменения управляющего воздействия. Регуляторы, которые не имеют внутреннего плавного переключения режимов с автоматического на ручной, должны обеспечивать его программированием на панели обслуживания.

5.2.5 Переключение режимов автоматический / безопасное управляющее воздействие

Переключение из автоматического режима в режим безопасного управляющего воздействия есть как раз то, что желательно для поведения, описанного в предыдущем разделе. С появлением угрожающего безопасности результата (например, с переходом верхней границы температуры) выход регулятора сразу же принудительно ставится в положение безопасности. Выход должен скачком измениться до желаемого значения. Значение безопасного регулирующего воздействия является, в отличие от ручного управляющего воздействия, не значение процесса, которое задается пользователем, но однажды установленный параметр или заданное предварительно перед управлением фиксированное значение (внутреннее значение в вычислителе).

5.2.6 Переключение SPC- или DDC / уставка безопасности

При переключении из автоматического режима (SPC или DDC) в режим уставки безопасности в регуляторе изменяется только действующее значение уставки. Воздействие на регулятор будет то же самое, что вызывает нормальное изменение уставки с помощью панели обслуживания. Если кто желает избежать больших изменений управляющего воздействия, то может воспользоваться функцией RAMPE (см. главу 6) в цепи уставки.

5.3 Запуск (программного) регулятора после перезапуска процессора

Все изменения видов работы и переключения, которые влияют на текущее действительное значение, приводят, как правило, к возмущениям в отрегулированной системе. Особенно запуск установки новым стартом или перезапуском управления (например, при отключении питающего напряжения), а также при производственных выключениях и включениях установки регулятор процесса стоит перед задачей по возможности быстро и без больших выбросов снова достичь предписанной уставки. Имеются различные стратегии такого запуска программного регулятора процесса с их специфическими преимуществами и недостатками. Какие из следующих возможностей будут лучшими, определяется исключительно видом процесса и требованиями к работе установки. Здесь должны решать проектировщик или работник, вводящий в эксплуатацию, должна ли уставка отрабатываться быстро с небольшим перерегулированием или же скорее осторожно.

5.3.1 Запуск регулирующего контура со скачком

Запуск регулирующего контура со скачком (рис. 5.5) означает отсутствие издержек на программирование или параметрирование в фазе проектирования.

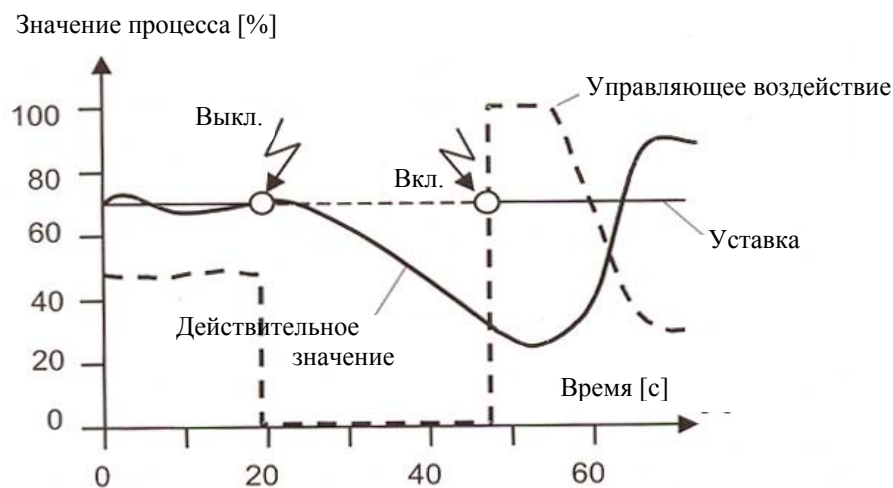


Рис. 5.5 Пример перезапуска регулятора или установки со скачком после отключения питающего напряжения

С прекращением управления (AUS) становится управляющее воздействие – без специальных мер – на основе блокировки команд процессора равным нулю. Действительное значение устанавливаемой системы будет стремиться к значению покоя. С возвратом напряжения при первом обращении регулятор распознает большую регулируемую разность и будет реагировать соответственно. Управляющее воздействие может мгновенно подняться до максимальной границы. Преимущество такого способа запуска состоит в том, что процессор реагирует быстро и в после установки параметра регулирования более или менее энергично отрегулирует это возмущение. Если на момент повторного запуска в системе содержится еще много “энергии”, то после такого возмущения можно ожидать перерегулирования.

5.3.2 Плавный запуск регулирующего контура

Плавный запуск регулирующего контура означает использование ресурсов программирования или параметрирования на стадии проектирования. С прекращением управления (AUS) становится управляющее воздействие – без специальных мер – равным нулю. Действительное значение устанавливаемой системы будет стремиться к значению покоя. Чтобы избежать перерегулирования, имеются различные возможности:

Переключение режимов АВТОМАТ - РУЧНОЙ - АВТОМАТ

Регулятор в режиме запуска ОВ (ОВ100) приводится в ручной режим (рис. 5.6). При этом при первом вызове регулятора будет заморожено старое значение управляющего воздействия (которое было до отключения напряжения). После первого прохода в ручном режиме регулятор будет снова автоматически переведен в автоматический режим. Большая регулирующая разность будет выявлена, но никакого Р-скачка не последует. Регулятор, исходя от этого управляющего воздействия, работает дальше “мягко”. При таком способе меньше опасность перерегулирования, однако следует считаться с медленным процессом установления.

Запуск с помощью RAMP-функции

Уставка регулятора в режиме ОВ (ОВ100) устанавливается в значение регулируемой величины (уставка = действительное значение) и активируется функция RAMP (переходная кривая) (Рис. 5.7). Более подробную информацию об этой функции регулирования Вы найдете в главе 6. После первого вызова регулятора будет установлена прежняя уставка



Рис. 5.6 Пример плавного повторного включения регулятора или установки после отключения питающего напряжения с помощью переключения режимов АВТОМАТ – РУЧНОЙ – АВТОМАТ при перезапуске

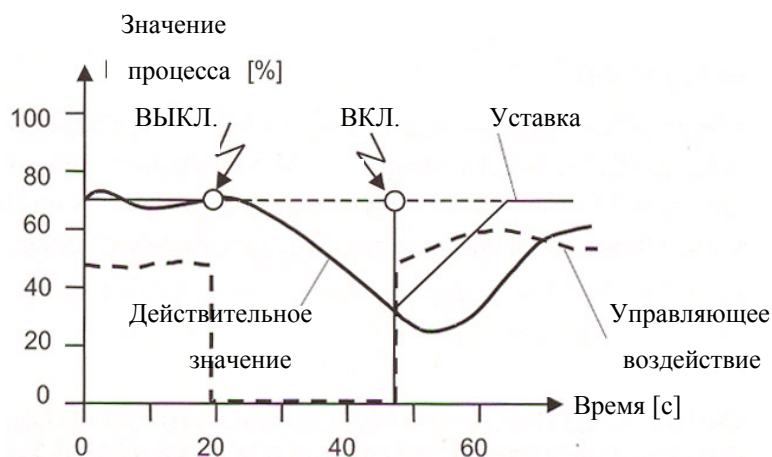


Рис. 5.7 Пример плавного повторного включения регулятора или установки после отключения питающего напряжения с помощью программной переходной кривой

(уставка, которая была до перерыва питания). Таким образом, к началу перезапуска установка не заметит никакой дополнительной регулирующей разности, управляющее воздействие примет старое значение – значение до перерыва питания – и не будет Р-скачка. С полученным управляющим воздействием регулятор “мягко” работает дальше. При этом способе также уменьшается опасность перерегулирования, однако и здесь следует считаться с замедленным (асимптотическим) поведением регулирующего контура.

Запуск с установкой I-звена

Некоторые продукты (например, Standard PID Control) располагают собственным запуском (например: FB41 “CONT_C” параметр COM_RST). С его помощью после запуска процессора устанавливается внутренне I-звено на предписанное значение, что может привести к плавному переключению.

5.4 Режимы работы после включения / выключения регулятора

Контуров регулирования таких величин, как давление, уровень, поток, - если без больших пауз – в большинстве случаев относятся к хорошо управляемым контурам, так как их характеристики линейны и симметричны. Контуров температурного регулирования управляются значительно труднее, так как нагрев и охлаждение описываются другими системами дифференциальных уравнений. Получить такую асимметрию с линейными PID-регуляторами не очень просто. Перезапуск такого регулятора, если он произойдет при перерыве питания или при производственном отключении, во всех линейных PID-регуляторах процесса потребует разнообразных ухищрений, чтобы получить желаемые результаты регулирования.

5.4.1 Управляемый запуск контура управления

Некоторые термические процессы не допускают даже очень маленького перерегулирования (например, прессование резины), чтобы материал не воспламенился в машине. Несмотря на это, машина должна как можно быстрее выйти на рабочую температуру, чтобы уменьшить энергетические расходы и время простоя. Так как регулируемый параметр таких машин

зачастую трудно выявить и он еще зависит от рабочей точки, то в таких случаях используют компромиссы, которые такие противоречивые требования достаточно выполняют:

Переключение набора параметров регулирования

Для быстрого нагрева устройство работает, как показано на рис. 5.8, с “агрессивными” параметрами регулирования (набор параметров 1). Набор параметров 2 настроен так, что не происходит никакого перерегулирования. Через определенное время (соответственно устанавливаемое) выполняется переключение в набор параметров 2.

Особенно устойчив в наборе параметров 1 PD-регулятор (без I-звена). Переключение двух наборов параметров должно выполняться плавно через поэтапное управление (переключением режимов работы автоматический – ручной – автоматический).

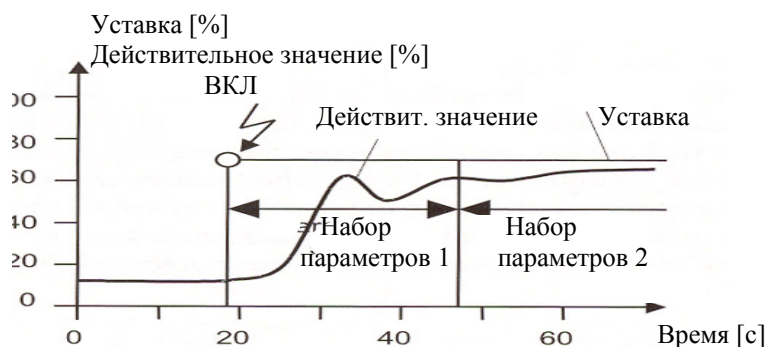


Рис.5.8 Пример управления параметрами для запуска контура температурного регулирования

Указание: Рекомендуется при переключении параметров регулирования - набор параметров 1 и набор параметров 2 – закладывать в значения K_p по возможности малое различие. На каждое значительное изменение K_p большинство PID-регуляторов процесса реагируют Р-скачком. Значительное изменение I-звена, напротив, не проявляется скачком.

Запуск ручным способом

Следующей возможностью управляемого запуска установки является запуск регулятора в ручном режиме (ручное управляющее воздействие исходит из логики управления) и далее переключение в автоматический режим. Однако оказалось, что PID-регулятор процесса с таким режимом работы трудно оптимизировать. I-звено должно было бы в момент загрузки устанавливаться в определенное значение, которое, помимо прочего, зависит от

“энергетического состояние” контура. Но оно, как правило, неизвестно, и едва ли воспроизводимо в установке. На основе нашего опыта такой режим не рекомендуем.

5.4.2 Управляемый запуск регулирующего контура

Управляемый запуск устройства или процесса из состояния покоя при оптимальных параметрах регулирования является простым и эффективным для обычно применяемых PID-регуляторов процесса, если регулятор во время покоя (в режиме AUS – ВЫКЛЮЧЕНО) обслуживается правильно.

Указание: В состоянии покоя устройства или процесса (пауза, отключение энергопитания и т. д.) PID-регулятор процесса должен быть всегда приведен в режим AUS (ВЫКЛЮЧЕНО) или, по меньшей мере, в режим HAND (РУЧНОЙ). При этом I-звено устанавливается определенным образом и не входит в насыщение.

5.5 Безопасные режимы работы

В промышленности существуют регулирующие процессы, которые ни при каких обстоятельствах не должны останавливаться. Даже при отказе процессора регулятор должен быть в состоянии выполнять свою задачу – по обстоятельствам, хотя бы с меньшими функциями (с ухудшением работы). Для этого имеются различные стратегии надежности, но они требуют больших инвестиционных расходов. Одной из таких стратегий является введение второго (аппаратного) регулятора как резерва.

5.5.1 SPC - резерв

Как уже показано в главе 5.1, вид работы SPC (Set Point Control – автоматическое задание уставки) есть такой режим, при котором уставка задается регулятору. Режим SPC – резерв (Backup) означает, что вышестоящее управляющее регулирование (например, высококачественная регулирующая структура) передает подчиненному (аппаратному) регулятору циклически активизируемую уставку. Подчиненный регулятор находится при этом в автоматическом режиме работы. Если же откажет вышестоящее управление, то регулятор SPC-резерв работает дальше по последней переданной уставке. Если резервный

регулятор в состоянии выполнить наблюдение за признаком работоспособности вышестоящего управления, то в случае отказа управления может быть включена уставка безопасности.

FM355 и FM455 специально приспособлены для функций SPC-резерва, чтобы можно было надежно выполнять надежные технологические процессы и в рамках PCS7. Так как эти модули не имеют собственных возможностей обслуживания (кроме как через средства коммуникации), то специально для них создана возможность дистанционного обслуживания через шину Profibus.

5.5.2 DDC-резерв

Регулятор DDC-резерв при нормальной работе находится в ручном режиме. Считываемое действительное значение передается через канал связи на качественное регулирование в вышестоящий автоматический прибор, который по этому же каналу передает обратно управляющее воздействие для этого регулятора. Это показано на рис. 5.9.

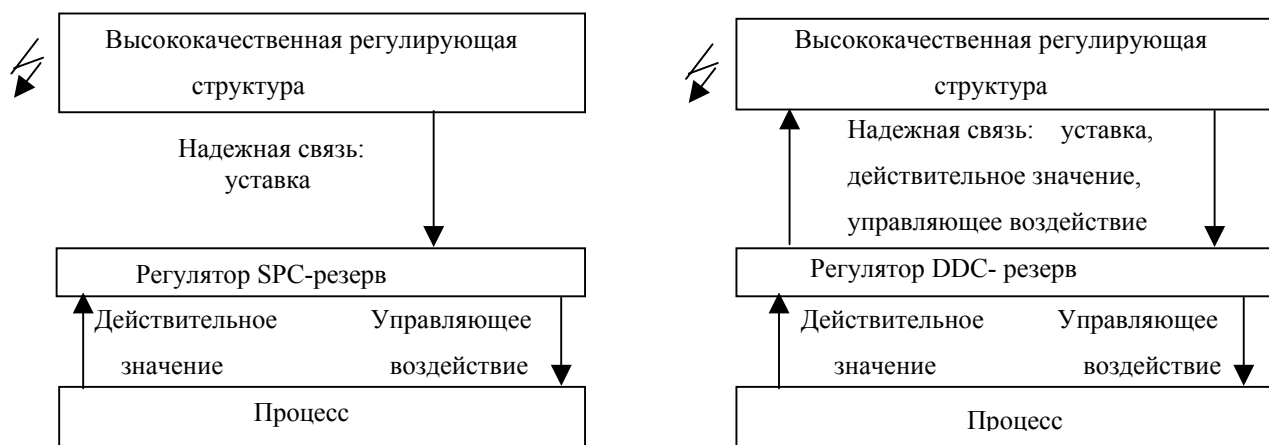


Рис.5.9 Структура регуляторов при SPC-резерве и при DDC-резерве

От управления циклически передаются новые уставки и соответствующие параметры регулирования, чтобы в случае отказа управления или связи можно было переключиться в автоматический режим (DDC) регулятора. В этом случае работает аппаратный резервный регулятор дальше как обычно с действующими на этот момент значениями процесса. Если же управление и связь будут снова работоспособны, то регулятор должен будет по специальной команде деблокировки с подтверждением опять переключиться в нормальный режим.

В нормальном случае регулятор DDC только “слушает”, используется регулированием как устройство ввода и вывода и в таком состоянии активизирует свои внутренние значения (прежде всего I-часть) таким образом, что он в любой момент может быть подключен. Такое состояние называют также Stand-by-Modus. В противоположность регулятору SPC-резерва в нормальном случае управляет высококачественное регулирование в вышестоящем PLC. Поэтому в комплексных системах с требованиями по надежности регулятор DDC-резерв предпочтительнее, чем простые регуляторы SPC-резерв. В настоящее время DDC-структуры могут быть реализованы в SIMATIC, по нашим сведениям, только с помощью специальных решений или SIPART-регуляторами, как показано на рис. 5.10.

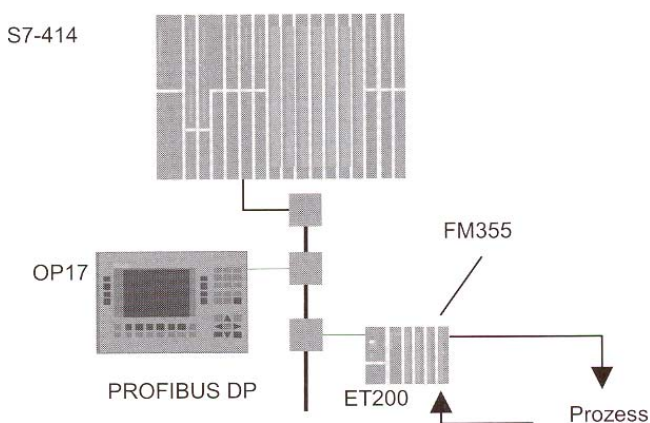


Рис.5.10

Функциональный модуль FM355 в-субсистеме ET200 с обслуживанием от OP17 для случая резервирования

5.5.3 Уставка безопасности

Как уже упоминалось, уставка безопасности есть вид автоматического режима работы, который применяется при отказе связи с вышестоящим источником уставки. При отказе связи с этим источником регулятор работает не по последней полученной уставке, а по безопасному значению уставки, специально параметрированному для этого случая.

5.5.4 Безопасное управляющее воздействие

Как уже упоминалось в главе 5.2.5, безопасное управляющее воздействие есть ручной режим регулятора, который применяется для обеспечения надежных результатов. В этом случае регулятор работает со специально параметрированным значением безопасного управляющего воздействия.

6 Функции процессного регулятора

Процессный регулятор принципиально может быть разделен на пять основных частей, как показано на рис.6.1.

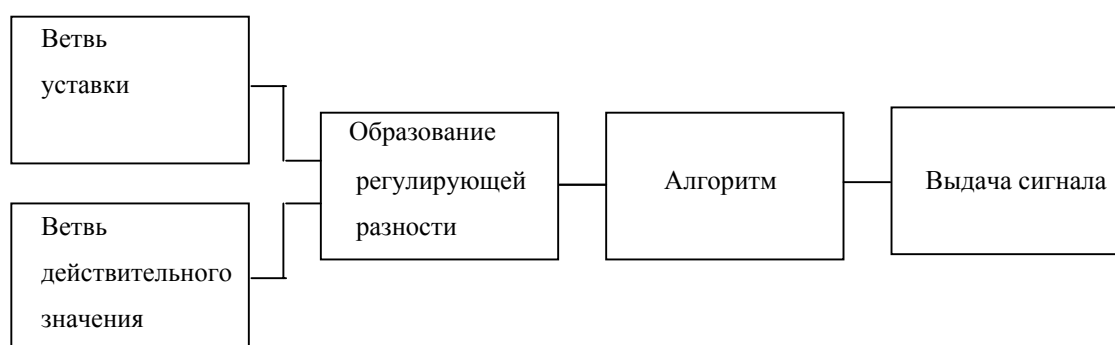


Рис.6.1

Этот рисунок показывает 5 основных частей обычного процессного регулятора и их принципиальные связи

6.1 Элементарные функции в ветви уставки

Большинство регуляторов, как программные, так и аппаратные, сегодня подключаются к выше стоящим по иерархии станциям обслуживания и наблюдения со Scada¹-системой (например, к операторской панели ОП- или станции обслуживания и наблюдения Win-CC) или к системе управления (например, PCS7). Эти системы предоставляют большие возможности не только визуализировать регулятор, но и целенаправленно воздействовать – как говорится, обслуживать. Задание уставки при этом играет особую роль. В сложных системах автоматизации уставки не только устанавливаются фиксированно (регулирование с постоянным значением), но и зачастую задаются вышестоящими программами (например, следящее регулирование с заданием уставки от пакета Batch flexible или пакета Fuzzy-оптимизации).

¹ Сокращение от “Supervising Control And Data Acquisition” (англ. – управление и сбор данных).

6.1.1 Внутреннее задание уставки

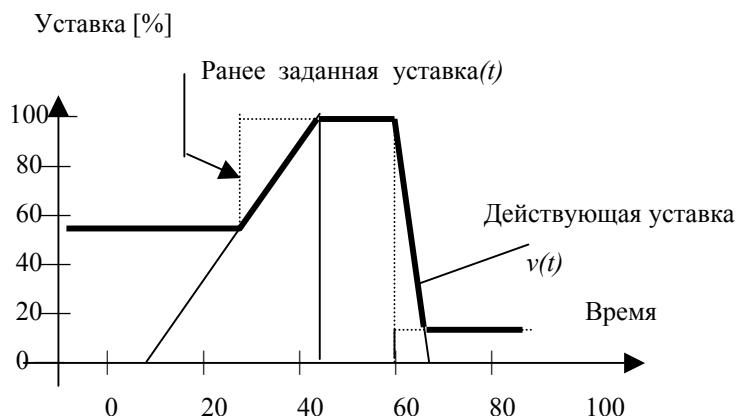
При внутреннем задании уставки действующая уставка задается однозначно с панели обслуживания (например, с узла индикации PCS7). Регулятор работает в таком режиме как простой регулятор постоянного значения, уставка которому задается исключительно с панели ввода пульта обслуживания. Задание уставки от программы (уставка слежения) оставляется без применения.

6.1.2 Внешнее задание уставки

При внешнем задании уставки действующая уставка задается программой пользователя (например, Fuzzy). В этом режиме регулятор работает как следящий регулятор, уставка которому задается исключительно программой пользователя. Задание уставки с панели обслуживания (постоянная уставка) оставляется без применения. Программно управляемое переключение задания с ВНУТРЕННЕЕ на ВНЕШНЕЕ возможно во всех регуляторах SIMATIC.

6.1.3 Уставка плавного перехода

Чтобы избежать скачкообразных изменений, которые вносят “беспорядок” в регулирование, различные регуляторы дают возможность плавного перехода уставки – функция *Rampe* (см. рис. 6.2). Эта функция плавного перехода (*Rampenfunktion*) предотвращает быстрое или скачкообразное изменение вводимого значения (уставки). Скорость изменения зачастую может быть задана пользователем отдельно для изменений в положительном (UPRLM) и в отрицательном (DNRLM) направлениях. Функция плавного перехода является, таким образом, функцией ограничения скорости изменений в определенном направлении. Задание изменений скорости выполняется в отдельных SIMATIC-продуктах в абсолютной или нормированной форме относительно 100%-ного изменения.

**Рис. 6.2**

Пример функции плавного перехода (Ramp) в ветви уставки

6.1.4 Ограничение уставки

Каждый процессный регулятор имеет возможность ограничивать уставку в параметризуемых границах, чтобы избежать введения оператором ошибочных данных.

6.2 Элементарные функции ветви действительного значения

6.2.1 Фильтр

Помехи в действительном значении (например, высокочастотные наложения в считывание, недопустимые выбросы потенциала заземления, индукция импульсов напряжения на проводники измерителя и другие физические возмущения действительного значения) могут быть сглажены с помощью программных функций или, по меньшей мере, ослаблены. Существует ряд фильтров. Простейшим и наиболее часто применяемым вариантом такого фильтра является инерционное звено 1-го порядка¹ (звено PT1), показанное на рис.6.3. Постоянная времени задается параметром TM_LAG.

¹ Инерционное звено 1-го порядка есть передаточное звено, ответная реакция которого на входной скачок монотонно стремится к стабильному состоянию. Она не имеет точек перегиба – в противоположность инерционным звеньям высших порядков.

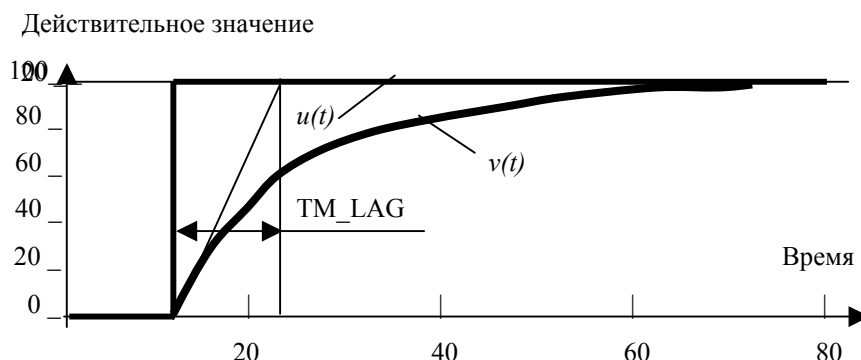


Рис.6.3 Инерционное звено 1-го порядка (звено PT1)

6.2.2 Нормирование

Входные величины “уставка” и “действительное значение” должны быть приведены, т. е. пересчитаны, к общему нормированному масштабу. Они должны иметь одинаковую физическую размерность (например, проценты или $^{\circ}\text{C}$ температуры) и одну и ту же область значений. Чтобы это обеспечить, ветвь действительных значений (часто также и ветви уставки и возмущений) имеет функцию нормирования, если ее уже нет в функции считывания аналогового значения. Нормирование выполняется в основном с помощью линейного алгебраического уравнения.

6.2.3 Линеаризация

Линеаризация предназначена для того, чтобы нелинейные физические зависимости привести к линейной зависимости. Примерами нелинейных зависимостей являются:

- расход жидкости, измеряемый по числу оборотов насоса,
- значение температуры, измеряемое по значению сопротивления,
- угловое положение заслонки, измеряемое линейным измерителем (длины).

Чтобы можно было обрабатывать такие измеряемые значения, их следует линеаризовать. Все значения должны измеряться в различных точках и подводиться индивидуально. Простей-

шую возможность линеаризации дает ломаная линия. При этом определяются различные рабочие точки входных значений (опорные точки), которым ставятся в соответствие реальные физические результаты. Все промежуточные результаты интерполируются линейно. Таким образом линейная ломаная линия представляется в виде таблицы из двух рядов измеренных значений. Чем больше опорных точек в этой таблице, тем точнее может быть определено фактическое измеряемое значение. В главе 9 "Ввод в эксплуатацию" показано, как на практике составляется такая таблица.

6.2.4 Контроль за действительным значением

Каждый процессный регулятор предоставляет возможность наблюдать, а также ограничивать действительное значение в параметризуемых границах. При этом различают предупредительные (Warnung) и тревожные (Alarm) границы, которые разделены определенным гистерезисом.

- Предупреждение означает приближение опасности для людей и окружающей среды,
- тревога означает: опасность для людей и окружающей среды.

6.3 Элементарные функции определения регулирующей разности

6.3.1 Порог реагирования

Порог реагирования служит для подавления очень малых регулирующих разностей, его называют также мертвой полосой (часто ошибочно мертвой зоной). Порог реагирования (или мертвая полоса) нужен главным образом в регуляторах с формированием импульсов и пауз при двухпозиционной или трехпозиционной пошаговой характеристике. Цифровые шумы измеренных значений при отсутствии порога реагирования стали бы в отрегулированном состоянии переключать релейный регулятор попеременно в положения "больше" и "меньше". Это означало бы ненормальную нагрузку для исполнительного звена. На рис. 6.4 показан пример порога реагирования.

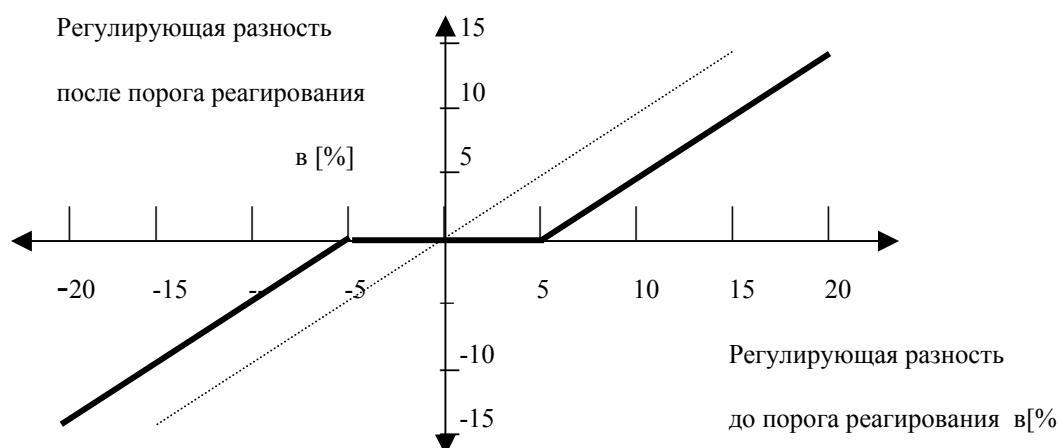


Рис. 6.4 Пример 5%-ной функции порога реагирования в регулирующей разности

Указание: Не параметрируйте порог реагирования больше, чем необходимо. Как видно из рис. 6.4, порог реагирования действует как параллельный сдвиг регулирующей разности, и это различно в положительной и отрицательной областях. Чтобы избежать нелинейности и отсюда неточности в замкнутом регулирующем контуре, следует держать порог реагирования по возможности малым.

6.3.2 Образование отношений в регуляторе отношений

Регулятор отношений работает как нормальный одноконтурный регулятор с тем отличием, что он свою уставку определяет внутри по формуле, показанной на рис. 6.5.

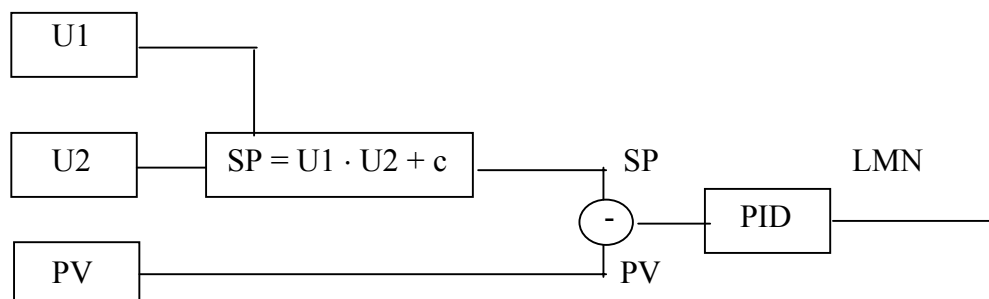


Рис. 6.5 Образование регулирующей разности в ведомом регуляторе

При регулировании отношения ведущая величина процесса U_2 пересчитывается (перемножается) с устанавливаемым коэффициентом отношения U_1 и далее суммируется с опорным значением s и из этого образует уставку. В регулировании отношения участвуют в большинстве случаев два или более регулятора. По этой теме смотри также пример структуры в главе 7 “Регулирование отношения”.

6.4 Элементарные функции алгоритма

Существенными элементами алгоритма¹ в обычных процессных регуляторах являются:

- Р-звено, или пропорциональное звено с параметром (GAIN),
- I-звено, или интегрирующее звено с параметром (TN),
- D-звено, или дифференцирующее звено с параметром (TV) и
- Z-звено, или подключение помехи со входом (DISV).

Следующие структуры регулирующего алгоритма в большинстве случаев выбираются помощью переключателя структуры (например, параметр передачи в списке функций программного регулятора или переключатель структур на панели обслуживания аппаратного регулятора).

6.4.1 Standard-PI- или PID-алгоритм с D-звеном в прямой ветви

Алгоритм, показанный на рис. 6.6, есть самая распространенная регулирующая структура, которая в большинстве учебников описана как PID-регулятор. Регулирующая разность ER умножается на коэффициент пропорциональности GAIN (Р-звено) и результат используется как вход для интегратора и дифференцирующего устройства. Возмущающая величина умножается на константу C и далее добавляется в выходной сигнал.

¹ Алгоритм есть математическая связь между отклонением регулирования и уставкой. В цифровом регуляторе алгоритм выводится как дифференциальное уравнение.

Обозначение “D-звено в прямой ветви” обозначает, что к дифференцирующему устройству подводится сигнал, пропорциональный регулирующей разности. Каждое изменение уставки при такой структуре проходит сразу и скачком на выход регулятора. Поэтому регулятор очень быстро реагирует на изменения уставки, что для большинства случаев регулирования желательно (например, для температурного регулирования). Отличительным для этих структур является то, что при изменениях уставки возникает скачкообразное изменение управляющего воздействия, усиленное D-звеном. Это желательно не во всех процессах или же противоречит требованию параметрирования, щадящего исполнительное звено.

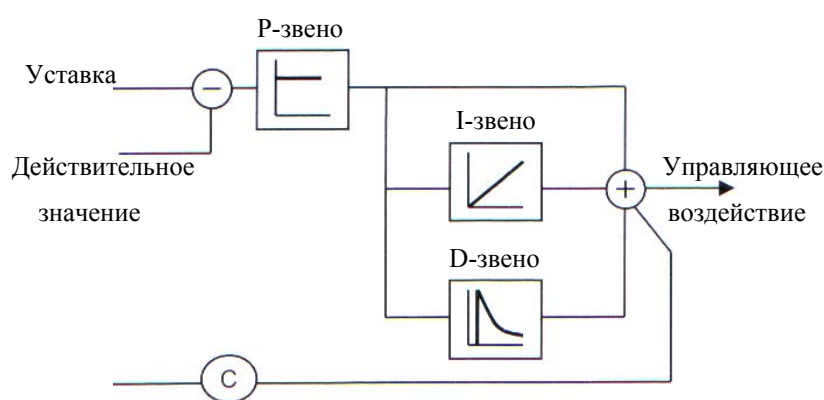


Рис.6.6

Standard-PI- или

PID-структура регулятора

6.4.2 PI- или PID-алгоритм с D-звеном в цепи обратной связи

На рис. 6.7 показана несколько преобразованная стандартная структура. Регулирующая разность при этом, как и обычно, умножается на коэффициент GAIN (P-звено), но результат используется как вход только для интегратора. Входное значение для дифференцирующего звена берется в этом варианте из цепи действительного значения. При этом действительное значение инвертируется, умножается на коэффициент GAIN и далее этот сигнал используется как входная величина для дифференцирующего устройства. Возмущающее воздействие умножается на постоянный коэффициент и далее добавляется в выходной сигнал.

Обозначение “D-звено в цепи обратной связи” означает, что дифференцирующее звено под-

ключено к действительному значению (к значению процесса, направленному обратно). Каждое изменение уставки при такой структуре алгоритма не воздействует непосредственно на D-звено. Поэтому регулятор реагирует не так сильно на изменение уставки, как в предыдущей структуре по рис. 6.6. Только через реакцию на процесс D-звено начинает реагировать на происходящее изменение уставки.

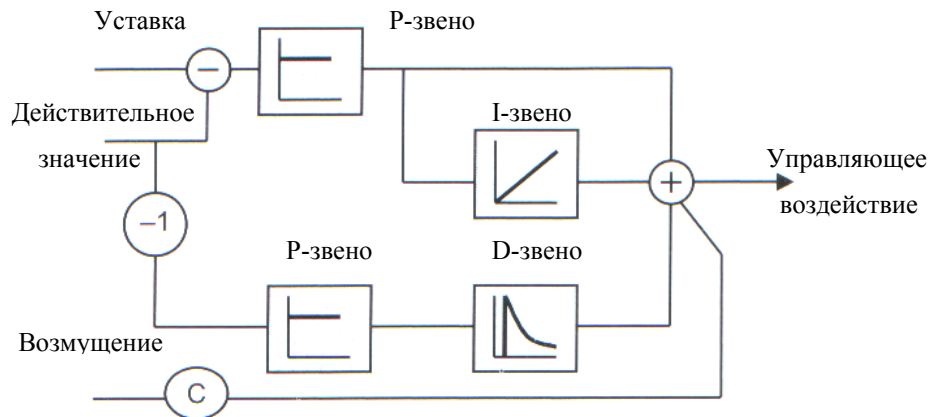


Рис.6.7 PI- или PID-структура регулятора с D-звеном в цепи обратной связи

6.4.3 PI-алгоритм с D-звеном в цепи возмущения

На рис. 6.8 D-звено полностью отключено от регулирующей разности. D-звено реагирует исключительно на подключенный возмущающий сигнал. Регулирующая разность, как и в обоих предыдущих структурах, умножается на коэффициент GAIN (P-звено) и результат используется как вход интегратора. Входное значение дифференцирующего звена может быть получено от любого аналогового входа (входа возмущения). Это значение инвертируется, умножается на коэффициент GAIN и результат используется как входная величина для дифференцирующего узла. Такая структура иногда называется также как подключение возмущения ко входу регулятора. Возмущающие величины часто должны быть дифференцированы, прежде чем их подключить к регулятору. Поэтому возмущение воздействует на регулятор только короткое время после изменения. Возможны и комбинации из показанных выше структур регуляторов.

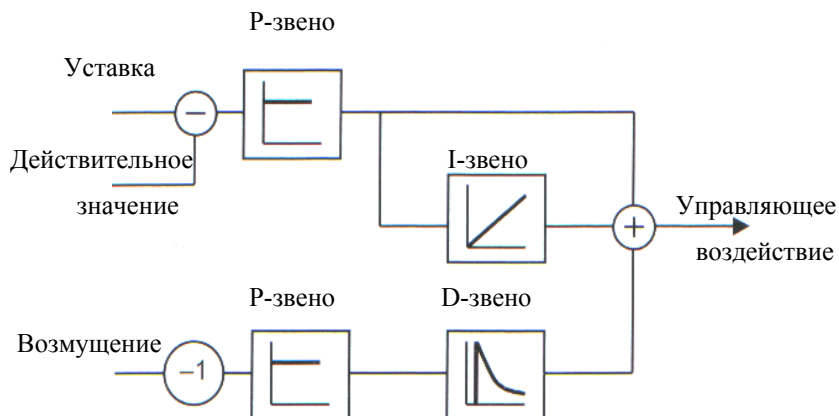


Рис.6.8 Структура PI-регулятора с D-звеном в цепи возмущения

6.4.4 Р-алгоритмы

Р-алгоритм с автоматическим сопровождением рабочей точки

На первый взгляд кажется, что на рис. 6.9 имеется противоречие. Р-регулятор, который содержит I-звено? Однако все правильно! I-звенья часто применяли раньше (при аппаратном построении, например, в силовых установках) в качестве аналоговых накопителей, и как раз эту функцию выполняет интегратор в показанной структуре. Чистый Р-регулятор часто выполняет не только, как можно предположить, умножение регулирующей разности на коэффициент GAIN. Подобная структура означала бы, что в отрегулированном состоянии ($ER=0$) выход регулятора (также иногда обозначаемый как степень исполнения) давал бы значение 0,0. Но на практике это удобно в очень редких случаях. Регулятору должна быть

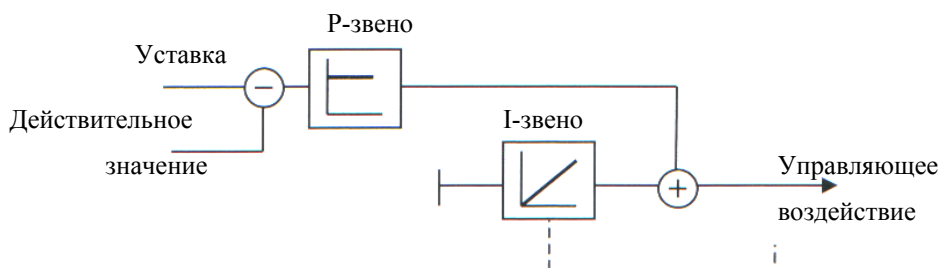


Рис.6.9 Структура Р-регулятора с автоматическим сопровождением рабочей точки

обеспечена возможность определять рабочую точку на выходе, когда произведение регулирующей разности и коэффициента GAIN давало бы значение нуль. Регулятор процесса имеет для этого много возможностей. Одной из таких возможностей является автоматическое сопровождение рабочей точки в ручном режиме. При этом исходят из того, что с помощью ручного управляющего воздействия устанавливают рабочую точку и после этого включают автоматический режим. Как показывает рис. 6.9, введенное вручную значение управляющего воздействия сохраняется в аналоговом накопителе (интеграторе) и остается как постоянная установка, пока не будет изменено опять же в ручном режиме. Это означает, что в автоматическом режиме интегратор не изменяется.

В качестве примера применения Р-регулятора можно назвать установку подготовки воды, в которой уровень в отстойнике регулируется с помощью процессного регулятора. Уровень, подлежащий регулированию, должен изменяться с помощью перестановки регулирующего воздействия (выше / глубже). Эту проблему можно очень легко решить с помощью такого Р-регулятора с автоматическим сопровождением рабочей точки.

Указание: Применение P(D)-регулятора без автоматического сопровождения рабочей точки приводит в каждом случае к остаточным отклонениям регулирования. Применение P(D)-регулятора с автоматическим сопровождением рабочей точки приводит также к остаточным отклонениям регулирования, если регулятор находится не в установленной рабочей точке.

Р-алгоритм с фиксированной рабочей точкой.

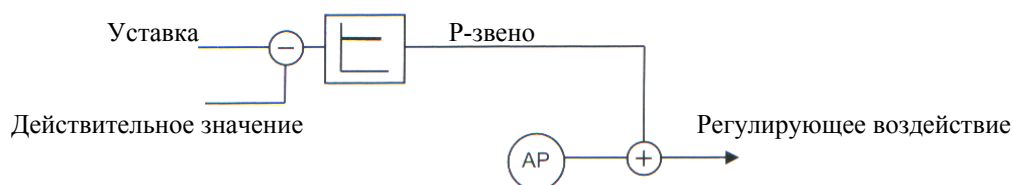


Рис. 6.10 Структура Р-регулятора с фиксированной рабочей точкой

что рабочая точка известна и больше не должна изменяться. Она может подключаться в форме константы "AP" или задаваться на вход возмущения.

6.5 Элементарные функции выдачи сигнала

6.5.1 Ограничение регулирующего воздействия

Каждый регулятор процесса имеет возможность удерживать регулирующее воздействие в параметризованных границах. Поведение регулятора при ограничении или определение момента этого ограничения во многих регуляторах реализовано по разному. Возможности регулятора в части ограничений уже были описаны. Речь идет о зависимой от направления блокировке I-звена в ограничении – также называемом “Anti-Reset-wind-up” (анти-перезапуске) – во избежание насыщения интегратора. Наряду с блокадой I-звена ограничивается также образование сумм из значений P-, I-, D- и Z-звеньев в соответствующих пределах. В терминологии SIMATIC эти границы в большинстве случаев обозначают как LMN_HLM и LMN_LLM.

6.5.2 Элементарные функции образования бинарных сигналов

Функции образования бинарных сигналов (широтно-импульсная модуляция) реализуются в соответствующих функциональных элементах (например, PULSEGEN FB43) и уже подробно обсуждены в главе 1. Стоит все же упомянуть тот факт, что в области SIMATIC регуляторы обладают собственным алгоритмом регулирования для интегрирующего исполнительного звена (например, CONT_S FB42). Алгоритм применяет I-звено, размещенное в исполнительном устройстве. Этот способ имеет преимущества (например, I-звено соответствует фактической рабочей точке) и недостатки (например, при отсутствии обратной связи по положению невозможна индикация положения).

6.5.3 Ограничение ручного управляющего воздействия

Каждый регулятор процесса имеет возможность удерживать ручное управляющее воздействие в параметрируемых границах. Этим избегаются неправильные вводы данных или запредельные установки оператором. Самым главным, однако, всегда является ограничение управляющего воздействия на выходе регулятора¹.

¹ Это имеется в продуктах PID-Control, Standard PID Control и модульного регулирования, а также в регуляторе PID_CNTRL из PCS7.

7 Структуры регулирования

В предыдущих главах были описаны исключительно внутренние функции регулятора. Если несколько отдельных регуляторов с отдельными регулируемыми функциями соединяют между собой, то говорят о регулирующих структурах. Регулирующие структуры, таким образом, реализуются внешним соединением отдельных процессных регуляторов и сопровождающих их функциональных элементов. Как в технике управления имеются установившиеся основные схемы, так и в технике регулирования имеются основные структуры регуляторов, которые дальше будут подробно рассматриваться в виде мнемонических схем.

7.1 Подключение возмущения

Подключение возмущения (z-подключение) находит применение там, где влияние помех на процесс хотя и заметно, но все же не имеет решающего значения (рис. 7.1). В основном существуют два различных вида способов подключения возмущения. Оба вида подключения различаются в построении регулирующего алгоритма.

- Подключение возмущения на вход регулятора определяется помехозависимостью уставки или действительного значения.
- Подключение возмущения к выходу регулятора определяется на основе или непосредственного аддитивного влияния управляющего воздействия, или через дифференцирующее звено.

Воздействие возмущения (помехи) на процесс можно оценить в соответствии с рис. 7.2 как передаточную функцию, если регулятор включен в ручной режим, так что изменения действительного значения объясняются не изменениями регулирующего воздействия регулятора, а только изменениями измеримого возмущения z . По этим данным можно вывести идеальную компенсацию возмущения $C(s)$ из требования, чтобы воздействие возмущения

$$G_z(s) \cdot z + C(s) \cdot z = (G_z(s) + C(s) \cdot G(s)) \cdot z = 0$$

при любых изменениях z было бы равно нулю. Таким образом, подключение возмущения должно как можно лучше аппроксимировать передаточную функцию

$$C(s) = -G_z(s) \cdot G^{-1}(s)$$

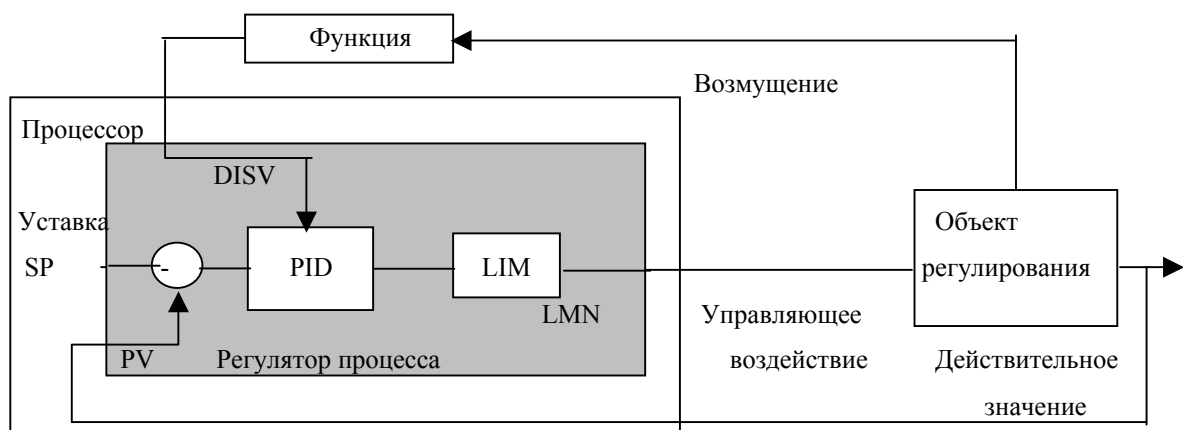


Рис.7.1 Мнемосхема подключения возмущения. Установка, выполнять подключение ко входу или выходу регулятора, выполняется переключателем структуры регулятора.

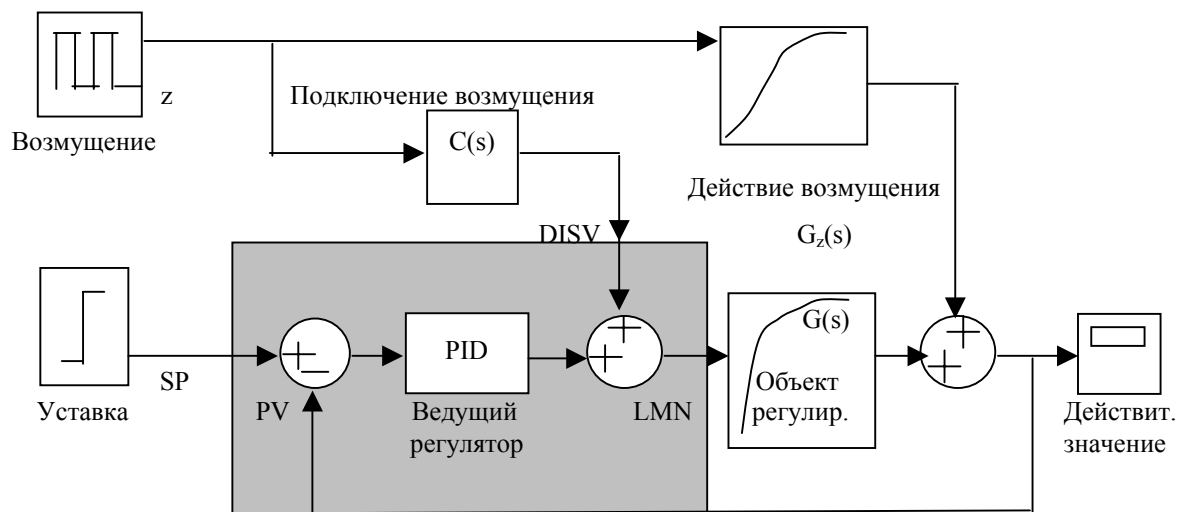


Рис. 7.2 Обеспечение подключения возмущения

Для этого требуется, кроме знания передаточной функции возмущения (помехи), обратное преобразование динамики процесса $G^{-1}(s)$. Даже если это невозможно абсолютно точно, приведенная формула все же дает направление для проектирования подключения возмущения.

Пример

С помощью настройщика PCS 7 PID-Tuner получены следующие передаточные функции: для собственно объекта регулирования модель второго порядка с усилением 5 и постоянной времени 100 с

$$G(s^1) = 5 / (100s + 1)^2$$

а для возмущающего действия модель третьего порядка с усилением 2 и постоянной времени 200 с

$$G_z(s) = 2 / (200s + 1)^3$$

Тогда получается идеальное подключение возмущения по вышеприведенной формуле

$$C(s) = - (2 / (200s + 1)^3) \cdot ((100s + 1)^2 / 5)$$

В статическом состоянии достаточен, таким образом, один коэффициент

$$C(s) = - 2 / 5 = \text{Const}$$

т. е. “функция” на рис. 7.1 является умножением на постоянный коэффициент

Динамическая компенсация, которая и при изменениях в регулирующем контуре должна полностью нейтрализовать возмущение (помеху), получается в виде аппроксимации $C(s)$ в виде РТ1-звена

$$C(s) = - (2 / 5) / (500s + 1) ,$$

которое может быть реализовано стандартным функциональным узлом SIMATIC

Если же имеется объект регулирования с интегрирующей характеристикой

$$G(s) = 1 / (100s)$$

и передаточная функция возмущения первого порядка по выражению

$$G_z(s) = 2 / (200s + 1) ,$$

то в качестве подключения возмущения получается уже упоминавшееся выше в качестве примера дифференцирующее звено (с инерционностью):

$$C(s) = - 100s / (200s + 1)$$

7.2 Регулирование с предупредлением

Предупреждение (или также предварительное управление) подобно z-подключению к выходу регулятора и накладывает на управляющее воздействие некоторое значение, передаваемое от вышестоящего управления. Таким образом может быть задана известная рабочая точка и динамически налаженный регулятор должен обрабатывать только получающуюся разность.

Такая структура (какая показана на рис. 7.3) имеет преимущества при высоких требованиях по динамике. Однако получение значения предварительного управления при запуске в

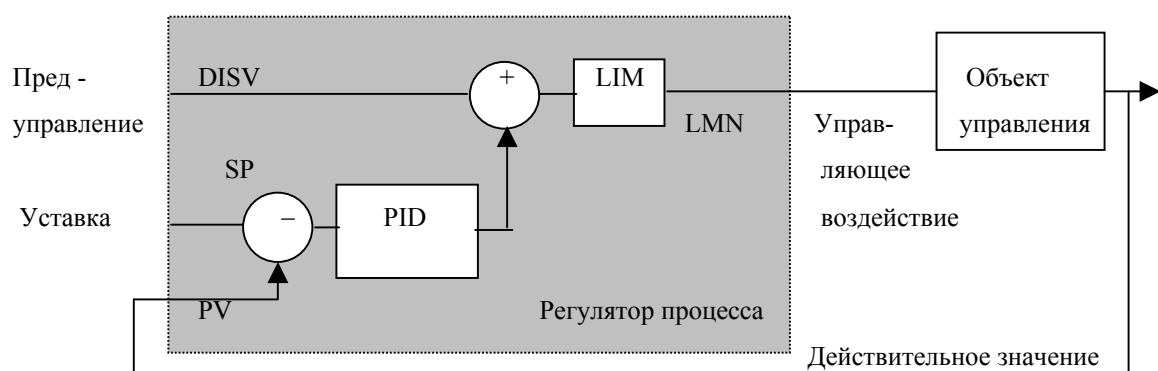


Рис. 7.3 Мнемосхема предупредления с помощью подключения возмущения к выходу регулятора

¹ В русской литературе для оператора Лапласа чаще принято обозначение не s , а p

эксплуатацию связано с определенными затратами. Значение предупреждения можно определить из комплексной инструкции по вычислениям или из сети нечеткой логики (Fuzzy-Netzwerk) вышестоящего процессора.

7.3 Регулирование отношения

Как уже показано в главе 6, регулятор отношения предназначен для того, чтобы обеспечивать взаимное соотношение двух или более величин. В продуктах или процессах, которые состояются из различных компонент в непрерывном исполнении (например, составление шоколадно-ванильного мороженого, зубной пасты с красно-белой полосой, производство энергии сжиганием газо-воздушной смеси и т. д.), регулирование компонент в каждый момент времени является требованием техники регулирования. Это выполняется с помощью регулятора отношения, как показано в примере на рис. 7.4

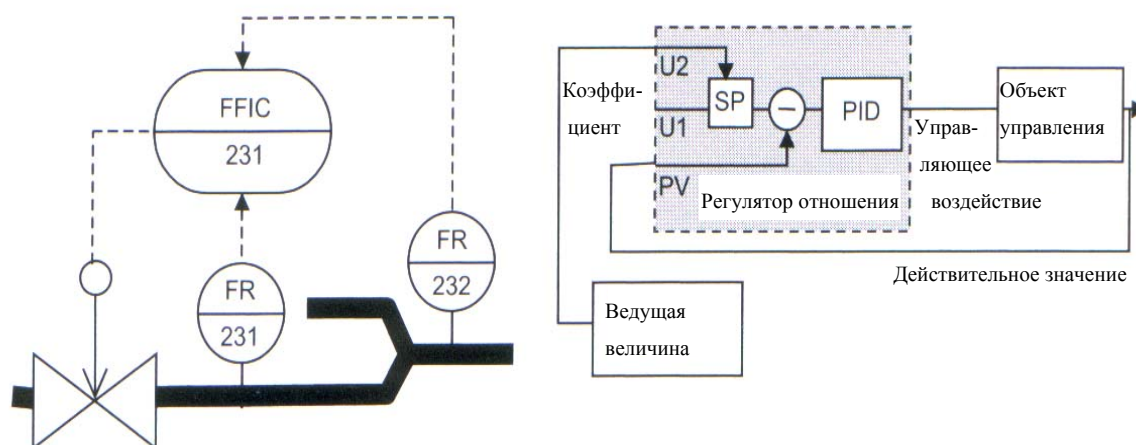


Рис 7.4 Технологическая мнемосхема простого ведомого регулятора отношения

Регулятор отношений работает с двумя различными величинами, которые должны быть приведены в установленное постоянное взаимное соотношение — или лучше сказать отрегулированы. Выполняемая часть уставки регулятора отношений есть безразмерная величина, коэффициент, так называемый коэффициент соотношения. Как показано на рис. 7.4, значение ведущей величины умножается на этот коэффициент и подводится как уставка к регулятору.

Имеется много структурных возможностей регулирования отношений. Если подчинить регулятор отношений регулятору постоянного значения, то получится особая форма регулирования отношения, так называемое каскадное регулирование отношения. Эта структура является смесью из ниже описываемого каскадного регулятора, который содержит подчиненный регулятор отношения в качестве ведомого.

Для регулирования общего количества на рис. 7.5 в основе стоит ведущий регулятор (FRC 230), а для регулирования отдельных компонент (FR 231 и FR 232) по одному ведомому регулятору (FFIC 231 и FFIC 232). Действительное значение общего количества (FR 230) передается подчиненным регуляторам отношения, там перемножается с заданным коэффициентом отношения и результат вычисления подается как уставка к каждому из этих регуляторов.

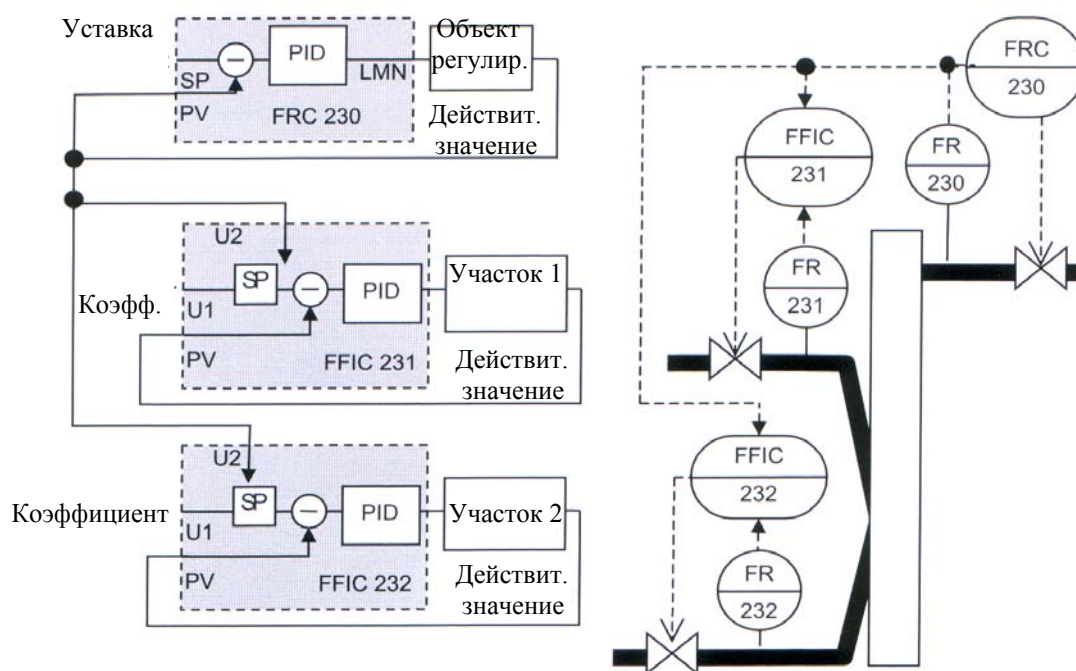


Рис. 7.5 Мнемосхема ведомого регулирования отношения с двумя отдельными регуляторами отношения

7.4 Каскадное регулирование

Регулирующая структура каскадного регулятора состоит по существу из последовательного соединения двух друг за другом включаемых (каскадированных) регуляторов. При этом ведущий регулятор передает свое выходное значение (исполнительное воздействие) как уставку подключенному за ним ведомому регулятору. Это показано на рис 7.6. При такой регулирующей структуре достигается быстрое регулирование основной регулируемой величины при изменении вспомогательной регулируемой величины.

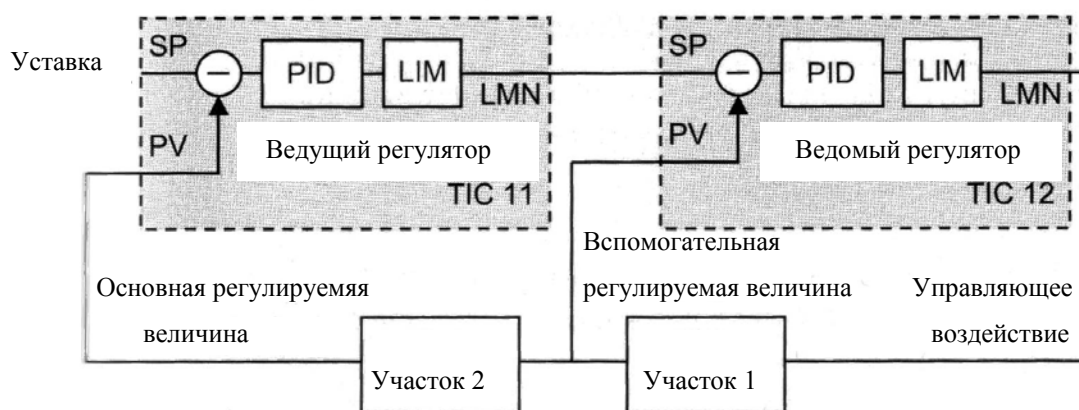


Рис. 7.6 Мнемосхема аналогового включения двух регуляторов для каскадного регулирования

На рис. 7.7 показана мнемоническая технологическая схема каскадного регулирования. Задачей этой схемы является регулирование температуры в емкости. Для этого необходим поток пара к теплообменнику. Температурный регулятор (TRC 345) является в этом примере ведущим регулятором, а регулятор потока (FRC 456) – ведомым регулятором. Управляющее воздействие ведущего регулятора образует уставку подчиненного ведомого регулятора

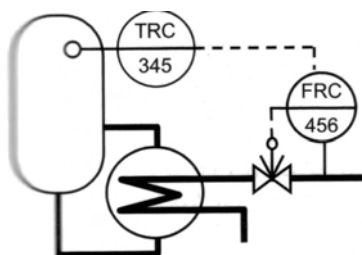


Рис.7.7

Технологическая мнемосхема каскадного регулирования теплового потока

Осторожно: Практические каскадные регуляторы есть больше, чем простое последовательное включение двух отдельных регуляторов. Часто совершают ошибку, пренебрегая взаимными влияниями при включении и переключении видов работы. Простое последовательное включение регуляторов дает на практике значительные трудности.

Принудительные функции для режимов работы каскадных регуляторов

Если будет ведомый регулятор, какой показан на рис. 7.8, переключен из автоматического режима в ручной или режим внутренней уставки, то должен будет и ведущий регулятор точно также вынужденно переводиться в ручной режим (но не наоборот) и переключаться на уставку ведомого регулятора. Если это не произойдет, то ведущий регулятор более или менее быстро вынужденно придет в одно из граничных положений. Если через некоторое время ведомый вычислитель будет снова переключен в автоматический режим, то пройдет немало времени, пока система придет в установившееся состояние. Пренебрежение такими принудительными функциями может вызвать значительные колебания вплоть до раскачивающихся¹.

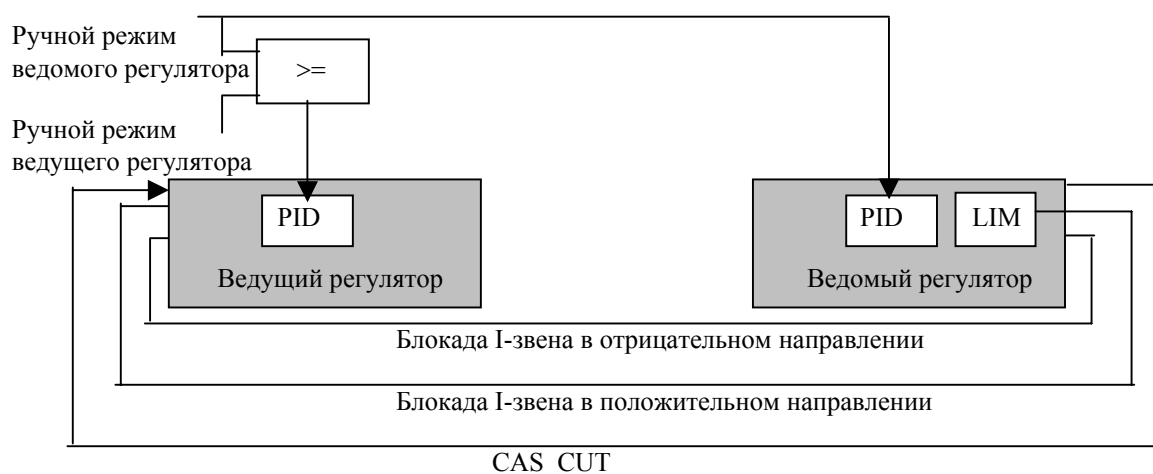


Рис. 7.8 Мнемосхема сдвоенного переключения двух регуляторов при каскадном регулировании

¹ При раскачивающихся колебаниях постепенно увеличивается амплитуда колебаний, что может привести к генерации вплоть до обеих противоположных границ.

Это касается прежде всего регуляторов с I-звеном. Подобное же относится и к безопасному режиму работы (с выдачей безопасного значения управляющего воздействия) ведомого регулятора. Такие принудительные функции реализуются, например, в Standard PID Control с помощью переключаемого параметра CAS_CUT.

Зависящая от направления функция блокировки в каскадном регуляторе

Точно также важной функцией каскадного регулятора является зависящее от направления блокирование I-звена в ведущем регуляторе, когда ведомый регулятор подходит к соответствующим границам управляющего воздействия. Пренебрежение такой функцией создает на практике значительные колебания, когда ведомый регулятор снова возвращается из ограничения. Многие программные регуляторы не имеют никаких входов для блокирования, зависящего от направления, поскольку в них эта функция может быть реализована на прикладном уровне (внешними средствами) с помощью схемы, показанной на рис. 7.9.

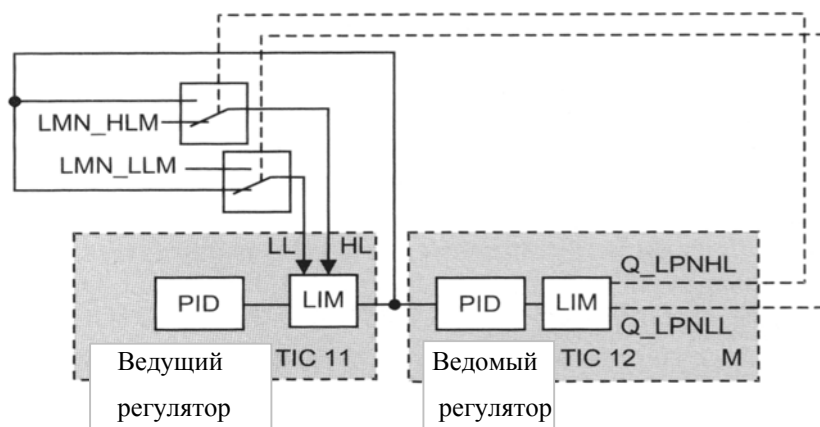


Рис. 7.9 Мнемосхема ограничения исполнительного воздействия (зависящего от направления) ведущего регулятора, реализованная на прикладном уровне

При этом оба ограничения управляющего воздействия ведущего регулятора возложены на переключатели аналогового значения (AWS), которые получают команду на переключение от сдвоенных сигналов ограничения управляющего воздействия (Q_{HL} и Q_{LL}) ведомого регулятора. Если ведомый регулятор не достигает ни одной из своих границ, исполнительного воздействия, то оба AWS находятся в основном положении и к ведущему

регулятору подаются постоянные значения границ (LMN_HLM и LMN_LLM). С достижением ведущим регулятором одной из его границ (например, Q_HL – “достигнута верхняя граница управляющего воздействия”) переключается соответствующий AWS и на аналоговый вход ограничения управляющего воздействия HL будет подаваться действительное значение управляющего воздействия. Тогда ведущий регулятор не сможет более повышать свое управляющее воздействие, но сможет только понижать, когда потребуется на основе уравнивания уставки и действительного значения. После выхода ведомого регулятора из ограничения управляющего воздействия может ведущий регулятор далее работать совершенно нормально. При достижении ведомым регулятором нижней границы управляющего значения включится другой AWS, и ведущий регулятор будет ограничен в отрицательном направлении.

Корректное переключение ведущего и ведомого регуляторов в каскаде со всеми принудительными функциями для различных видов работы является для пользователя относительно трудным и часто ведет к ошибкам. Поэтому в функциональных модулях CTRL_PID SIMATIC PCS 7 уже внутри модулей приняты определенные меры, чтобы можно было легко настроить каскадное регулирование. Специальные принудительные меры к ведущему регулятору, как показано выше, требуются всегда во всех тех случаях, если ведомый регулятор больше не может реагировать на задания ведущего регулятора, т. е. тогда, когда ведомый регулятор уже находится не в режиме “каскад” (соответствующему автоматическому режиму с внешней уставкой), но

- в ручном режиме или
- в автоматическом режиме с локально устанавливаемой внутренней уставкой или
- в режиме отслеживания или
- в режиме оптимизации, т. е. от внешнего управления для оптимизации параметров регулятора (см. раздел PID-Tuner).

Ведущий регулятор во всех случаях показывает это обстоятельство установкой выходного бита QCAS_CUT (“cascade cut”, т. е. каскад прерван).

Во всех этих случаях должно быть обеспечено, чтобы работающий “вхолостую” ведущий регулятор не насыщал свое I-звено и чтобы он мог снова плавно активироваться, когда каскад опять замкнется. Это будет выполняться, когда ведущий регулятор будет отслеживать установленное значение уставки ведомого регулятора, т. е. в будущем будет снова подключен к выходу управляющего воздействия при ожидаемом значении на другом конце соединения.

Кроме этого в PCS 7 должно быть принято во внимание зависящее от направления блокирование ведущего регулятора, показанное на рис. 7.9, в случае достижения ведомым регулятором границ управляющего воздействия. Общее подключение каскадного регулирования показано в виде примера на рис. 7.10.

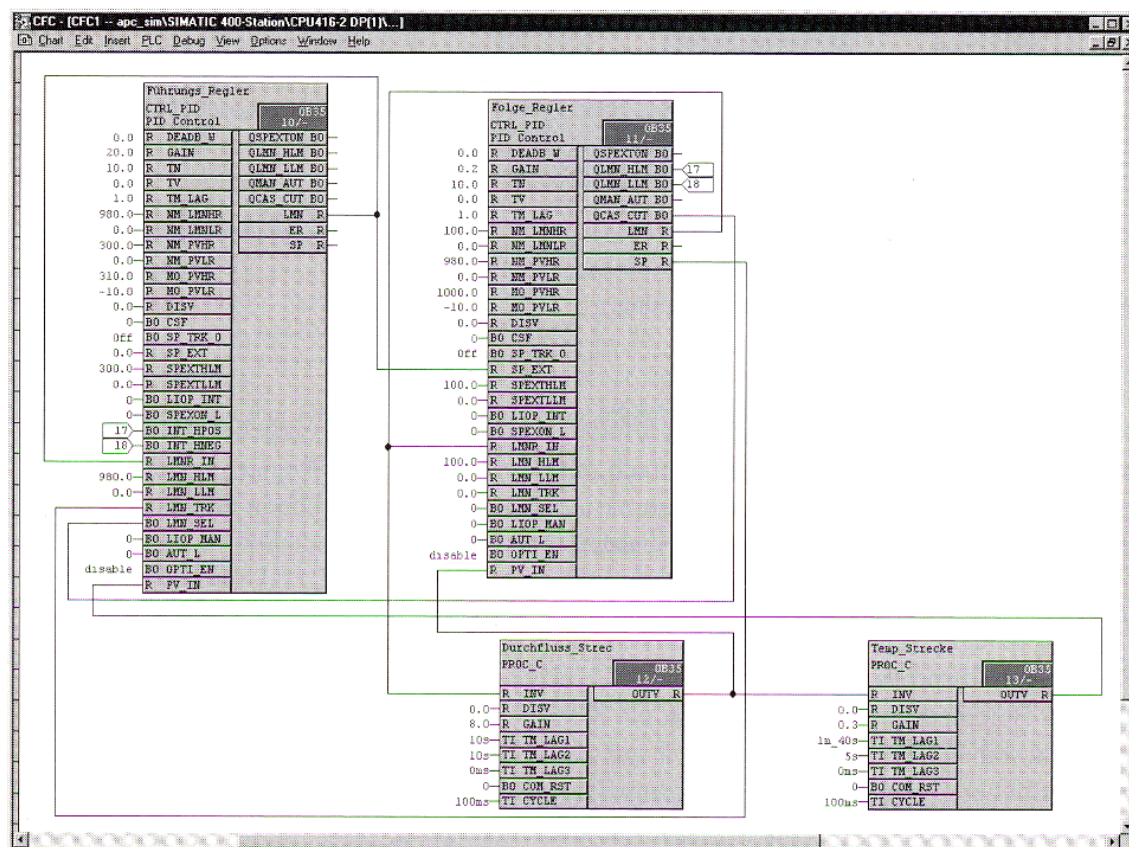


Рис. 7.10 Построение каскадного регулирования в SIMATIC PCS 7

7.5 Регулирование с раздельными границами

С помощью регулирования с раздельными границами регулятор может обслуживать параллельно или последовательно несколько исполнительных звеньев с различными принципами действия и различными коэффициентами передачи. Разделение области установки регулятора от верхнего до нижнего пределов выполняется с помощью одной или нескольких функций разделения границ. При программном регулировании эти функции не интегрированы в регулятор, хотя в SIPART-регуляторах это частично реализовано. Поскольку эти функции в различных отраслях должны удовлетворять очень различные требования, то программное регулирование предлагает их как отдельную функцию, вход которой просто подключается к управляющему воздействию регулятора. На рис. 7.11 приведены “только” две функции разделения границ, но может быть включено и больше таких функций параллельно.

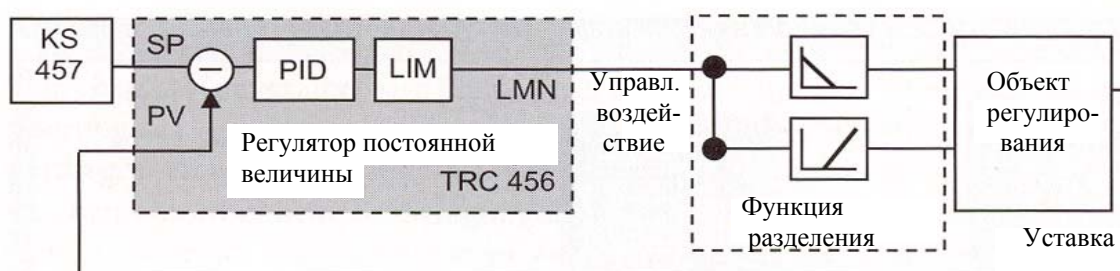


Рис. 7.11 Мнемосхема регулятора с разделенными границами

На рис. 7.12 температура в котле или в реакторе регулируется температурным регулятором TRC456. При этом уставка задается диспетчером KS457. Температурные условия требуют активного нагрева и активного охлаждения объекта. Для этого имеется нагревающий реагент (+120°C) и охлаждающий реагент (+6°C). Регулятор в своей области регулирования 0...100% должен быть разделен на два отдельных исполнительных звена, действующих в противоположные стороны, с различной динамикой и различным усилением. Ввод в действие и наладка при такой постановке задачи будут рассмотрены подробнее в главе 9.

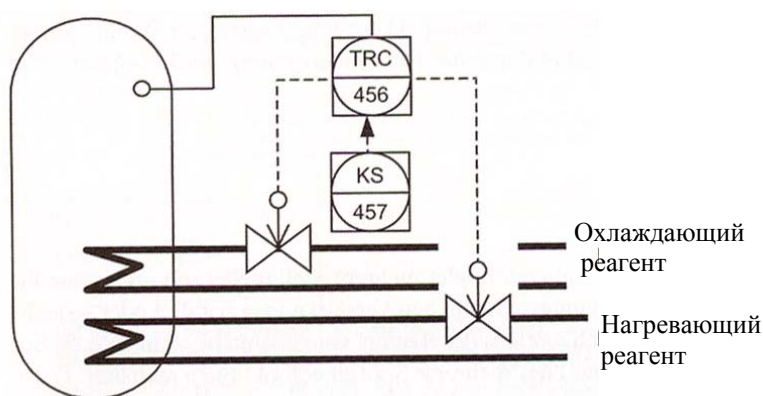


Рис. 7.12 Технологическая мнемосхема регулятора с разделными границами при двух функциях разделения

7.6 Регулирование вспомогательных величин

Регулирование вспомогательных величин является способом, который основан на применении измеряемых величин с частичных участков регулирования для улучшения характеристики регулирования. С регулированием вспомогательных величин мы уже познакомились при каскадном регулировании. Но существуют и другие виды схем, свободно проектируемые пользователями. Здесь же приводим пример, как с помощью PI-регулятора можно приближенно построить каскадный регулятор - см. рис. 7.13.

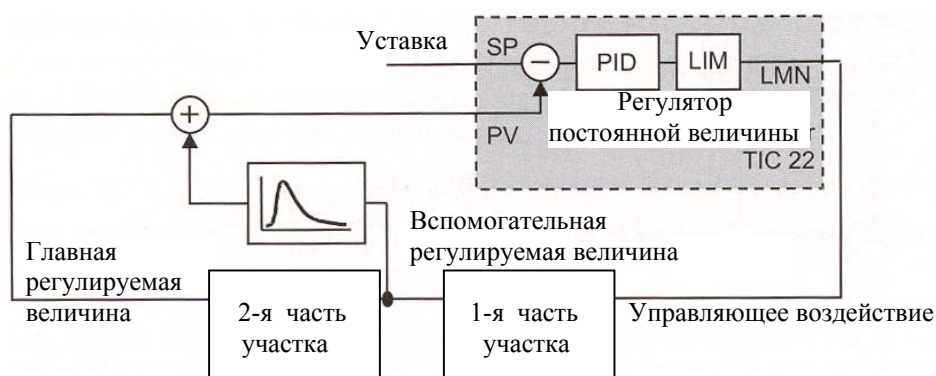


Рис. 7.13 Мнемосхема регулирования вспомогательной величины с предварительно подключенной вспомогательной величиной

С помощью модульных функциональных звеньев (например, D-звеньев и PT1-звеньев) может быть имитирован частичный участок (на рис. 7.13 частичный участок 2), чтобы возмущения, действующие на этом отрезке объекта регулирования, быстрее подвести к регулятору. Регулятор с таким включением может быть настроен точнее.

7.7 Переключаемое или избирательное регулирование (override (блокирующее) - регулирование)

В противоположность регулированию с отдельными границами, при котором один регулятор обслуживает несколько управляющих звеньев, избирательное регулирование состоит из двух или более регуляторов, которые обслуживают только одно исполнительное звено. Избирательное устройство или избирательное управление определяет, который из участвующих регуляторов получает управление над этим исполнительным звеном. Термин избирательный регулятор точнее было бы заменить на избирательную регулирующую структуру. Во-первых, имеются различные виды избирательного регулирования, и во-вторых, во всяком избирательном регулировании участвуют по меньшей мере два регулятора. Примерами избирательного регулирования могут быть:

- выбор по минимуму,
- выбор по максимуму,
- программное переключение (например, при изменении рецептуры) и
- контакты реле.

Переключаемое регулирование применяется в процессах, в которых из-за состояния установки или процесса проявляются совершенно различные характеристики объекта регулирования и как следствие полностью другие требования к регулятору. Имеются различные структуры переключаемого регулирования, которые иногда называются также как избирательное регулирование, override-регулирование или также ограничительное регулирование.

Действительное значение может воздействовать на два или больше регуляторов, а каждый регулятор на одно, ему приданное исполнительное звено или – как показано на рис. 7.14 –

два различных действительных значения воздействуют каждое на свой регулятор с исполнительным звеном, которое по избирательной логике действует на оба участка регулирования.

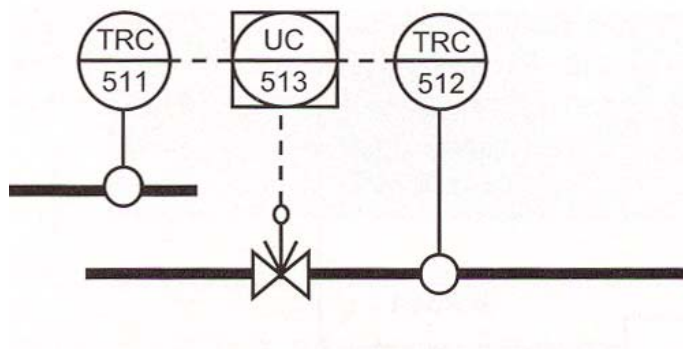


Рис. 7.14

Технологическая мнемосхема
избирательного регулирования

Решающим для переключаемого регулирования является то, что в каждый момент времени на участке работает только один регулятор, а другой ждет подключения. В примере на рис. 7.14 управляющие воздействия обоих регуляторов TRC511 и TRC512 выбираются селектирующим управлением UC513 (например, выбор по минимуму) и далее передаются на исполнительное звено. Логика решает, которое из обоих значений следует использовать, и передает выбранное значение на исполнительное звено.

В такой структуре резервный регулятор не должен оставаться предоставленным самому себе, так как иначе он к моменту переключения из-за возможного насыщения интегратора приведет к скачку управляющего воздействия и вызовет возмущение на участке регулирования. Чтобы избежать насыщения интегратора резервного регулятора, переключение выполняется с соответствующим отслеживанием управляющего воздействия от работающего регулятора. Такое переключение или должно выполняться взаимно (крестообразная схема ручного задания управляющего воздействия), или же оба регулятора должны взаимно воздействовать на параметры ограничения управляющего воздействия (LIM), как показано на рис. 7.15.

При работе без возмущений в том примере, что показан на рис. 7.15, ограничительная уставка находится ниже, чем действительное значение на конце частичного участка 1. Регулятор ограничения, который вполне разумно выполнен как простой I-регулятор, запирается и при

участка повысится и регулирующая разность регулятора ограничения станет отрицательной. Таким образом он снизит свое управляющее воздействие и нижнее значение границы основного регулятора. Тот вследствие большой отрицательной регулирующей разности опять снизит свое управляющее воздействие, еще не вступившее в действие.

Падающее управляющее воздействие ведет снова к уменьшению значения минимальной границы регулятора ограничения. Это происходит до тех пор, пока регулятор ограничения не возвратит управление исполнительным звеном основному регулятору. На рис. 7.15 вследствие применения нижнего ограничения управляющего воздействия (“LL” для нижнего предела) является это регулирование ограничения ограничением управляющего воздействия по минимальному значению¹ (защита от замерзания, или регулятор замерзания). Если, напротив, в обоих регуляторах будет использоваться верхнее ограничение управляющего воздействия (“HL” для верхнего предела), то говорят об ограничении по максимальному значению¹ (например, ограничение внешней температуры емкости для реакции).

Для реализации таких структур идеально подходят программные модули (блоки), так как они предоставляют открытыми все степени свободы (например, могут быть легко выполнены структурные изменения при вводе их в эксплуатацию программ, выполняемых с помощью SIMATIC S7 CFC. Соответствующий пример Вы найдете в главе 10).

7.8 Регулирование множества величин

Во многих технических установках часто появляется проблема, регулировать несколько параллельно работающих процессов, которые сильно влияют друг на друга за счет их “внутренних связей”. Такие регулирующие процессы называют регулированием множества величин. Из соображений наглядности мы ограничимся регулированием двух величин. На практике случаются и значительно более сложные регулирования множества величин. Для этих случаев используются не процессные регуляторы, а специальные пакеты программ, которые обрабатываются на собственном вычислителе (или процессоре). Решающим факто-

¹ Предполагая при этом одинаковые знаки при коэффициенте пропорциональности (GAIN) в обоих регуляторах.

ром при проектировании взаимосвязанной регулирующей системы является принцип действия связи. Различают содействующую (положительную) связь и противодействующую (отрицательную) связь. Оба вида связи поясним далее на примерах.

7.8.1 Отрицательная связь

В очень упрощенном виде принцип отрицательной связи можно объяснить на примере регулирования турбинного привода (рис. 7.16). Регулироваться должна частота сети через управление числом оборотов турбины и дополнительно напряжение сети для возбуждения генератора. Через приводной вал между турбиной и генератором обе регулируемые величины находятся в прямой взаимосвязи.

Если регулятор напряжения ERC234 выполнит регулирование (т. е. обеспечит регулирующую разность $= 0$), а регулятор частоты NRC123 попытается увеличить число оборотов, чтобы отработать свою появившуюся регулирующую разность, то с увеличением оборотов турбины возрастет и напряжение на генераторных клеммах. Поэтому регулятор напряжения ERC234 понизит возбуждение, чтобы вернуться к значению уставки по напряже-

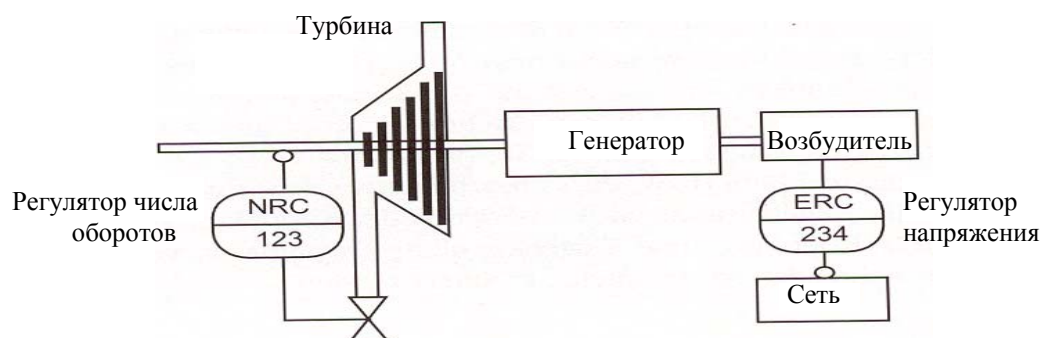


Рис. 7.16 Технологическая мнемосхема отрицательной связи

нию. Но это вызовет небольшое встречное действие генератора, что опять же повлияет на число оборотов турбины. Таким образом, имеет место отрицательная связь, поскольку повышение мощности возбуждения ведет к снижению числа оборотов. Без соответствующих предупредительных мер оба регулятора будут мешать друг другу, и это может привести к

длительным или даже раскачивающимся колебаниям. Система сама по себе возбудима и склонна к неустойчивости.

7.8.2 Положительная связь

В очень упрощенном виде принцип положительной связи можно объяснить на примере регулирования дестилляционной колонны (рис. 7.17). Регулируется температура, которая измеряется в зоне дестилляции, и давление вверху колонны. Если повышается температура в зоне дестилляции, то возрастает и давление вверху колонны. Вводимое в ответ на это усиление охлаждения на выходе колонны вызывает более сильную конденсацию и с нею снижение температуры. Таким образом, имеет место положительная связь, так как увеличение температуры в зоне дестилляции вызывает увеличение необходимой мощности охлаждения вверху дестиллятора. Без соответствующих предупредительных мер ввод в действие такой системы едва ли возможен. В специальной литературе предлагаются довольно сложные мероприятия, как теоретически можно управлять таким регулированием множества величин и как вводить его в действие.

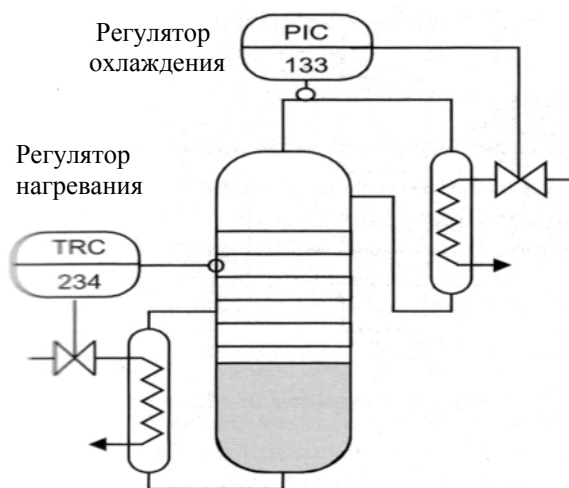


Рис. 7.17
Технологическая мнемосхема
дестиллирования как пример
положительной связи

Простейшую возможность предлагают так называемые звенья развязки, которые включаются между регулятором и процессом, как это схематически показано на рис 7.18. Мешающая физическая связь между обоими контурами регулирования компенсируется, например, передаточной функцией “KomPD_12” на рис. 7.19 нейтрализуется действие “связи 12”.

Этим разделяется объект регулирования со множеством величин на два приблизительно независимых друг от друга участка – каждый с одной величиной, которые могут управляться обычными PID-регуляторами.

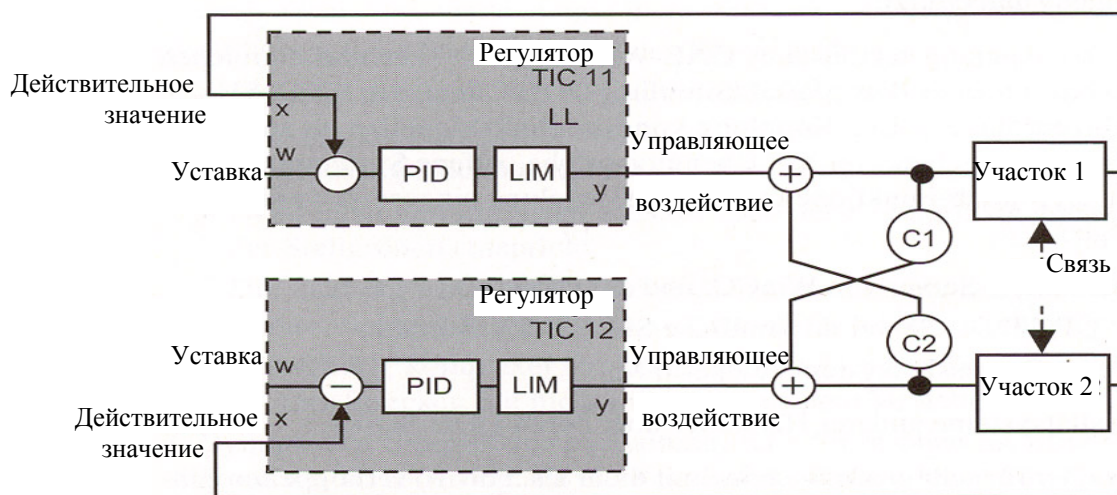


Рис. 7.18 Мнемосхема регулирования множества величин с развязывающим устройством

Это теоретически убедительное решение требует, однако, значительных расходов на практическую реализацию. Идеальное звено развязки должно содержать обратное преобразование динамики процесса (например, $G_{\text{КомPD}}(1,2) = -G_p(1,2) / G_p(1,1)$), которое нереализуемо и должно быть аппроксимировано соответствующими численными методами сокращения порядка. Упрощенные звенья развязки могут быть во многих случаях выполнены с помощью дополнительных PD-регуляторов или даже уменьшены до статических коэффициентов развязки. Если при конкретном применении потребуется такое регулирование с развязкой, то его можно запросить в Siemens A&D GT5 в Карлсруэ, где также имеется инструмент проектирования с вычислительной поддержкой, базирующийся на Matlab.

На практике обычно не желательно, выходы различных звеньев развязки подключать непосредственно к процессу, так как они могут помешать вероятному ручному режиму работы основного регулятора. Здесь потребуется пересчет цепи развязки, и могут использо-

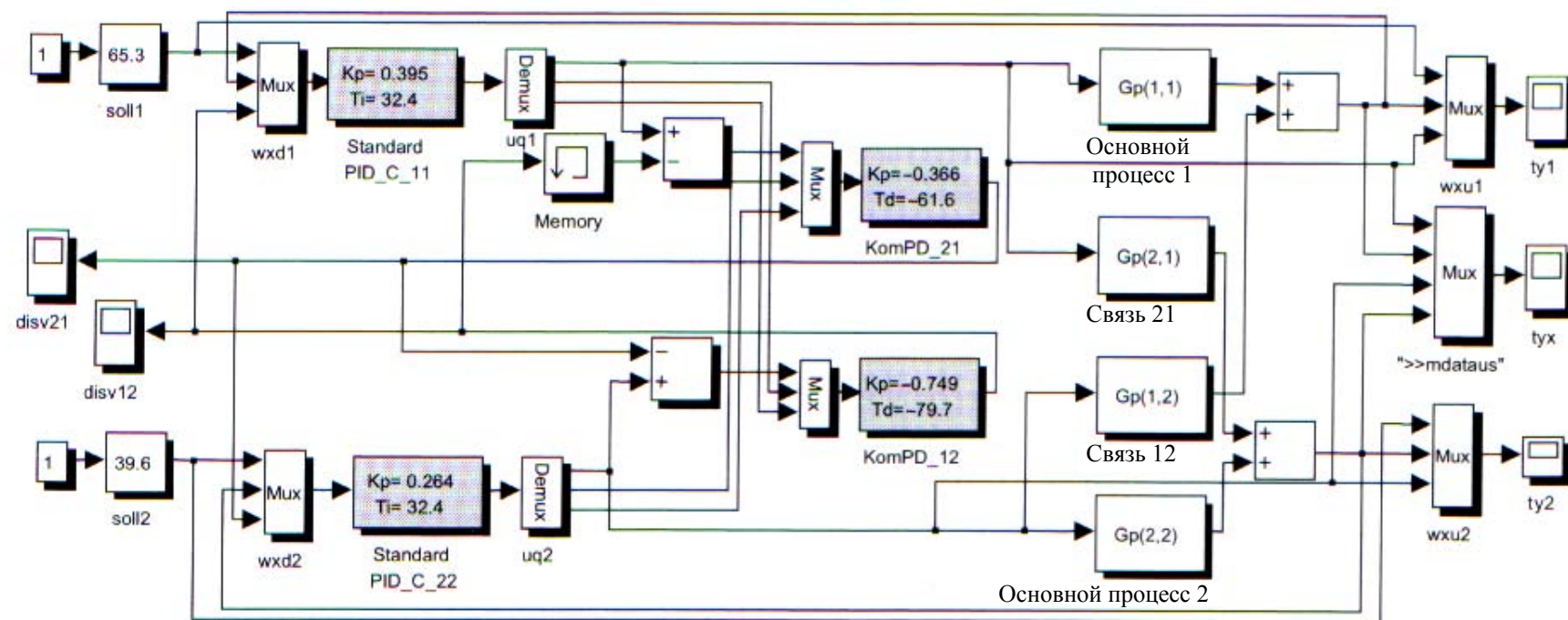


Рис. 7.19 Пример практической реализации регулирования множества величин в системе Matlab/Simulink

ваться для развязки входы DISV основного регулятора, специально предусмотренные для подключения мешающего воздействия (см. Siemens Patent 199119595.1).

В книге “От процесса к регулированию” [1] в главе 11 на различных примерах очень подробно рассмотрены система двух величин, механизмы развязки и теория развязывающих фильтров.

Сегодня проблемы регулирования множества величин решаются специальными программными инструментами, которые привязаны к системе управления процессом. Такие связи в настоящее время поддерживаются средствами Siemens:

Matlab является универсальным инструментом CAE (computer-assisted education –программированного обучения) с очень богатой математической библиотекой. На основе Matlab/Simulink-DDE-Client A&D SH 23, Нюрнберг, может быть построена в реальном времени связь Simulink-моделей к общей управляющей системе с DDE-сервером. Из такой “открытой системной платформы” может быть создан общий запас функций Matlab для процессного регулирования. Подключения могут выполняться

- серийноспособными DDE-серверами к WinCC, а также к PCS 7,
- сервером Simatic Net OPC/DDE-Server к общей системе Simatic S7,
- сервером WinTM/Serv к системе управления процессом Teleperm M,

а также к различным системам управления процессом других изготовителей с помощью DDE-сервера.

Регуляторы множества величин с предсказанием для очень больших систем от 5 до 10 связанных входных и выходных величин предлагаются некоторыми специализированными фирмами в виде больших программных инструментов. Они могут быть подключены к Simatic PCS7, например, через OPC-Server WinCC

7.8.3 Регулирование с предсказанием на основе модели

Описанные до сих пор способы развязки при регулировании множества величин ограничивались простыми случаями максимум от двух до четырех связанных управляющих и регулируемых величин. Однако для многих случаев выяснилось, что автоматизацией только на основе отдельных регуляторов невозможно исчерпать экономический потенциал установки, например, технологического процесса.

Примеры:

- В стекольной промышленности, в печах и плавильнях, основная автоматизация часто состоит только из регулирования потока горючего газа и воздуха, тогда как важнейшая для производства температура жидкого стекла должна устанавливаться вручную оператором установки.
- В химических реакторах часто регулируются только первичные условия реакции, такие, как температура, давление и подача сырья, тогда как величины, определяющие качество продукции, например, вязкость и плотность, измеряются только периодически в лаборатории и не регулируются непосредственно.
- В дистилляционных колоннах часто регулируются только вспомогательные величины, такие, как подвод нагревательного пара, уровень в конденсаторе и в отстойнике, тогда как определяющие чистоту продукции температура в головке и в отстойнике трудно регулировать из-за сильной их взаимосвязи.

В этих и подобных случаях требуется концепция автоматизации со следующими свойствами:

- Целостный взгляд на всю установку или основные части установки, например, на химические реакторы, дистилляционные колонны.
- Учет всех связей в процессе.
- Действительное регулирование (“closed loop feedback” – с замкнутой цепью обратной связи)” хозяйственно важных показателей качества, даже если они трудно и не всегда непосредственно измеримы и только косвенно управляемы.

- Максимально возможная гибкость структур регуляторов.
 - Количество управляющих воздействий и регулируемых величин может быть очень большим.
 - непосредственное упорядочение, каким управляющим воздействием какая регулируемая величина может управляться, установить трудно из-за сложности функциональной структуры.
 - Не гарантируется, что число регулируемых величин точно соответствует числу управляющих воздействий.
 - Число управляющих воздействий может изменяться в процессе эксплуатации, так что система регулирования должна сама себя полностью автоматически реконфигурировать.
- Управление комплексной динамикой процесса: продолжительные паузы, неустойчивые участки или участки с неминимальнофазовой характеристикой.
- Динамическое подключение возмущающего воздействия, если возмущения измеримы, но действуют на регулируемые величины с известной задержкой. Тогда требуется, наряду с функцией передачи участка, точная модель передающей функции возмущения, чтобы компенсировать действие этого возмущения.
- Точный учет ограничений управляющих и регулируемых величин для их оптимизации. Это представляет особенный интерес, если оптимальная рабочая точка установки оказывается на стыке различных ограничений, т. е. установка должна быть выверена в пределах границ надежности.
- Различным целям регулирования должны быть установлены приоритеты в смысле иерархии: надежность важнее качества, качество важнее экономии.

На практике для такой постановки задачи создавались методики регулирования с предсказанием на основе модели, иногда в комбинации с так называемыми программными сенсорами. Программный сенсор заменяет реальный сенсор программой. Он служит для того, чтобы некоторые не измеримые непосредственно величины вычислять косвенно, из других прямо измеряемых величин. Как способы замены могут применяться калмановские фильтры или искусственные нейронные сети.

Принцип функционирования регулятора с предсказанием можно объяснить по рис. 7.20

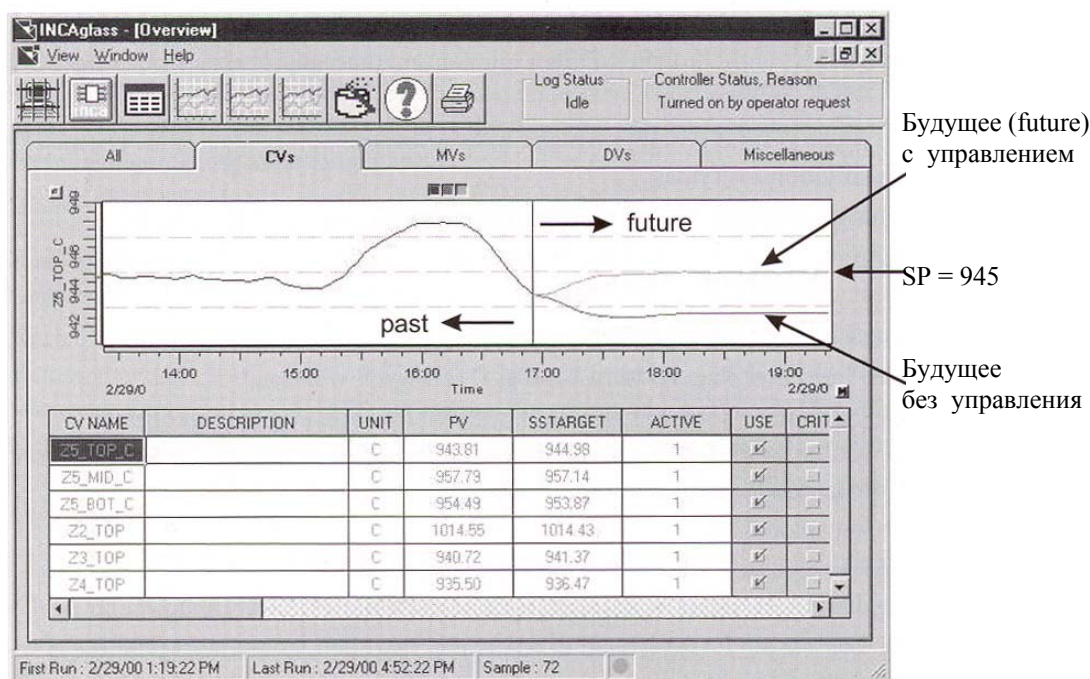


Рис. 7.20 Основанный на модели регулятор с предсказанием INCA.

CVs: Controlled Variables (регулируемые величины)

MVs: Manipulated Variables (управляющие воздействия)

DVs: Disturbance Variables (подключение возмущающего воздействия)

Регулятор наблюдает и показывает, как проходил процесс в прошлом. Так как регулятор располагает полной моделью динамики процесса со всеми связями, то он может в некотором интервале “смотреть в будущее”, т. е. предсказывать в некотором временном интервале, как процесс пойдет дальше, если регулятор не будет управлять (“future without control” - будущее без управления). Отсюда он может перебирать (имитировать), как действуют различные стратегии манипуляции процессом с помощью имеющихся управляющих величин: “future with control” – будущее с управлением. С помощью методов оптимизации выбирается наилучшая стратегия. Стратегия, таким образом, подобна таковой в шахматном компьютере: перебираются различные комбинации будущих ходов и оценивается их действие.

Для формирования критерия оптимизации имеется очень много возможностей: наряду с будущими отклонениями регулирования и издержками управления могут быть использованы также ограничения для управляющих и регулируемых величин (как дополнительные условия оптимизации), а также и другие производственные критерии. Задача оптимизации во всем диапазоне предсказания решается в реальном времени при каждом шаге считывания, но только первый элемент полученной последовательности управляющих воздействий непосредственно вводится в процесс. На следующем шаге считывания диапазон (“горизонт”) предсказания сдвигается вперед и снова проводится общая оптимизация (принцип “скользящего горизонта”).

Siemens в кооперации с нидерландской фирмой IPCOS Technologies предлагает базирующийся на модели регулятор с предсказанием INCA. Ясно, что для оптимизации в реальном времени потребуется большая производительность вычислителя, так что регулятор с предсказанием не может быть встроен в компоненты системы управления процессом (AS = система автоматизации, т. е. процессор SIMATIC S7-400), а должен быть реализован на отдельном компьютере. В большинстве случаев регулятор с предсказанием не включается прямо в процесс, а задает уставку подчиненному PID-регулятору, т. е. он служит для координации нескольких PID-регуляторов базовой автоматизации в смысле руководящей оптимизации (“supervisory control”). Таким образом, речь идет о каскадном регулировании с несколькими ведомыми PID-регуляторами и одним регулятором нескольких величин с предсказанием в качестве ведущего регулятора.

Для быстрой и надежной интеграции INCA в SIMATIC PCS 7 (рис. 7.21) спроектированы стандартные APC-модули для AS с соответствующими экранами обслуживания для OS (Operator Station - станция оператора - для WinCC). Они осуществляют различные переключения видов работы и видов информации, контролируют внешние регуляторы с предсказанием и управляют установкой в предписанном безопасном режиме, когда сигналы не приходят от INCA (например, из-за проблем со связью или из-за отказа компьютера). Важнейшие INCA-параметры (около 5 на каждую из величин – управляющее воздействие и регулируемая величина) доступны оператору установки с OS, тогда как основная панель обслуживания INCA с ее множеством параметров используется только экспертами INCA.

Расходы на проектирование панелей обслуживания, ориентированных на приложения, и концепций соединения для регуляторов с предсказанием окупаются полностью.

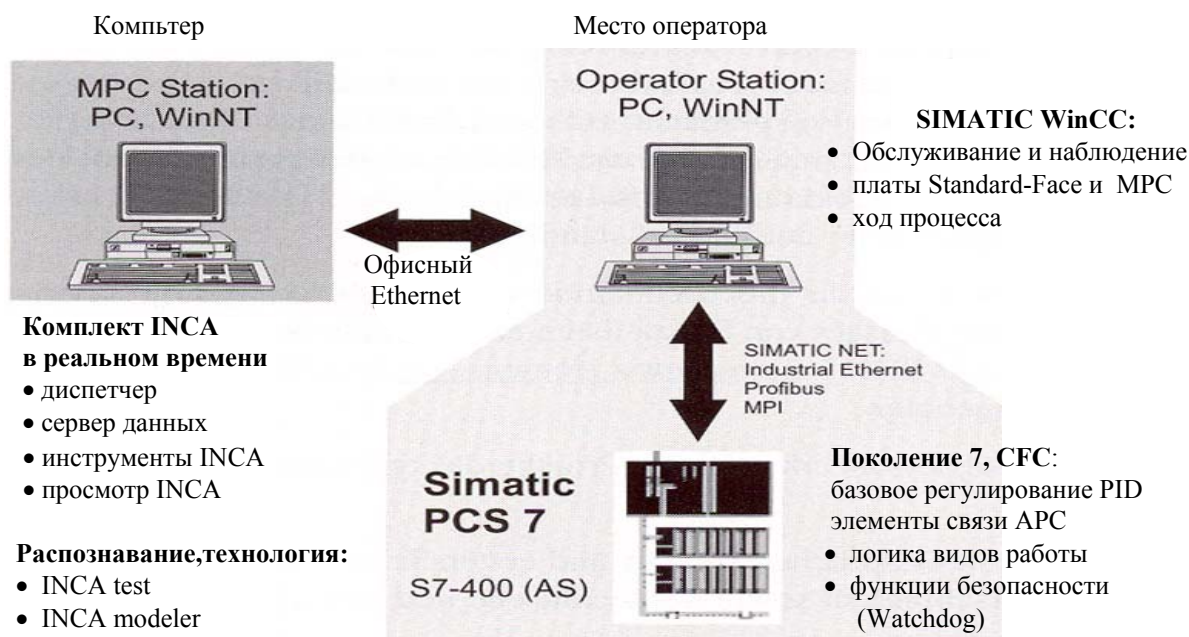


Рис. 7.21

Интеграция базируемого на модели регулятора с предсказанием INCA в управляющую систему процесса SIMATIC PCS (MPC: Model based Predictive Control)

Даже при профессиональном программном обеспечении для ввода в действие комплексного регулирования со множеством величин часто требуется дистанционное участие специалиста. Такие услуги предлагаются фирмой A&D SH 15 (<http://www.siemens.com/apc>) в Карлсруэ и Siemens Axiva во Франкфурте.

Инсталляция регулятора с предсказанием является очень большим проектом, который в типичном случае проходит следующие фазы:

- **Изучение концепции:** На основе обсуждения на месте и первых тестов на установке (например, при воздействиях скачка) оценивается реализуемость, а также техническая и экономическая эффективность.

- **Инсталляция** специального программного пакета и подключение к системе управления процессом.
- **Тестирование установки:** Систематическое возбуждение динамики процесса и измерение (архивирование) соответствующих откликов объекта регулирования. Для выбора стимулирующих сигналов используются результаты экспериментов со скачками.
- **Построение модели:** Определение в режиме offline (автономно) динамической модели процесса со множеством величин на основе запомненных измеренных данных. При этом параметры линейной независимой от времени математической модели процесса (например, дискретной во времени модели в пространстве состояний, матрицы передаточной функции или непараметрической модели импульсной реакции) согласовываются методами оптимизации с измеренными данными. Таким образом, не требуется теоретическое построение модели на основе физических и химических зависимостей, но соответствующие сведения иногда могут использоваться.
- **Проектирование регулятора.** Существенная для регулятора информация уже содержится в модели процесса. Глобальные параметры, как, например, диапазон предсказания (насколько далеко смотрит регулятор в будущее?), уровень управления (насколько сложной и длинной должна быть последовательность управляющего воздействия?), а также расход энергии на управление (насколько "дороже" перемещения управляющего воздействия в сравнении с регулирующей разностью) – это может быть определено с помощью простых формул. Точная отладка регулятора выполняется на основе имитации с идентифицированной моделью.
- **Приемочное тестирование:** Перед первым вводом в действие обсуждаются с персоналом характеристики регулятора на основе моделирования. Для успешной приемки, наряду с доказательством нормального функционирования, должно обеспечиваться:
 - плавное переключение различных видов работы,
 - скачкообразные переключения уставки,
 - отрегулирование определенных искусственно вызванных возмущений, а также
 - автоматическое переключение в режим безопасности.

- **Обычная работа, наблюдение и обеспечение:** Решающим для приемки новой концепции регулирования оператором установки является тщательная документация и обучение. Регулятор с предсказанием может только столь долго функционировать, пока поведение процесса соответствует математической модели. Подчиненные PID-регуляторы должны быть также оптимизированы, чтобы избежать позднейших изменений динамики процесса. При больших перестройках установки должна быть определена новая модель процесса. Имеются различные приемлемые формы совместной работы пользователя установки и исполнителя работы по технике регулирования: иногда гарантируется, что, например, инвестиции окупятся в течение года или же исполнитель принимает процентное участие в полученной выгоде.

8 Вызов программного регулятора в PLC

8.1 Уровни временного прерывания и интервалы считывания

Все программные блоки, выполняющие регулирование, должны обрабатываться в специально определенных равных временных интервалах. Пользователи регулирующих функциональных модулей (аппаратных регуляторов) освобождены от установки этих временных интервалов, так как эти модули (FM) работают всегда в реальном времени. Установка интервалов считывания для модульно построенного программного регулирования является важным моментом при проектировании. Неправильно установленные временные характеристики или излишне нагружают рабочие ресурсы процессора, или же отрицательно влияют на динамику регулирования и регулятор работает плохо.

8.2 Вызов в SIMATIC T.I.A

8.2.1 Деление частей программы на циклические и с прерыванием

Большинство программных регулирований и подчиненных им функциональных звеньев выполнены так, что все динамические функциональные звенья (регулятор, импульсные формирователи, диспетчеры, фильтры и т. д.) вызываются через строго равные интервалы времени (эквидистантны). Временные интервалы задаются модулям в форме параметра интервала считывания (CYCLE). Регулятор вызывается в так называемой области прерываний. Эти прерывания (OB31, 32, 33...39) прерывают циклическую программу в произвольных местах через определенные временные промежутки и после обработки прерывания возвращают ее в место прерывания. Этим достигается высокая точность временных характеристик динамических звеньев.

Недостатком такого метода является то, что так сформированные интервалы не позволяют обработать достаточно много программ. При довольно большой загрузке появляется опасность, что нормальная циклическая программа едва ли сможет работать или же управление

остановится, поскольку прерывание будет пытаться прервать себя следующим прерыванием. Чтобы этого избежать, должно быть выполнено разумное разделение частей программы на циклическую часть и на программные части прерывания. Программные части прерывания должны быть распределены в соответствии с техническими требованиями процесса. В одном регулирующем контуре могут участвовать на AS многие динамические функциональные звенья, которые при необходимости могут включаться в различные уровни прерывания.

Указание: Значение устанавливаемого параметра прерывания (например, CYCLE или SAMPLE_T) в каждом динамическом функциональном вызове должно согласовывать по времени между собой идущую друг за другом пару функциональных вызовов. При этом недостаточно только применять временную базу прерывания (время OB), но следует учитывать и имеющееся разделение временных тактов, или преобразование тактов.

8.2.2 Распределение временных тактов и интервалов считывания функциональных звеньев

Проектировщик не может выполнить окончательную настройку интервала считывания (CYCLE) без точного знания реакции объекта регулирования. Но при установке программы должны быть введены все предварительные наладки.

В таблице 8.1 перечислены такие предварительные наладки, с помощью которых может выполняться программное регулирование. При вводе в эксплуатацию эти значения должны быть перепроверены и скорректированы. Как видно из этой таблицы, разные интервалы считывания имеют не только различные задачи регулирования, но и различные функции регулятора (например, широтно-импульсные модуляторы) могут иметь разные интервалы считывания в различных регуляторах. Создание таких различных уровней прерывания обычно выполняется с помощью распределителя временных тактов. Он вызывается через самые малые временные тактовые интервалы, и все другие интервалы считывания должны быть кратны этому самому малому (элементарному) интервалу. Задачей распределителя

является составление различных элементарных интервалов и распределение их, насколько возможно, так, чтобы получить равномерную временную загрузку цикла.

Пример

Под управлением SIMATIC S7-400 должны выполняться с помощью Modular PID Control все регулирования, приведенные в таблице 8.1. При этом три температурных регулятора реализованы как релейные с трехпозиционной характеристикой, а все другие как непрерывные регуляторы с аналоговым выходом. Как должны вызываться регуляторы и их функциональные звенья и как они должны быть распределены, чтобы интервалы циклов при управлении были распределены равномерно?

Таблица 8.1 Основная установка интервалов считывания при программном регулировании

Регулирования	Интервал считывания (TA) регулятора, мс	Интервал считывания импульсного формирователя для трехпозиционной характеристики, мс	Интервал считывания импульсного формирователя при двухпозиционной характеристике, мс	Длительность периода импульсного формирования при двухпозиционной характеристике, мс
Температура (быстро)	200	1000	0 ¹	200 (=TA)
Температура (нормально)	1000	500	10	1000 (=TA)
Температура (медленно)	5000	1000	50	5000 (=TA)
Уровень	500	250	-	-
Давление	100	50	-	-
Количество, поток	200	100	0 ¹	200 (=TA)
Технологические процессы	500	25	10	500 (=TA)
Позиционное регулирование	200	100	0 ¹	200 (=TA)

¹ Интервал 0 означает: настолько быстро, как позволяет процессор или построение аппаратуры

Решение

Наименьший интервал считывания рассматриваемых функциональных звеньев составляет 50 мс (для регулятора давления). Предлагается распределение временных тактов с помощью сдвигающего регистра на прикладном уровне в ОВ34 (стандартная установка этого уровня прерывания составляет 50 мс). Задача решается распределением, показанным в таблице 8.2.

Таблица 8.2 Перечень регулирований к примеру в главе 8.2.2

Регулирования	Распределение вызовов регулятора, мс	Распределение вызовов импульсного формирователя, мс
Температурный регулятор с трехпозиционной характеристикой	1:4	1:2
Температурный регулятор с трехпозиционной характеристикой	1:20	1:10
Температурный регулятор с трехпозиционной характеристикой	1:100	1:20
Регулятор уровня	1:10	-
Регулятор давления	нет	-

Распределение вызовов в функциональной группе во времени показано на рис. 8.1.

8.2.3 Распределение временных тактов с помощью модуля LP_SCHED

Модуль LP_SCHED служит для распределения временных тактов внутри уровней прерывания и имеется в продуктах регулирования Standard PID Control и Modular PID Control. Вызов функции LP_SCHED может “освободить” несколько регуляторов на этом уровне прерывания. Но на один вызов функции LP_SCHED вызывается максимум один регулятор. Если пользователь захочет получить распределение временных интервалов, подобное рис 8.1, то необходимо вызывать функцию LP_SCHED трижды и отдельный регулятор вызывать в соответствии с функцией ИЛИ. Интервал считывания в одном

регулирующем контуре получается как кратное произведению числа регулирующих контуров на временную базу прерывания.

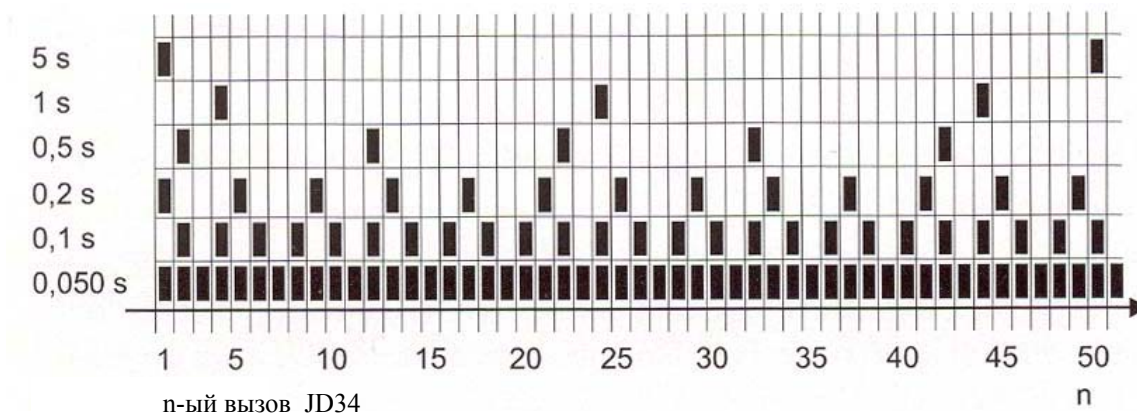


Рис. 8.1

Пример распределения временных тактов шести проходных групп, при котором в каждый момент времени вводятся не более трех функциональных групп

Чтобы реализовать пример по рис.8.1, надо три функции LP_SCHED вызывать на уровне 10-мс прерываний.

8.2.4 Построение модульного регулирования

В модульном пакете функций отдельные регулирующие функции собраны в соответствующих функциональных модулях. Они могут “свободно” переключаться через каналы данных. В следующем примере (рис. 8.2) показано, как соединяются функции в группы и затем эти группы вызываются. На рис. 8.2 показан одиночный регулирующий контур, который составлен из различных функций.

Не все функции имеют равный приоритет в отношении их временных характеристик. Например, вторичное значение имеет то, будет ли изменение уставки с панели обслуживания секундой раньше или секундой позже. Поэтому функции цепи уставки могут вызываться в циклической части программы (JD1). Напротив, вызов регулятора и считывание действительного значения существенно связаны с постоянной времени процесса, и их вызов должен выполняться строго в промежутке 400 мс. Различные функции цепи действительного

значения должны вызываться внутри этого промежутка 400 мс, но не обязательно одновременно – они могут быть сдвинуты на определенную величину (например, на 100 мс).

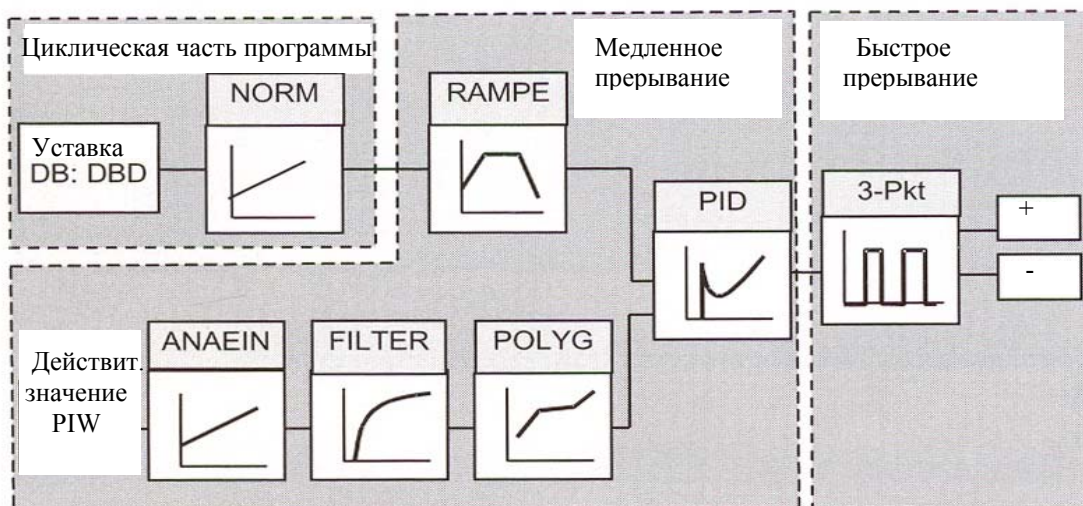


Рис.8.2

Структура одиночного регулирующего контура, построенного на модульных функциональных элементах (например, SIMATIC Modular PID Control)

Последующее формирование импульса должно быть согласовано по времени исключительно с исполнительным звеном и поэтому должно вызываться быстро – насколько возможно. В большинстве случаев для двоичных релейных управляющих звеньев применяется уровень прерывания 50 или 100 мс.

Распределители временных интервалов, какие предлагаются в большинстве пакетов регулирования SIMATIC S7 (например, FC1 “LP_SCHED” из Modular PID Control), всегда имеют возможность пересчета временных тактов и их сдвигов. Такие системы распределения помогают осуществить равномерную загрузенность процессора с помощью разнообразных вызовов регулирующей функции. Последовательность команд, которые стимулируются срабатыванием распределителя временных интервалов, называют группой времени исполнения.

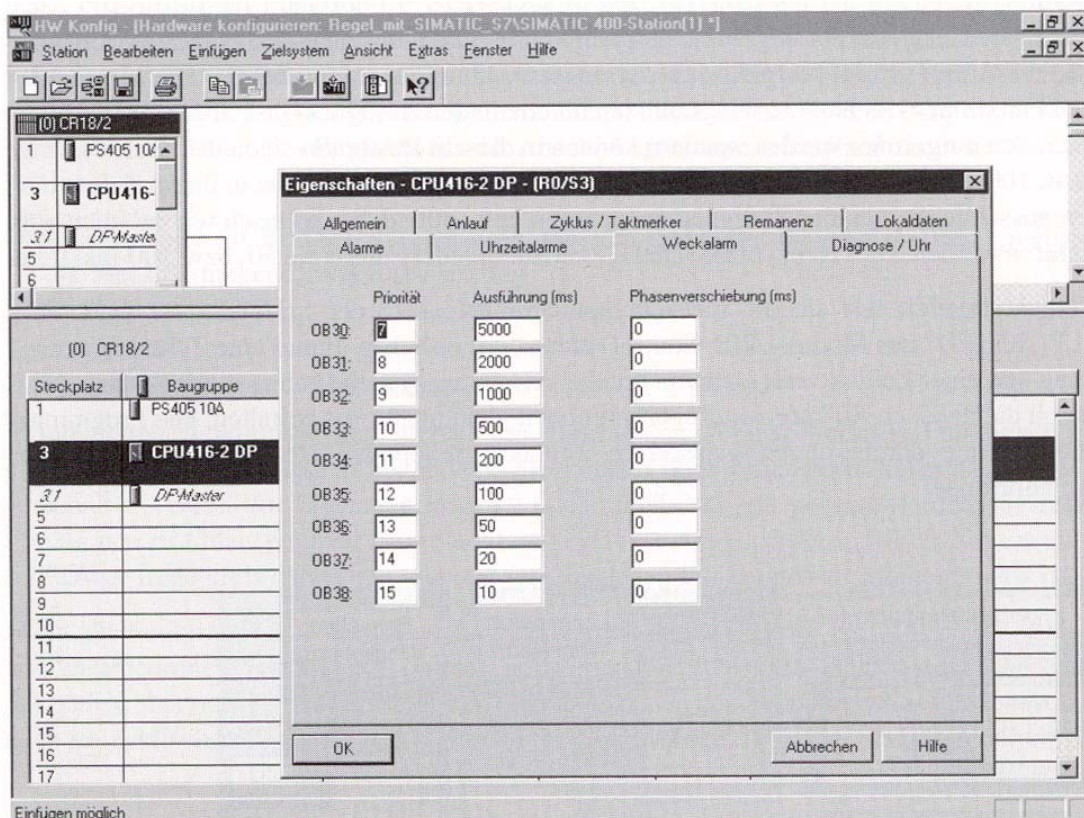


Рис. 8.3 Установка периода прерываний в аппаратной конфигурации SIMATIC Manager.

Указание: Уровни прерывания в модульных регулирующих структурах должны быть так сформированы на основе групп времени исполнения, чтобы они могли быть легко и наглядно изменяемы на рабочем месте. Эти значения в ходе запуска должны быть согласованы с реальными данными объекта регулирования.

При этом по возможности не предпринимайте никаких изменений во времени выдачи прерываний в инструменте HW-Config SIMATIC Manager (рис.8.3). Используйте для этого преобразователь временных тактов и вызывайте эти функции для значения времени равном наибольшему общему делителю всех используемых функций. Рекомендуется функции вызывать в функциональном блоке, а параметр интервала считывания (“CYCLE” или “SAMPLE_T”) переключать извне (см. примеры Modulare PID Control), чтобы изменения интервала считывания могли сохраняться далее.

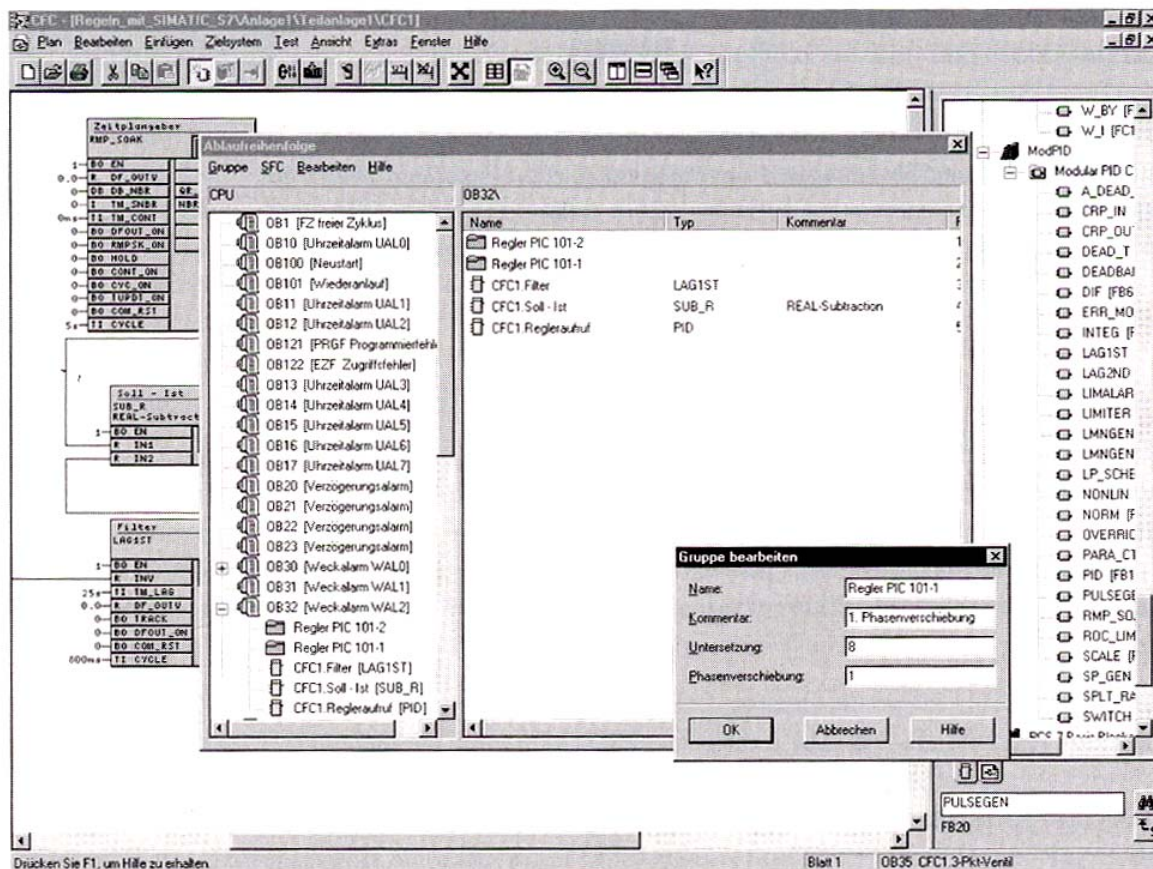


Рис. 8.4 Возможности PCS7 для установки тактового распределения и фазовых сдвигов групп времени исполнения.

8.3 Вызов в SIMATIC PCS7

PCS7 хорошо работает с SIMATIC CFC, графическим экраном программирования и структурирования. Как уже говорилось в главе 4, такой способ лучше всего подходит для программирования программных регулирований, так как технологи и техники обычно мыслят переключающими функциями и объектами. На рис. 8.4 показано, как для различных функций модульного одиночного регулирующего контура (подобного показанному на рис. 8.2) с помощью средств CFC могут быть упорядочены и изменены уровни прерывания на основе обслуживающих функций “изъять” и “встроить”.

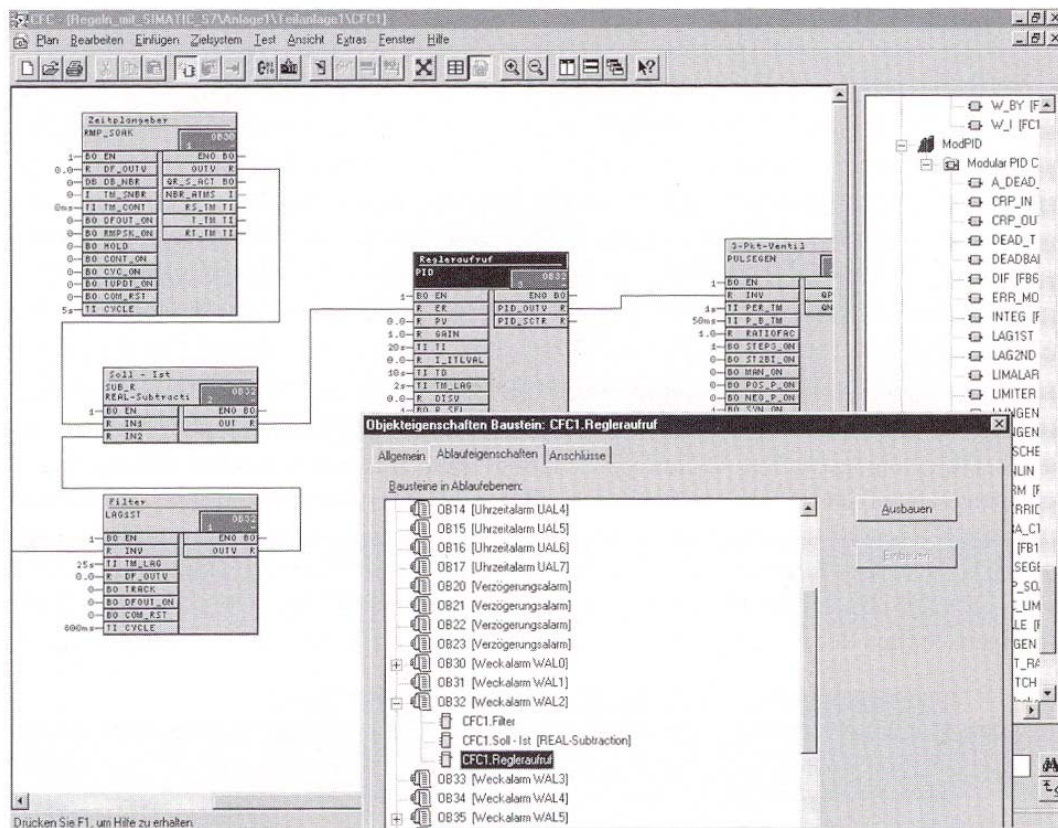


Рис. 8.5 Установка интервалов считывания функциональных звеньев внутри PCS7

При этом возможны различные упорядочения (например, ОВ 30, 32 и 35) в плане CFC, которые освобождают технологов от перекрывающихся структур. Может быть вызвано меню “свойства объекта / свойства процесса” (Objekteigenschaften / Ablaufeigenschaften) и выбран¹ соответствующий заголовок функционального блока двойным щелчком на “Ablaufreiefolge” (последовательность). В PCS7 преобразование тактов и их фазовое смещение выполняются внутри одного уровня прерывания относительно проходной группы. Это показано на рис. 8.5. Там Вы найдете проходные группы (Ablaufgruppen) PIC101-1 и PIC101-2. Свойства последней проходной группы показаны в активированном окне.

¹ Пример из PCS7 версии 4.02.

9 Ввод в действие процессных регуляторов

9.1 Первые шаги

Для ввода в действие регулятора необходимы: программа изображения графиков (функция записи графиков регулятора или изображения тренда в PCS7) или самописец (по меньшей мере двухканальный) со скоростью протяжки несколько мм / мин., измерительный прибор физических величин действительных значений (например, сенсор положения, измеритель потока и др.), секундомер, прибор моделирования¹ (имитации) для измеряемых значений (датчик милливольт, имитатор PT100 и т. д.), мультиметр, карандаш, линейка или же вместо них соответствующие программы для идентификации объекта регулирования.

9.1.1 Инсталляция и проверка сигнальных связей

В самом начале вводящий в действие проверяет значения процесса (аналоговые или бинарные входы и выходы) регулятора, их область значений и их функционирование. Следует обратить внимание, что уставка и действительное значение процесса должны быть соответственно нормированы, т. е. иметь одинаковые области значений. В отношении выходов следует обратить внимание, чтобы область значений и вид сигнала соответствовали подключенным исполнительным звеньям. Проверка считываемых с регулятора величин процесса (уставка, возмущение и действительное значение) должна выполняться при различных их значениях, и проверка выдачи сигнала управляющего воздействия должна также выполняться при различных его значениях в ручном режиме работы регулятора.

9.1.2 Направление действия процессного регулятора

Для проверки направления действия регулирования регулятор с подключенным сигналом управляющего воздействия, но без физического действия (без электрического, термического

¹ Для PCS7 существуют аналоговый датчик имитируемых параметров для задания моделируемых значений SUBS_V. Переключение от реальных значений к имитируемым выполняется параметром SUBS_ON.

или какого иного энергетического питания) должен быть переключен из ручного режима работы в автоматический (с $GAIN=1,0$; $TN=0,0$ с и $TV=0,0$ с). При установленной положительной регулирующей разности (уставка $>$ действительного значения) исполнительное звено должно смещаться в положение, которое соответствует процентному уровню регулирующей разности.

Если уставка будет увеличена, то исполнительное звено должно смещаться (процентно) дальше в физическом направлении ВВЕРХ, или БОЛЬШЕ, или ПЛЮС. При этом решающим является не направление изменения управляющего воздействия, но направление изменения физического действия величины процесса на объекте регулирования. Температурный регулятор в реакторе, где исполнительное звено регулирует подачу охладителя, при открытии вентиля вызывает понижение температуры. Повышение уставки регулятора должно, следовательно, вызвать закрытие вентиля и соответственно уменьшение управляющего воздействия. Знак этого регулирования должен быть установлен отрицательный.

Указание: Знак (направления действия) регулятора очень легко может быть инвертирован, инвертируя знак параметра регулирования $GAIN$. При положительном знаке усиления ($GAIN=1,2$) и при отрицательном знаке регулятора направление регулирования будет отрицательное (и обратно – при $GAIN= -1,2$ и отрицательном знаке регулятора направление регулирования будет положительное).

Инвертирование в трехпозиционных регуляторах может выполняться простой перестановкой управления исполнительным звеном (ВВЕРХ / ВНИЗ). В этом случае инвертирование не должно выполняться изменением знака параметра регулирования $GAIN$, но только перестановкой управляющих сигналов, так как в таком случае хотя и получится на выходе правильное управление, но при дальнейшей обработке сигнала (например, регулирующей разности) могут снова появиться проблемы со знаком.

9.1.3 Предварительная установка параметров регулирования

Как уже упоминалось, в настоящее время нет удовлетворительной классификации практических объектов регулирования как в профессиональной литературе, так и в нашем опыте.

Тем более трудно дать комплексно правильные значения установки регулировочных параметров. Несмотря на это, в таблице 9.1 приведены значения, которые оправдываются на практике как предварительная установка для первых автоматических тестов. Эти значения выбраны не потому, что они дают хорошие результаты регулирования, но потому, что эти значения представляют усреднения из различных практических опытов и дают инерционность, согласованную с человеческой реакцией, и тем обеспечивают для опытных настройщиков безопасную базу регулировочной техники.

Указание: При использовании D-звена для предварительной установки параметра TM_LAG следует принимать его значение 20% от значения TV .

Таблица 9.1 Предварительная установка параметров регулирования для первых автоматических тестов

Регулятор / отрасль	GAIN ¹	TN [с]	TV [с]
Температурный регулятор в технологии	1,2	180,0	0,0
Температурный регулятор в области автоматике внутри зданий	0,8	90,0	0,0
Температурный регулятор при обработке искусственных материалов	12,0	60,0	0,0
Регулятор давления в технологии	2,0	30,0	0,
Регулятор уровня в технологии	1,0	0,0	0,
Все прочие	0,5	120,0	0,0

9.1.4 Линеаризация значений процесса

Если на участке регулирования имеются нелинейные передаточные звенья, то они должны быть линеаризованы. Компенсация нелинейных передаточных звеньев позволяет регулятору работать линейно, и этим может обеспечиваться оптимальное поведение во всей рабочей области регулятора.

¹ Верно для положительного направления регулирования. При отрицательном направлении регулирования

Линеаризация выполняется в ручном режиме работы регулятора. На основе задания различных ручных значений управляющего воздействия и снятия соответствующих реакций участка можно с помощью графического способа представления (воспроизведением кривой тренда или записью измеренных значений многоканальным самописцем) воспроизвести и оценить ход управляющего воздействия и уставки регулятора (см. рис. 9.1)

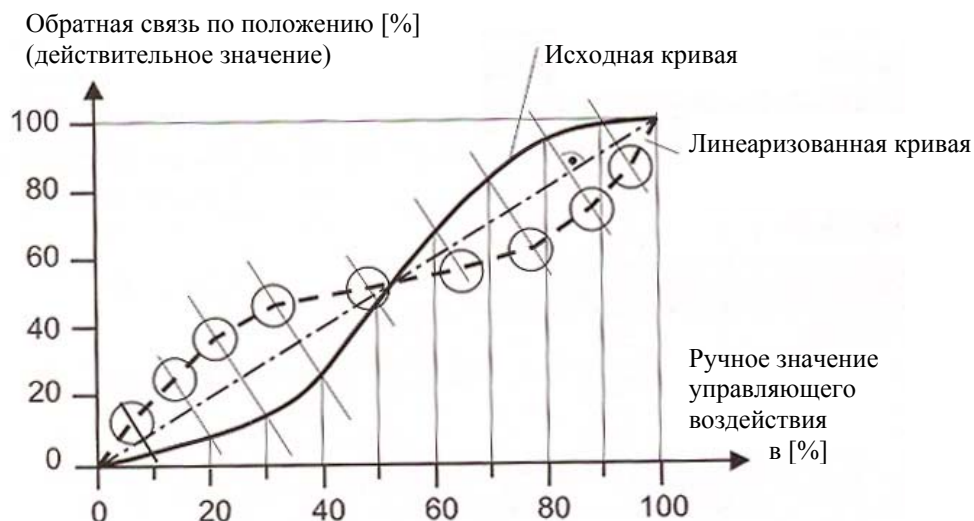


Рис. 9.1

Графическое построение кривой линеаризации на примере вентиля

Сначала должно быть проверено, допустимо ли вообще предполагаемое задание ручного значения управляющего воздействия. Эта ясность может быть получена в обсуждении с машиностроителями. При этом следует не только проверить, что такие задания не приведут в крайнем случае к разрушению установки или продукта, но и выяснить, соответствуют ли таким тестам условия, сравнимые с позднейшими производственными условиями. Вручную задаются постоянные управляющие воздействия (например, начиная с 0% шагами по 10% до 100%) и после каждой установки наблюдается, пока установка не среагирует на изменение и не успокоится. Каждое значение ручной установки и полученного действительного значения заносятся в таблицу.

Для получения таблицы ломаной линии с более высокой точностью следует уплотнять значения отсчетов по х-оси, особенно на нелинейных участках.

Построение ломаной линии

Чтобы обработать таблицу ломаной линии из прямых участков (см. главу 6.2.3), следует выполнить x, y -диаграмму по образцу рис. 9.1. Около прямой линии под 45° следует отразить полученную кривую. Это выполняется нанесением вспомогательных линий, перпендикулярных к 45° -ной оси, на которых наносятся точки, зеркальные исходной кривой относительно оси 45° . Так образуется зеркальная кривая, называемая графиком линеаризации.

Чтобы для этого линеаризованного графика получить координатные точки таблицы ломаной линии, следует сначала установить определенные значения по x -оси (например, 0%, 10%, 20% и т. д.). Вертикально вверх от x -оси проводится прямая до пересечения с кривой линеаризации. Так получается соответствующее значение по y -оси, как показано на рис. 9.2. Эти значения заносятся в таблицу ломаной линии (таблица 9.2). В примере на рисунке можно поставить и физические значения по оси y . Однако для вводящего в действие представляется затруднительным задавать значения через равные интервалы и измерять

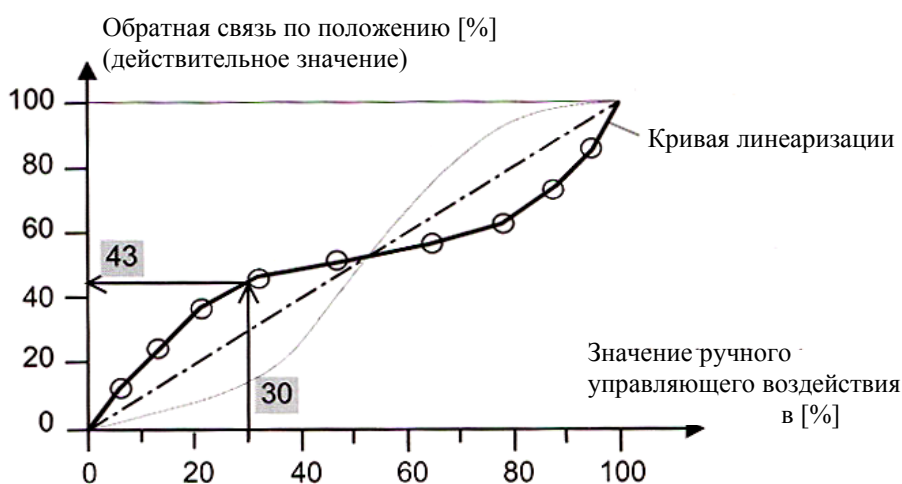


Рис. 9.2 Получение значений для таблицы ломаной линии

Таблица 9.2 Таблица ломаной линии к рис. 9.2

Таблица ломаной линии	х-ось	у-ось
1-ое значение	0%	0%
2-ое значение	10%	20%
3-е значение	25%	35%
4-ое значение	30%	43%
5-ое значение	40%	
п-ое значение		

9.1.5 Установка импульсных формирователей

При вводе в действие регуляторов с двоичным управлением исполнительного звена вводящий в действие должен установить параметры, которые не всегда известны.

Интегрирующие двоично управляемые исполнительные звенья

Для интегрирующих двоичных исполнительных звеньях устанавливаются предварительно время отработки исполнительного звена и минимальная длительность импульса. Установить время срабатывания исполнительного звена очень просто. Надо или найти соответствующее указание на этикетке, или же измерить секундомером время от полностью открытого до полностью закрытого состояния.

Указание: Проверьте время срабатывания исполнительного звена в обоих направлениях. Обычно время срабатывания в обоих направлениях одинаково. При старых исполнительных звеньях может быть иначе и из-за этого характеристика участка регулирования будет нелинейной.

При установке минимальной длительности импульса следует обратить внимание на данные изготовителя исполнительного устройства или, если их нет, использовать значения из таблицы 3.1 в главе “Исполнительные устройства и сенсоры регулирования”.

Неинтегрирующие релейные исполнительные звенья

В неинтегрирующих исполнительных звеньях следует установить длительность периода и определить выдачу импульсов (например, PULSEGEN с параметром PER_TM). Как для программных, так и для аппаратных регуляторов следует для определения длительности периода использовать интервал считывания TA или CYCLE регулятора (см. таблицу 9.4 в главе 9.3.2). В интересах точности следует обратить внимание на то, чтобы значение не было слишком маленьким. Играть роль два критерия:

1. Длительность периода должна устанавливаться равной интервалу считывания регулятора.
2. Длительность периода должна быть кратна минимальной длительности импульса¹.

Для узлов регулирования длительность периода должна устанавливаться не менее 1 секунды.

Регулирование с разделенными границами

При регулировании с разделенными границами следует, наряду со временем срабатывания или длительностью периода, установить и переломную точку функции разделения границ. Основным является различие усиления исполнительного звена в рабочей точке. На рис. 9.3 показан грубый оценочный способ¹. При этом получается отношение температурного повышения к температурному понижению как реакция на равные управляющие импульсы в рабочей точке: при значениях 75°C / 45°C это дает около 1,6. Это значение показывает, что нагревание по отношению к охлаждению работает с 1,6-кратным усилением (V_H) исполнительного звена по формуле 9.1.

Существуют два различных способа установки отношения нагрев / охлаждение:

Из опыта устанавливают отношение нагрев/охлаждение при изменении поворотного пункта (точки излома). Поворотные пункты (Y_H и Y_K) определяются затем по формулам 9.2 и 9.3 и

¹ Об установке минимальной длительности импульса см. главу 3.1 и таблицу 3.1.

используются в соответствии с рис. 9.4.

$$V_H = T_H / T_K \quad (9.1)$$

$$Y_H = (1 - 1/V_H) \cdot 100[\%] - Y_{tot}[\%]/2 \quad (9.2)$$

$$Y_K = (1/V_H) \cdot 100[\%] + Y_{tot}[\%]/2 \quad (9.3)$$

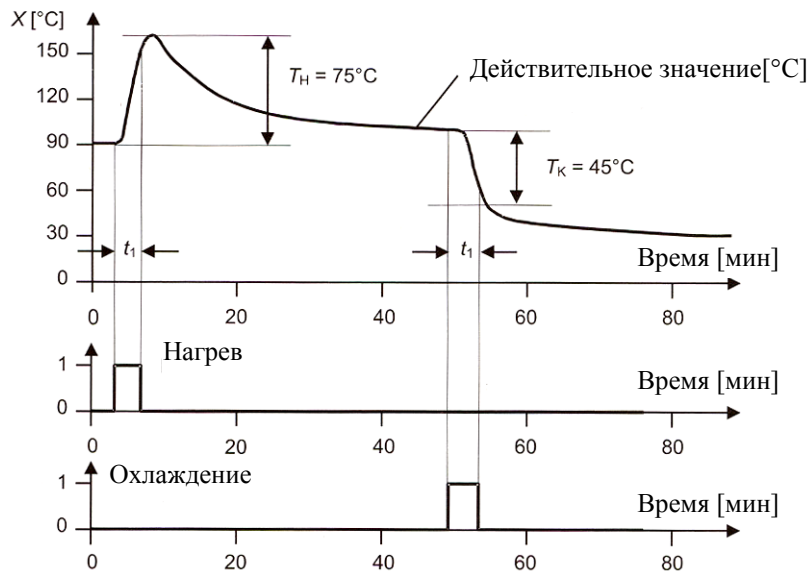


Рис.9.3 Импульсная реакция при регулировании нагрев/охлаждение

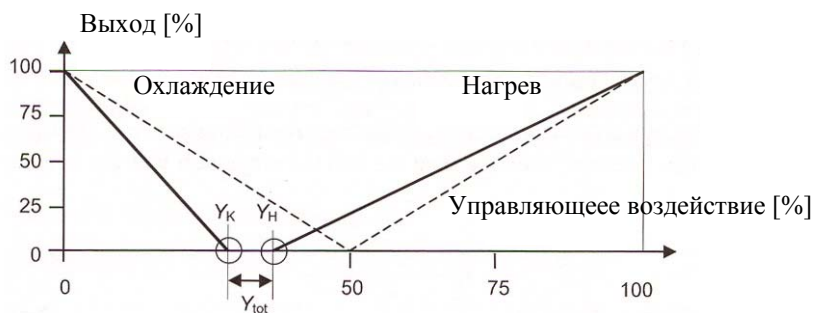


Рис. 9.4 Установление точки перегиба функции разделения границ при нагревании/охлаждении

Второй способ с помощью коэффициента `RATIO_FAC` устанавливает разную крутизну прямых, расположенных около нулевой точки (рис. 9.5).

¹ Предпосылкой для этого способа оценки является то, что при мощности нагрева 0 нет больших потерь температуры (хорошая изоляция).

Указание: При установке $RATIO_FAC$ не равным 1 следует обратить внимание, чтобы установленное конечное значение соответственно было перемножено с обратным значением $RATIO_FAC$ (например, с конечным значением 2,0 при $RATIO_FAC=0,5$, как показано на рис. 9.5). Иначе область значений для охлаждения будет использоваться не полностью.

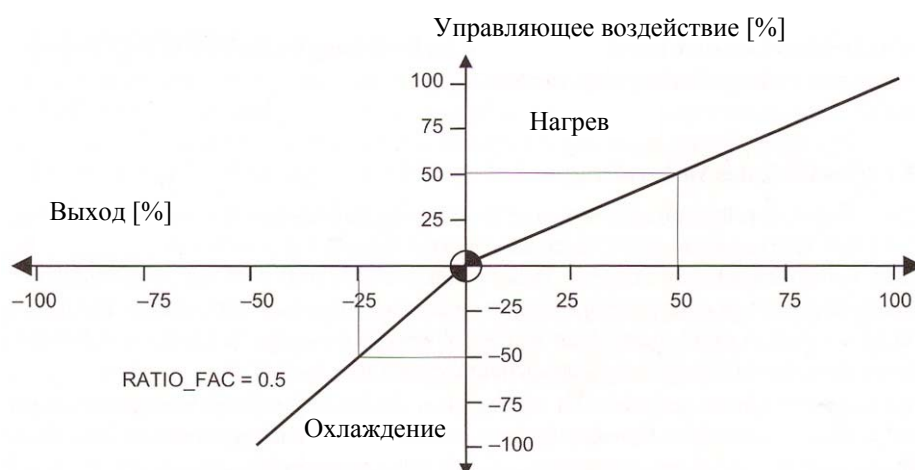


Рис. 9.5 Установка функции разделения границ нагрева/охлаждение для $RATIO_FAC$

9.1.6 Установки каскадных регуляторов

При вводе в действие каскадных регуляторов сначала включается ведущий регулятор в ручной режим, и подчиненный регулятор настраивается до работоспособности в следящем режиме. В заключение и ведущий регулятор точно так же устанавливается в автоматический режим и оптимизируется.

Указание: Ведущий регулятор всегда должен настраиваться как более медленный, чем ведомый регулятор.

9.2 Регистрация переходной характеристики процесса

Важнейшим инструментом при вводе в действие регулирующего контура является регистрация переходной характеристики процесса. Этот первый тест при установке регулятора дает опытному настройщику много информации, которой иногда уже достаточно, чтобы выполнить достаточную настройку регулятора.

Сначала немного теории

Переходная характеристика участка есть реакция процесса на скачкообразное изменение управляющего воздействия в разомкнутом регулирующем контуре. Эта реакция формируется из суммы всех имеющихся в участке как динамических звеньев (пауз, задержек и времени интегрирования), так и всех коэффициентов передачи. Как уже показано, задание 20%-ого управляющего воздействия еще не говорит о 20%-ном выходе действительного значения. Во временной характеристике участка проявляются разбалансы и факторы, играющие существенную роль при вводе регулятора в действие.

Для методики регистрации переходной характеристики важно, чтобы начинать со стабильного успокоившегося состояния и после подключения скачка дожидаться снова как можно более стабильного успокоившегося состояния. Как уже многократно указывалось, однозначная классификация всех имеющихся в применении регулирующих участков едва ли возможна. Из этих соображений также невозможно установить общий вид процесса при вводе в действие регуляторов. Идентификация участка термического режима печи в производстве стали требует наверняка другого подхода, нежели регистрация импульсной реакции регулирования уровня в очистительном устройстве пекарни.

Существуют различные типы объектов регулирования, которые следует различно и обслуживать. Регистрация переходной характеристики дает пользователю не только информацию, о каком типе участка идет речь, но из них пользователь может получить ряд констант и характеристик, которые далее будут играть важную роль при установке и настройке параметров регулирования.

9.2.1 Перечень проверок при подготовке

1. Сначала следует проверить, возможно ли вообще произвольное задание ручного управляющего воздействия. Ясность можно получить из обсуждения со службой механиков или технологами. При этом следует не только проверить, не приведет ли установка ручного управляющего воздействия в крайние положения к разрушению участка или продукта, но и выяснить, даст ли тест условия, сравнимые с позднейшими условиями производства.
2. В первую очередь должно быть обеспечено, чтобы были подготовлены и исправны все важнейшие средства техники безопасности (аварийное выключение, дымовой сигнализатор, огнетушитель и т. д.).
3. Проверить способность функционирования устройств управления и сенсоров, не приводя в действие основную энергосистему (например, работа электронных реле при подключении управляющего напряжения, но при выключенном силовом рубильнике, управление вентилем при отключенной задвижке).
4. Убедиться, что проверяемый регулятор находится в ручном режиме и ручное управляющее воздействие не изменяет текущее состояние (например, управляющее воздействие 0% означает закрытый клапан).
5. Следует непременно проверить, нет ли опасности для человека и окружающей обстановки (например, “пуст ли реактор?”, “весь ли персонал на своих местах?”, “все ли электрические средства надежны и выключены?”, “все ли необходимые предупредительные таблицы выставлены?” и т. д.).
6. Далее можно включить системы основного и вспомогательного обеспечения (воздушное питание, подвод газа и пара, горячая и холодная вода, энергосистема, задвижки, обдув, отсос, перекачивающие насосы и т. д.) при согласовании со службой механиков.
7. Выяснить, возможен один эксперимент или несколько. Например, один преднамеренный или ошибочный нагрев может на многие часы или дни отодвинуть новое получение исходных условий (например, температура в большой печи).
8. Выяснить, могут ли повлиять или взаимодействовать с проверяемым процессом другие соседние физические процессы. Если да, то должны ли эти процессы быть активиро-

ваны или же необходим регрессионный тест¹, чтобы из первого ввода, не подверженного их влиянию, обеспечить второй системно интегрированный ввод.

9. Подключить записывающее устройство к действительному значению и к управляющему воздействию или же проверить работоспособность инструмента проектирования с функцией регистрации.

По окончании этих подготовительных мероприятий можно начать установку выхода. После включения основных и вспомогательных обеспечивающих систем уже может проявиться реакция действительного значения. При определенной установке выхода в течение длительного времени не должно быть никаких изменений или же могут регистрироваться только маленькие незначительные изменения

9.2.2 Первая запись

Для записи первой переходной характеристики после активирования основных обеспечивающих систем и регистрирующих функций или самописцев следует подать постоянное ручное управляющее воздействие (например, 50%) и дожидаться, пока установится спокойное состояние процесса. Это первое изменение ручного управляющего воздействия должно быть выполнено по возможности быстрее.

Возможны следующие реакции участка (объекта) регулирования:

Участок А проявляет чисто инерционную характеристику (например, участок регулирования давления). Действительное значение достигает стабильное конечное значение. Участок В проявляет в основном замедленную характеристику с затянутым процессом установления (например, температурный участок). Действительное значение ведет себя в начале подобно участку А, но далее из-за параллельно подключенных инерционных звеньев с различными временными константами не достигает стабильного конечного состояния. Участок С есть

колебательный участок. Это может быть вызвано внутренними физическими связями с другими процессами или подчиненным PI(D)-регулятором. Например, ведущий регулятор в каскадном регулировании может рассматриваться не соответствующим характеристике участка. Участок D имеет интегрирующую характеристику (например, регулирование уровня в закрытой емкости). При постоянном управлении исполнительного звена действительное значение выйдет за пределы измерения (емкость переполнится).

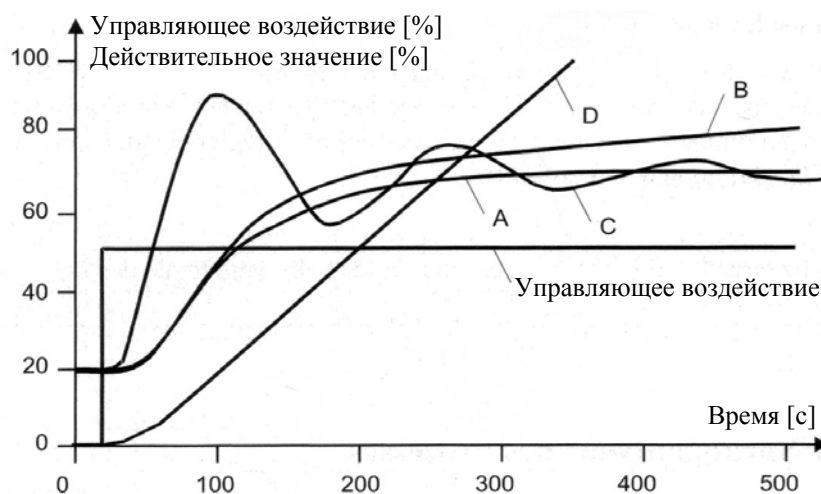


Рис 9.6 Возможные реакции участка

9.2.3 Участки (объекты) регулирования с чисто инерционной характеристикой

Скачкообразное воздействие на участок с чисто инерционной характеристикой (например, участок давления) может быть выполнено по следующему плану:

После активирования регистрирующей функции выдается постоянное значение ручного управляющего воздействия (например, 20%) и ожидается установившееся значение процесса. Затем выдается следующее постоянное значение ручного управляющего воздействия (например, 80%) и снова ожидается постоянное установившееся значение процесса. Функция регистрации останавливается, распечатывается и оценивается. Коэффициент передачи участка K_{pS} получится из отношения:

¹ Повторный тест, который в процессе системных тестов проверяет усредненное устранение ошибок

$$K_{pS} = X_e[\%] / X_a[\%] \quad (9.4)$$

X_e составляет значение скачка управляющего воздействия, а X_a – значение реакции на этот скачок (см. рис. 9.7). Время установления T_G и время задержки T_U определяются графически, как показано на рис. 9.7. При этом в точке перегиба к кривой действительного значения прикладывается касательная. Точки пересечения этой касательной со значением x_1 (старое действительное значение) и x_2 (новое действительное значение) определяют значения T_U и T_G .

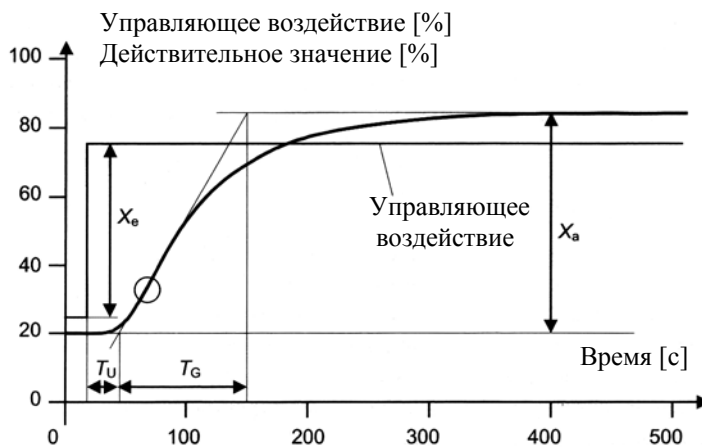


Рис.9.7 Переходная характеристика реального процесса (чисто инерционная характеристика) по Чину-Хронсу-Ресвику

Если эксперимент по рис. 9.7 будет повторен со следующими, более высокими управляющими воздействиями, то наверняка может быть найдено значение ручного управляющего воздействия, при котором действительное значение находится вблизи запланированной уставки. После этого выполняются те же шаги в обратном направлении (например, значения ручного управляющего воздействия 80%, 50%, 20% и наконец 0%). После оценки регистрации этих экспериментов (рис. 9.8) могут быть даны первые высказывания о характеристике участка.

Участок на рис. 9.8 является симметричным. Доминирующие временные константы участка одинаковы в положительном и отрицательном направлениях. Кроме того, участок линеен в широких пределах. Доминирующие временные константы участка при 20% и при 50% равны

и составляют примерно 15 секунд. Участок проявляет чисто инерционную характеристику. Исполнительное звено хорошо отрегулировано.

При подаче управляющего воздействия 50 – 80% достигается значение уставки. Таким образом, исполнительное звено имеет достаточные резервы регулирования. Изменение управляющего воздействия на 33% (от 66% до 100%) дает увеличение давления на 850 мбар (от 1650 до 2500 мбар). По отношению к конечному значению 2500 мбар это увеличение соответствует также около 33%, и поэтому по формуле 9.4 получается для K_{ps} значение около 1. Участок регулирования удобен для настройки ($T_G / T_U > 10$). Но об этом далее в главе 9.3.

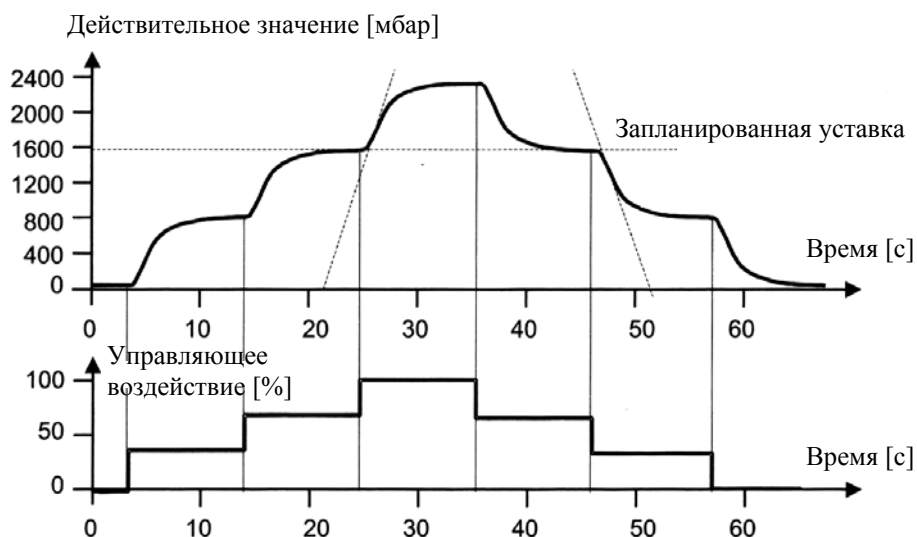


Рис. 9.8 Определение передаточных характеристик в различных рабочих точках

9.2.4 Температурные участки с активным нагревом и пассивным охлаждением

После активирования регистрирующей функции начиная с температуры окружающей среды выдается полное значение ручного управляющего воздействия 100% и ожидается, пока не проявится отчетливое изменение значения температуры процесса. Это значение должно быть примерно на 10% ниже запланированного значения уставки. Далее снова возвращаются к постоянному значению ручного управляющего воздействия 0% и ожидают, пока установится

состояние процесса. Это установление может продолжаться очень долго. Функция регистрации останавливается, распечатывается и оценивается.

На температурных участках обычно не удастся определить конечное значение переходной характеристики, и поэтому определение T_G невозможно. Вместо этого можно использовать наклон касательной в точке перегиба. Максимальный наклон S_H при положительном регулировании (нагрев) S_K при отрицательном регулировании (охлаждение) можно легко определить графически. S_H или S_K вычисляются по формуле 9.5:

$$S_K = \Delta x / \Delta t \quad (9.5)$$

Из рис. 9.9 по формуле 9.5 получается наклон для нагрева S_H :

$$S_H = (210^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) / (18 \cdot 60\text{с}) = 0,17^\circ\text{C/с}.$$

Таким же образом можно вычислить наклон и кривой охлаждения. Поведение участка по рис. 9.9 несимметрично. Доминирующая постоянная времени участка в положительном

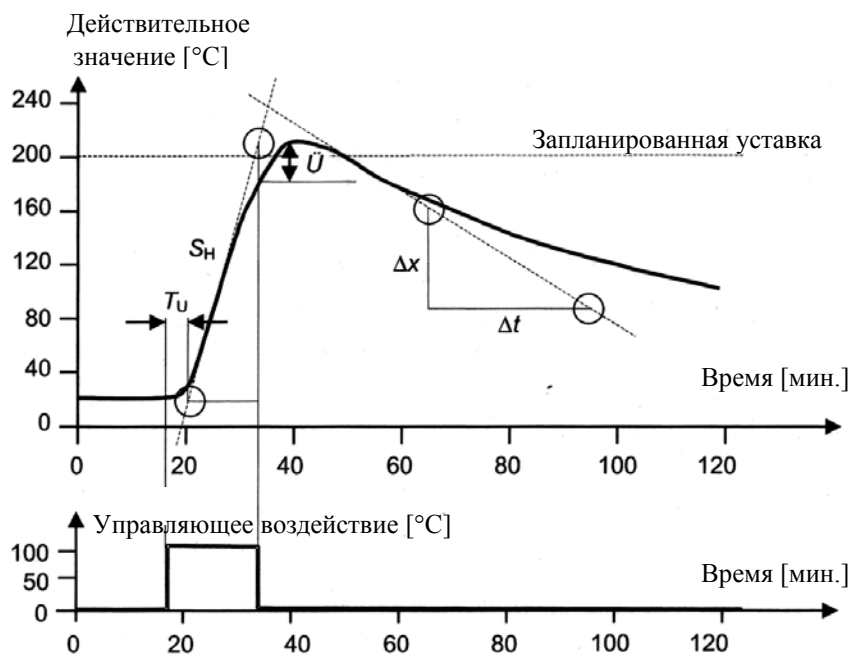


Рис. 9.9 Определение максимальной скорости подъема S_H на температурном участке

направлении (нагрев) значительно меньше, чем в отрицательном направлении. Максимальный температурный подъем S_H в установленной рабочей области составляет $0,17^\circ\text{C}/\text{с}$. S_K для охлаждения можно определить значением $0,02^\circ\text{C}/\text{с}$. Участок показывает время задержки при включении нагрева до первого реагирования сенсора около 160 секунд. Участок работает с фазой последствия после нагрева, во время которой действительное значение температуры дает выброс около 8°C . Температурный сенсор установлен сравнительно хорошо.

Отношение времени задержки ко времени регулирования (времени от начала изменения управляющего воздействия до достижения уставки), как и отношение величины перерегулирования $\ddot{U}$ при всех температурных изменениях находятся в допустимых пределах. Если бы время задержки имело порядок времени регулирования или величина перерегулирования была бы более 20% от общего изменения температуры, то участок бы был едва регулируем.

Для приблизительного определения будущей рабочей точки регулятора (значение управляющего воздействия при установившейся регулирующей разности) в термической системе процесс с помощью простой управляющей программы (действительное значение $>$ уставки $\rightarrow$ ВКЛ и действительное значение $<$ уставки $\rightarrow$ ВЫКЛ) может быть сознательно приведен к колебаниям, как показано на рис. 9.10. Регистрируется процесс переключений управляющего сигнала. Эффективное значение управляющего воздействия приблизительно соответствует будущей рабочей точке регулятора. Это значение потребуется, если переключаемая регулирующая структура (см. главу 7.7) будет предшествовать I-звену. Для запланированной уставки 190°C получается – согласно эксперименту с колебаниями – эффективное значение около 30% управляющего сигнала, т. е. и рабочая точка регулятора будет составлять около 30%.

Указание: Подождите несколько периодов колебаний. Из-за термических процессов выравнивания (например, машины относительно изоляции, изоляции относительно окружающей среды и т. д.) эффективность будет медленно снижаться в течение этого эксперимента. При прерывистых процессах (загрузочных процессах) следует переждать первые два периода и оценить значение по третьему периоду. При непрерывных

процессах следует переждать дольше и оценивать эффективное значение по последним периодам.

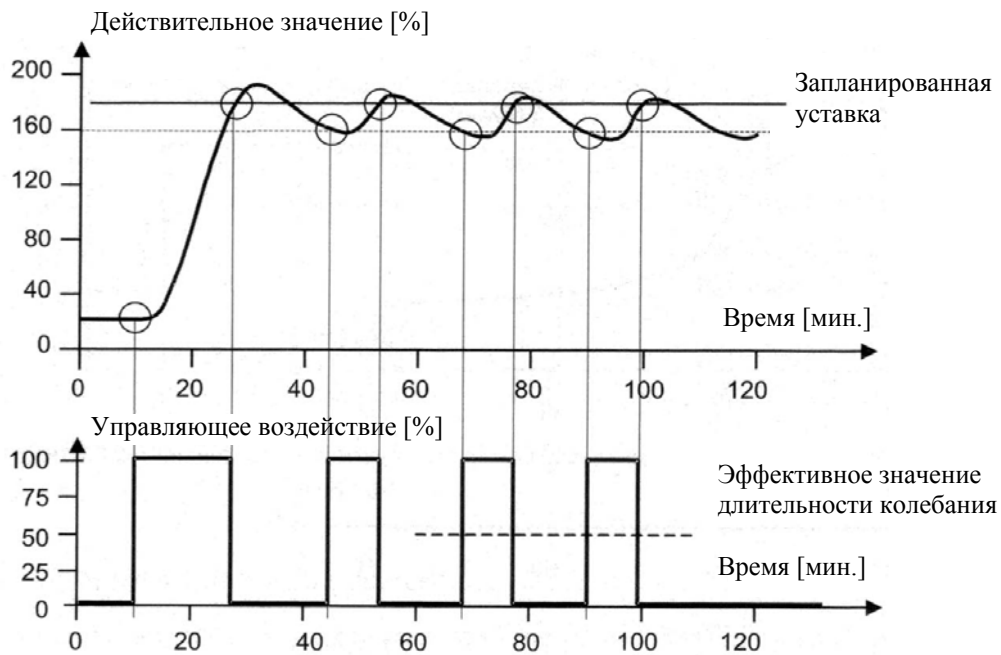


Рис. 9.10 Определение рабочей точки релейного управляющего звена Simatic

9.2.5 Температурные участки с активным нагреванием и активным охлаждением

После активирования регистрирующей функции подается, начиная при температуре окружающей среды, ручное значение управляющего воздействия 100% на выход нагрева и ожидается, пока не установится значение температуры процесса, лежащее примерно на 10% ниже запланированного значения уставки. Затем сразу же устанавливается опять постоянное значение ручного управляющего воздействия 0% на выход нагрева и ожидается, пока установится максимальная отрицательная крутизна охлаждения. Тогда подается полное ручное значение управляющего воздействия 100% на выход охлаждения и ожидается, пока установится максимальная отрицательная крутизна. После этого сразу же устанавливается опять постоянное значение ручного управляющего воздействия 0% на выход нагрева.

Функция регистрации останавливается, распечатывается и оценивается. Для процесса нагрева и пассивного охлаждения на рис. 9.11 имеет место то же что и описано в главе 9.2.4.

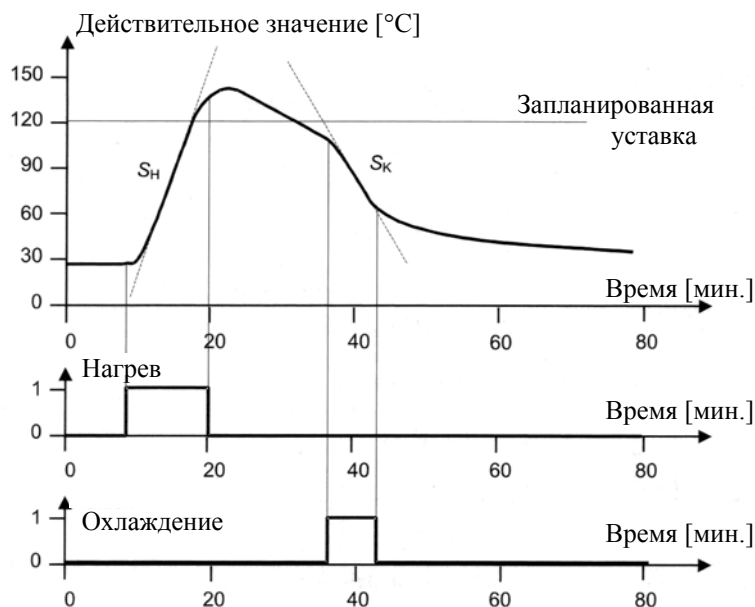


Рис 9.11 Переходные характеристики участка регулирования с активным нагревом и активным охлаждением

Активное охлаждение имеет несколько меньшую максимальную крутизну, чем нагревание. Во всяком случае равенство не наблюдается в рабочей точке запланированной уставки. Опыт должен быть повторен и активное охлаждение еще раз проверено вблизи рабочей точки уставки, чтобы можно было вынести окончательное суждение. На основе полученных максимальных значений крутизны для нагрева и охлаждения Вы сможете - после настроенного регулирования в соответствии с главой 9.1.5 - установить переломную точку (разделение 100%-ного управляющего сигнала регулятора на 100%-выходной сигнал для нагрева и 100%-ный сигнал для охлаждения).

9.3 Настроечное регулирование – выбор, границы и оценка

При настройке регулятора различают оптимизацию для характеристики возмущения и оптимизацию для характеристики управления процессом. Настройщик должен выяснить или

решить, какие требования поставлены для регулятора и соответственно его оптимизировать. Регулятор, оптимизированный на “характеристику управления”, по возможности быстро отрабатывает изменения уставки. Регулятор, оптимизированный на “характеристику возмущения”, по возможности быстро нейтрализует возмущение, действующее на действительное значение.

Характеристика управления, показанная на рис. 9.12 слева, определяется реакцией участка регулирования на изменение уставки. Характеристика возмущения, показанная на рис.9.12 справа, определяется реакцией участка на определенное возмущающее воздействие на регулятор (в автоматическом режиме).

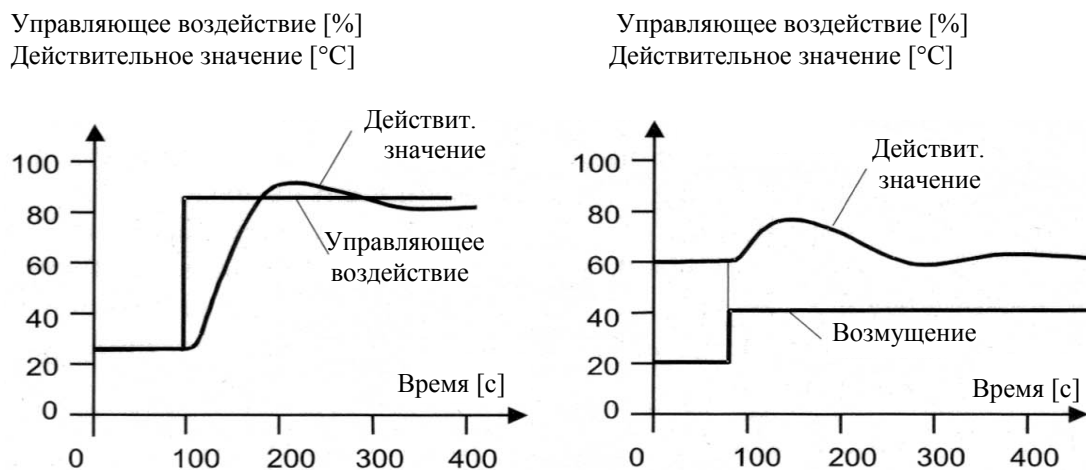


Рис. 9.12 Пример характеристики управления (слева) и характеристики помехи (справа)

В зависимости от того, какой характеристике настройщик придает большее значение, и должны быть установлены параметры регулятора. Если для пользователя установки важна скорейшая отработка установки, то регулятор должен быть оптимизирован на характеристику управления. Если для пользователя установки важно по возможности скорейшее сглаживание отклонений регулирования в процессе работы, то регулятор должен быть оптимизирован относительно характеристики возмущения. На практике клиент всегда желает того и другого, и настройщику остается самому находить компромисс или же устанавливать параметрируемое управление.

Регулируемость участка регулирования

Каждый процесс, подлежащий регулированию, состоит из ряда накопителей энергии со своими временными характеристиками. Чем больше таких накопителей энергии находится в контуре, тем труднее регулировать процесс. Регулируемость участка можно ориентировочно оценить на основе переходной характеристики. Если устанавливают, что система очень долго не реагирует на воздействие или одно и то же воздействие приводит к различным реакциям участка, то надо рассчитывать на трудности при установлении параметров регулирования. Контуров высокого порядка, имеющие паузы или нелинейные или зависящие от времени участки, не могут быть оптимально отлажены на основе одноконтурных регуляторов без специальных структурных мер. В этом случае следует попытаться найти причины и исследовать их с помощью измерительной техники. В главе 2 показаны возможные способы справиться с такими случаями или, по крайней мере, как уменьшить их влияние. При использовании одноконтурных регуляторов соотношение T_G/T_U является показателем того, какая ситуация имеет место (смотри таблицу 9.3). Если отношение T_G/T_U меньше 3, то могут быть оправданы поиски устранимых задержек в контуре. Такие устранимые задержки, наряду с действительными задержками процесса, могут быть вызваны неправильно или несоразмерно установленными сенсорами или неправильно установленными исполнительными звеньями.

Таблица 9.3 Определение регулируемости участка по отношению T_G/T_U

$T_G/T_U \geq 10$	$5 < T_G/T_U < 10$	$T_G/T_U < 5$
хорошо регулируем	умеренно регулируем	плохо регулируем

Указание: Следующие правила регулирования годятся только для линейных и симметричных систем. Если перед Вами такая система, то найденные значения используйте только как исходный пункт для дальнейшей оптимизации. Найденные значения в такой схеме еще не гарантируют оптимум реального участка в производственных ситуациях.

9.3.1 Установка интервала считывания при программном регулировании

Если регулирование установить с очень большими интервалами считывания, то это может привести к очень плохим результатам регулирования, и уменьшение интервалов считывания в этом случае может дать заметное улучшение динамики регулирования. Все же нет линейной зависимости между интервалом считывания и качеством регулирования. Начиная с определенной скорости считывания при регулировании дальнейшее уменьшение интервала считывания уже не дает улучшения качества регулирования. Установка слишком малого интервала считывания вызывает только затраты производительности процессора без видимого улучшения регулирования.

На практике настройщик иногда встречается с проблемой нехватки производительности процессора и должен попытаться оптимизировать во времени всю управляющую программу. Для таких случаев в таблице 9.4 даны различные формулы. Существуют группы значений, которые пригодны на практике, но за пределы которых в конкретном случае можно выйти. В этом случае следует еще раз проверить работающее регулирование изменением уставки или включением возмущения, не приведет ли это при увеличенных регулирующих разностях к искажениям временных характеристик регулятора. Интервалы считывания для каскадов импульсных формирователей можно найти в таблице 8.1 в главе 8.2.2.

Участок регулирования	CYCLE минимум	CYCLE максимум
Температурный участок, давление	$0,005 \cdot T_G$	$0,1 \cdot T_G^1$
Участок с интегральной характеристикой (уровень, положение)	$0,2 \cdot (T_G + T_I)$	$0,1 \cdot T_I$
Автономные колебательные участки	$0,005 \cdot T_G$	$0,1 \cdot T_G$
Сильно запаздывающие участки	$0,005 \cdot T_G$	$0,1 \cdot T_G$

¹ В случае, если для температурного участка выбран большой интервал считывания, он должен быть по крайней мере меньше, чем время задержки процесса T_U и постоянные времени регулирования T_I и T_D

Указание: При изменениях интервалов считывания в управляющих программах следует обращать внимание на то, что изменяться должны не только уровни прерывания, но и подчиненные им значения считывания параметров передачи отдельных модулей (CYCLE, SAMPLE_T и т. д.). Иначе временные характеристики модулей будут искажены.

В PCS7, начиная с версии 5, выполняется автоматически (с помощью Wizzard) выравнивание устанавливаемого времени для соответствующего уровня процесса и для устанавливаемого в модуль интервала считывания SAMPLE_T.

9.3.2 Установка по Чен/Хроунз/Ресвику

Установки по Чен/Хроунз/Ресвику различаются по оптимизации характеристики возмущения и оптимизации характеристики управления. Также в технической литературе встречается еще разделение между аperiodическими характеристиками регулирования и характеристиками регулирования с 20%-ным перерегулированием, как показано в таблице 9.5. Для определения значений T_G и T_U смотри главу 9.2.3.

Таблица 9.5

Установочные значения по Чен/Хроунз/Ресвику для аperiodических характеристик регулирования и для характеристик регулирования с 20%-ным перерегулированием

Тип регулятора		Апериодическая характеристика регулирования	Характеристика регулирования с 20%-ным перерегулированием		
		Характеристика возмущения	Характеристика управления	Характеристика возмущения	Характеристика управления
P-регулятор	P	$(0,3 \cdot T_G)/T_U$	$(0,3 \cdot T_G)/T_U$	$(0,7 \cdot T_G)/T_U$	$(0,7 \cdot T_G)/T_U$
PI-регулятор	P	$(0,6 \cdot T_G)/T_U$	$(0,35 \cdot T_G)/T_U$	$(0,7 \cdot T_G)/T_U$	$(0,6 \cdot T_G)/T_U$
	I	$4 \cdot T_U$	$2 \cdot T_G$	$2,3 \cdot T_U$	T_G
PID-регулятор	P	$(0,95 \cdot T_G)/T_U$	$(0,6 \cdot T_G)/T_U$	$(1,2 \cdot T_G)/T_U$	$(0,95 \cdot T_G)/T_U$
	I	$2,4 \cdot T_U$	T_G	$2,0 \cdot T_U$	$1,35 \cdot T_G$
	D	$0,42 \cdot T_U$	$0,5 \cdot T_U$	$0,42 \cdot T_U$	$0,47 \cdot T_U$

Инструмент параметрирования и ввода в эксплуатацию SIEPID S7 использует эти формулы в своем встроенном алгоритме установки¹ в слегка модифицированном виде по так называемому “оптимума ввода”. Программа вычисляет переходную характеристику с помощью специальной платы и наблюдает при этом все действия. По окончании переходной характеристики может быть выдана оценка. При этом программа попытается найденную реакцию участка аппроксимировать РТn-моделью высокого порядка. С такой математической эквивалентной моделью затем будет создан проект регулятора для выше стоящего регулятора. Нелинейности и несимметрии при этом не будут отмечены.

Этот способ легко применим. При чисто РТn-контуре он дает оптимальные результаты для регулятора и поэтому хорошо подходит для регулирования давления и положения. Он не очень хорошо подходит для участков температурного регулирования, для участков с I-звеньями, для несимметричных участков и для участков, на которых при постоянном воздействии могут возникать повреждения механизмов или продукции. Определение параметров возможно только в режиме offline (т. е. автономно, не включаясь в общую систему), но ряд экспериментов возможен в ручном режиме или автоматическом. На температурных участках с чистым Р-регулятором оптимизация SIEPID S7 должна выполняться в автоматическом режиме.

9.3.3 Настроечное регулирование участков с запаздыванием по Циглеру-Николсу

Настроечное регулирование по Циглеру-Николсу (см. таблицу 9.6) для участков невысокого порядка (например, РТ1 T_t) с большими запаздываниями дает первую основную установку регулятора, на основе которой далее эмпирически выполняется полная настройка. Вычисление значений T_G и Kp_S описано в главе 9.2.3. Определение значения T_t выполняется или измерением с помощью секундомера, или по методике вычисления T_U из главы 9.2.3. Этот способ настроечного регулирования легко применим. Он не очень хорошо подходит для температурных участков, для участков с I-звеньями, для несимметричных участков и для участков, в которых постоянное воздействие может вызвать разрушение механизма или продукции. Определение параметров возможно только в ручном режиме по методу offline.

¹ SIEPID S7 не является собственным продуктом, но он является частью программы оптимизации инструмента параметрирования в Standard PID Control, Modular PID Control и FM355/FM455.

Таблица 9.6

Настроечные значения по Циглер-Николсу для участков с большим временем задержки

Тип регулятора	GAIN	TN	TV
P-регулятор	$T_G/(Kp_S \cdot T_D)$		
PI-регулятор	$0,9 \cdot T_G/(Kp_S \cdot T_D)$	$3,3 \cdot T_t$	
PID-регулятор	$T_G/(Kp_S \cdot T_D)$	$2 \cdot T_t$	$0,5 \cdot T_t$

9.3.4 Настроечное регулирование по скорости нарастания

Для медленных температурных участков может быть принята “агрессивная” настройка по таблице 9.7 в соответствии с [8]. Определение значений S_H и T_U выполняется, как описано в главе 9.2.4. Этот способ настройки легко выполним. Установочные значения этого способа дают лучшие результаты регулирования на температурных участках, чем настроечное регулирование по Чен/Хроунз/Ресвику, и обеспечивают хорошие характеристики управления. Во многих случаях после начальной настройки регулятор склонен к колебаниям. Этот способ не годится при наличии I-звеньев в контуре.

Таблица 9.7 Настроечные значения по скорости нарастания

Тип регулятора	GAIN	TN	TV
P-регулятор	$100/(S_H \cdot T_U)$		
PI-регулятор	$83/(S_H \cdot T_U)$	$4 \cdot T_U$ [с]	
PD-регулятор	$120/(S_H \cdot T_U)$		$0,2 \cdot T_U$ [с]
PID-регулятор	$220/(S_H \cdot T_U)$	$3 \cdot T_t$ [с]	$0,2 \cdot T_U$ [с]

Пример

На сушильной установке синтетического гранулата должна регулироваться температура подводимого осушающего воздуха. Воздух нагревается мощным электронагревателем. Охлаждение не предусмотрено. Электронагрев управляется электронным реле. Для него применен непрерывный регулятор с импульсным выходным сигналом, модулированным по ширине импульса. Переходная характеристика показана на рис. 9.13, а параметры регулирования определены по методу скорости нарастания. На рис. 9.14 показаны результаты регулирования при такой настройке.

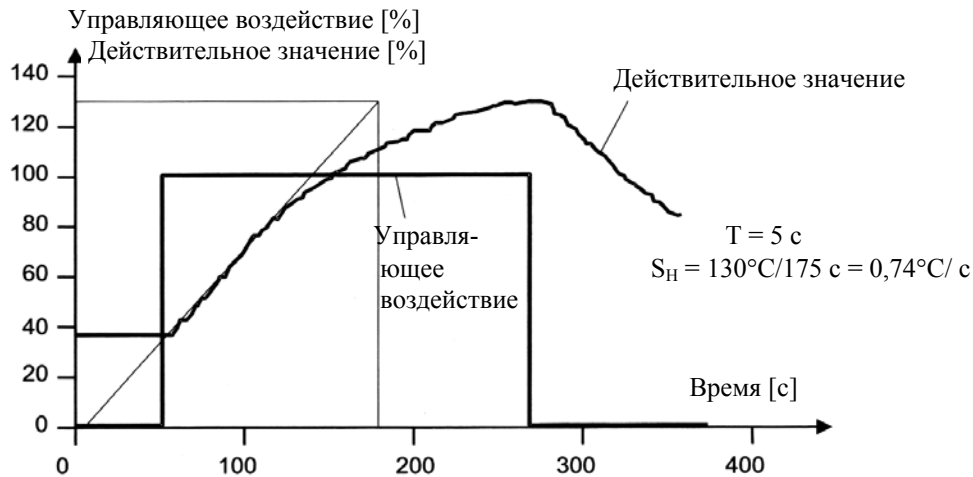


Рис. 9.13 Переходная характеристика сушильной установки для синтетического гранулата

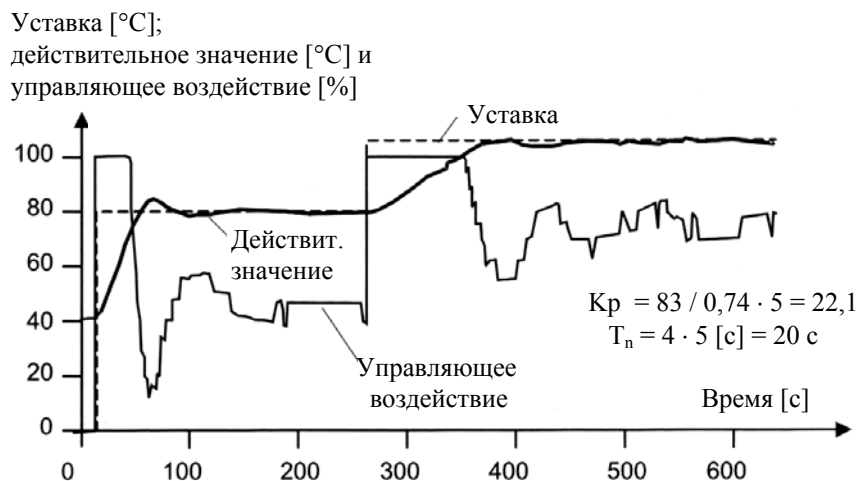


Рис. 9.14 Результат регулирования сушильной установки с PI-регулятором, который настроен по методу скорости нарастания.

9.3.5 Настроечное регулирование для последующей оптимизации

Если пользователь не будет окончательно удовлетворен параметрами регулирования, полученными по методикам глав 9.3.2 и 9.3.3, то их можно вручную дополнительно оптимизировать:

В случае 1 на рис.9.15 действительное значение приближается к уставке очень медленно (слишком медленно). Возможной причиной может быть очень маленькое значение GAIN и/или очень большое значение TN. Сначала следует увеличить значение GAIN (усиление) и, если это даст улучшение, можно затем уменьшить значение TN (постоянная времени интегрирования). Далее опять увеличить GAIN, затем уменьшить TN, пока не будут получены приемлемые результаты регулирования.

В случае 2 действительное значение приближается к уставке несколько медленно. При этом наблюдаются волнообразный процесс действительного значения. Возможной причиной может быть очень маленькое значение GAIN и/или очень большое значение TV. Сначала следует увеличить значение GAIN и, если это даст улучшение, можно затем уменьшить значение TV. Это должно повторяться до тех пор, пока не будут получены приемлемые результаты регулирования.

В случае 3 действительное значение приближается к уставке осторожно, без существенного перерегулирования. Это оптимальная характеристика управления регулированием для процессов, которые не допускают перерегулирования. Эта характеристика отличается только отсутствием перерегулирования, но при регулировании не проявляет очень хорошей динамики.

В противоположность этому в случае 4 на рис. 9.15 действительное значение быстро приближается к уставке и немного переходит ее. Это оптимальная характеристика управления регулированием для процессов, которые требуют быстрой отработки или оптимальной характеристики для возмущений.

В случае 5 на рис.9.15 действительное значение очень быстро приближается к уставке и очень далеко переходит ее. В дальнейшем ходе действительного значения отчетливо различаются уменьшающиеся периодические колебания. Регулятор еще можно считать стабильным, но для оптимальной характеристики регулятора он настроен слишком агрессивно. Следует сначала уменьшить значение GAIN и, если это даст улучшение, то далее можно увеличить значение TN. Такие операции повторяются поочередно, пока не будут получены приемлемые результаты регулирования.

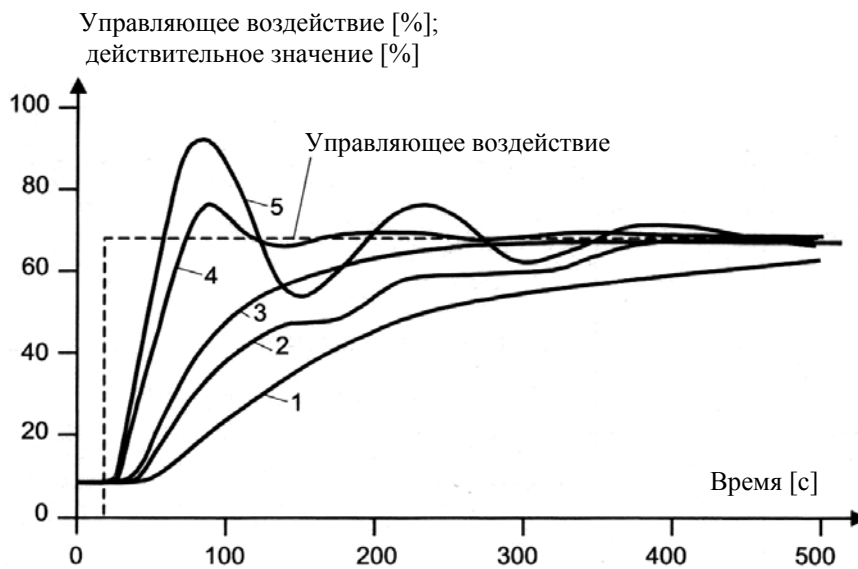


Рис. 9.15 Различные реализации действительного значения при различных настройках регулятора

При внимательном рассмотрении всех приведенных выше настроек параметров регулирования обращает на себя внимание тот факт, что соотношение TN и TV в PID-регуляторах остается довольно постоянным.

Указание: Сначала проверьте, требуется ли замена хорошей PI-характеристики на PID-характеристику. Регулирующие контуры часто из-за PID-характеристики становятся беспокойными и нагружают исполнительное звено без заметного улучшения качества регулирования.

Если все же требуется D-звено, то начинайте сначала с оптимальной регулирующей характеристики с параметрами PI-регулятора, а затем пересчитайте новые PID-параметры по таблице 9.8.

Таблица 9.8 Таблица пересчета PI-установок в PID-установки

Настройка	GAIN	TN	TV
Колебательный метод по Циглеру/Николсу	$1,4 \cdot GAIN_{PI}$	$0,6 \cdot TN_{PI}$	$0,14 \cdot TN_{PI}$
Настроечная регулировка по скорости нарастания	$2,6 \cdot GAIN_{PI}$	$0,5 \cdot TN_{PI}$	$0,10 \cdot TN_{PI}$

9.4 Ввод в действие с помощью автонастройщика PID Self-Tuner

С помощью дополнительных функциональных модулей управления (например, TUN_ES для шагового регулятора или TUN_EC для непрерывного регулятора) PID-регулятор может быть расширен до самонастраивающегося регулятора. Рис. 9.16 показывает, как может быть подключен функциональный блок настройки.

Подсказка: Непременно обращайтесь внимание на включаемые в поставку подготовленные примеры, которые Вы можете использовать как основу для Ваших собственных применений.

Автонастройщику нужны значения процесса: уставка, действительное значение и управляющее воздействие регулятора, на основе которых он вычисляет параметры GAIN, TN, TV. Для получения нового набора параметров автонастройщик PID Self-Tuner осуществляет систематическую обучающую стратегию в несколько фаз (см. рис. 9.17).

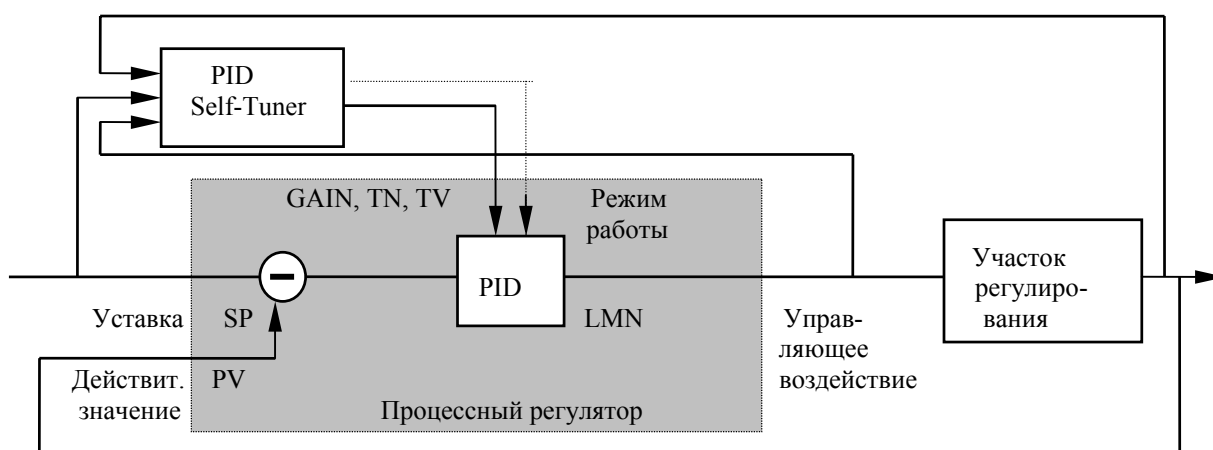


Рис.9.16 Мнемосхема самонастраивающегося PID-регулятора на основе PID Self-Tuner

Исходным пунктом всегда является стационарное состояние, т. е. или ручной режим с постоянным управляющим воздействием, или автоматический режим в установившемся состоянии. При вводе в действие регулятор обычно с холодными механизмами ставится в ручной режим с нулевым управляющим воздействием. Фаза 2 начинается пользователем путем задания скачка уставки в положительном направлении при установленном бите адап-

тации (настройки) ADAPT_ON. На это автонастройщик реагирует выдачей параметрированного значения ручного управляющего воздействия (LHLM_TUN). Автонастройщик наблюдает действительное значение и ищет точку перегиба, т. е. момент, когда переходная характеристика достигает максимальной крутизны. Точка перегиба может быть найдена только в интервале от 25% до 70% величины скачка. С получением этого результата заканчивается фаза 2 и автоматически начинается фаза 3.

В фазе 3 автонастройщик переключает регулятор в автоматический режим и устанавливает параметры так, что тот работает как осторожный PID-регулятор. Автонастройщик ждет, пока регулятор достигнет стационарного состояния относительно уставки или же пользователь решит, что стационарное состояние приблизительно достигнуто. При достижении этого состояния может быть вычислен коэффициент передачи процесса. Автонастройщик формирует новый, улучшенный проект регулятора, передает регулятору вычисленные значения параметров и автоматически переходит в фазу 4. Этим фаза 3 заканчивается, и начинается фаза 4. В фазе 4 выполняется работа с параметрами, оптимизированными автонастройщиком.

Проект регулятора рассчитан на хорошую переходную характеристику по возмущению. Таким образом точно настроенные PID-регуляторы склонны, особенно при регулировании температуры, к перерегулированию около 10-20% от высоты скачка при изменениях уставки. Автонастройщик располагает и дополнительными возможностями управления :

Зона регулирования (иногда называют зонное регулирование): Только внутри зоны регулятор активен. За пределами этой зоны автонастройщик управляет регулятором с максимальным или минимальным управляющим воздействием в ручном режиме. Ширина зоны регулирования вычисляется автонастройщиком автоматически. Такие меры используются при типичных температурных участках, где время установления велико по сравнению со временем запаздывания.

Разложение структуры: При этом в цепь обратной связи добавляется Р-звено или D-звено. В этом случае изменение уставки действует только на I-звено регулятора и не появляется скачка управляющего воздействия.

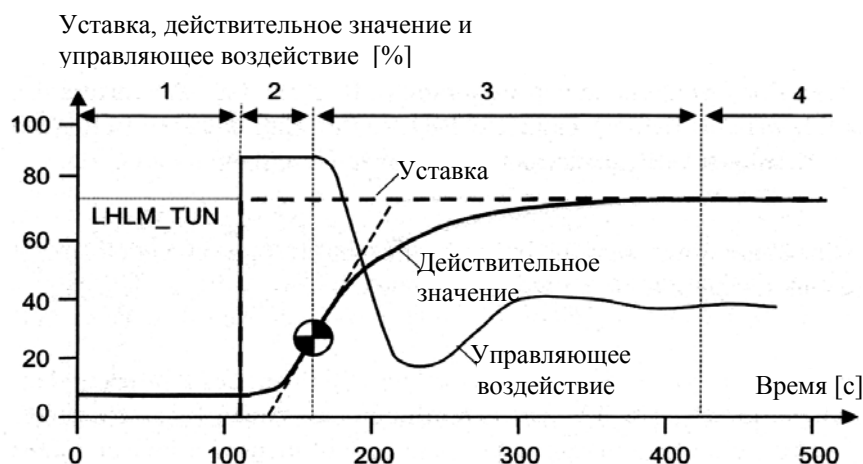


Рис. 9.17 Пофазные шаги настройки с PID Self-Tuner

Переключение структуры: Временное отключение I-звена или упреждающее задание управляющего воздействия при большом положительном скачке уставки. Требуется только в том случае, если невозможно разложение структуры, а зона регулирования не обеспечивается.

Указание:

1. Если точка перегиба не находится в области поиска автонастройщика, то это покажет бит диагноза STATUS_H. Тогда целесообразно еще раз повторить попытку с ADAPT_ON, причем автонастройщик по результатам первой попытки вычислит управляющее воздействие для фазы 2, с помощью которого во второй попытке будет найдена точка перегиба. Если при этом измененном значении управляющего воздействия цель не будет достигнута, то следует снова инициализировать автонастройщик с помощью ADAPT_IST, чтобы он в фазе 2 снова заработал с управляющим воздействием LHLM_TUN.
2. На участках регулирования с большой постоянной времени целесообразно оптимизацию производить так, чтобы после нее регулятор находился в рабочей точке.

9.5 PCS 7-PID-Tuner

Для систем управления процессами PCS 7 с версии 5.1 с программным инструментом “PID-Tuner” в режиме online (т. е. с полным подключением) возможна оптимизация программных регуляторов CTRL_PID и CTRL_S. Этот инструмент идентифицирует параметры участка регулирования, из которых далее вычисляет установочные значения для PID-регулятора и по желанию сразу же может их передать.

Эта удобная для пользователя оптимизация основана на методике оптимизации SIEPID [11], уже проверенной в Teleperm M, и доработанной специально для участков температурного регулирования с большим временем установления (по сравнению со временем задержки).

При использовании PID-Tuner следует учитывать, что происходит в аналоговых процессах при снятии характеристик. Предполагается, что процесс находится вблизи рабочей точки и допустимо скачкообразное изменение управляющего воздействия (при оптимизации в ручном режиме) или скачкообразное изменение уставки (при оптимизации в автоматическом режиме). Для оценки процесса достаточно знать, идет ли речь об участке с устанавливающимся состоянием или без него.

Регулятор включается в программном режиме PCS 7 OS с лицевой панели CTRL_PID (см. рис. 9.18) или CTRL_S или же инструментом CFC в режиме online через вход модуля OPTI_EN:=enable в рабочий режим оптимизации. После этого маркированием соответствующих модулей CFC и выбором пунктов меню оптимизации регулятора (см. рис. 9.19) можно начать процесс настройки.

Он выполняется в стационарном состоянии, причем сначала задается, идет речь о процессе с интегральной характеристикой или же без нее. На 2 шаге выбирается режим работы – ручной или автоматический. При этом следует учитывать, что участок без устанавливающегося состояния можно оптимизировать только в автоматическом режиме при изменении уставки. Для изменяемых величин управляющего воздействия и уставки должны задаваться исходные значения и новые значения скачка. При достижении процессной величиной (действительным

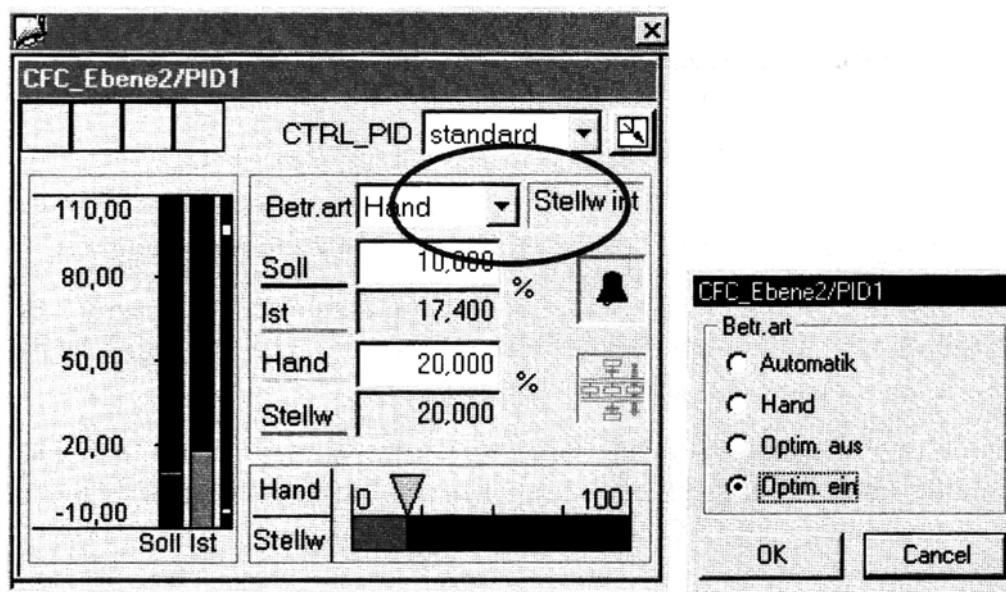


Рис. 9.18 Режимы работы оптимизации на лицевых панелях

значением) колебательного состояния как реакции на скачок может быть прервана запись измеряемых значений.

На основе такого процесса следует решить, следует ли далее вернуться к выбранным до процедуры значениям управляющих величин или же сохранить получившееся состояние. Для выбора имеются два различных варианта регулятора:

- оптимальная характеристика по отношению к возмущениям при точной настройке регулятора с малыми перерегулированиями при скачке уставки или
- оптимальная, без перерегулирования, характеристика управления при несколько мягком построении.

В соответствии с выбором оператора инструмент вычисляет параметры для P-, PI- или PID-регулятора. На панели по рис. 9.20 оператору даются значения участка и параметры для этих трех типов регулятора.

После выбора желаемого типа регулятора пользователь теперь имеет возможность загрузить новые оптимальные параметры регулятора online в AS, а при отключении инструмента – на offline (автономное) сохранение данных в CFC.

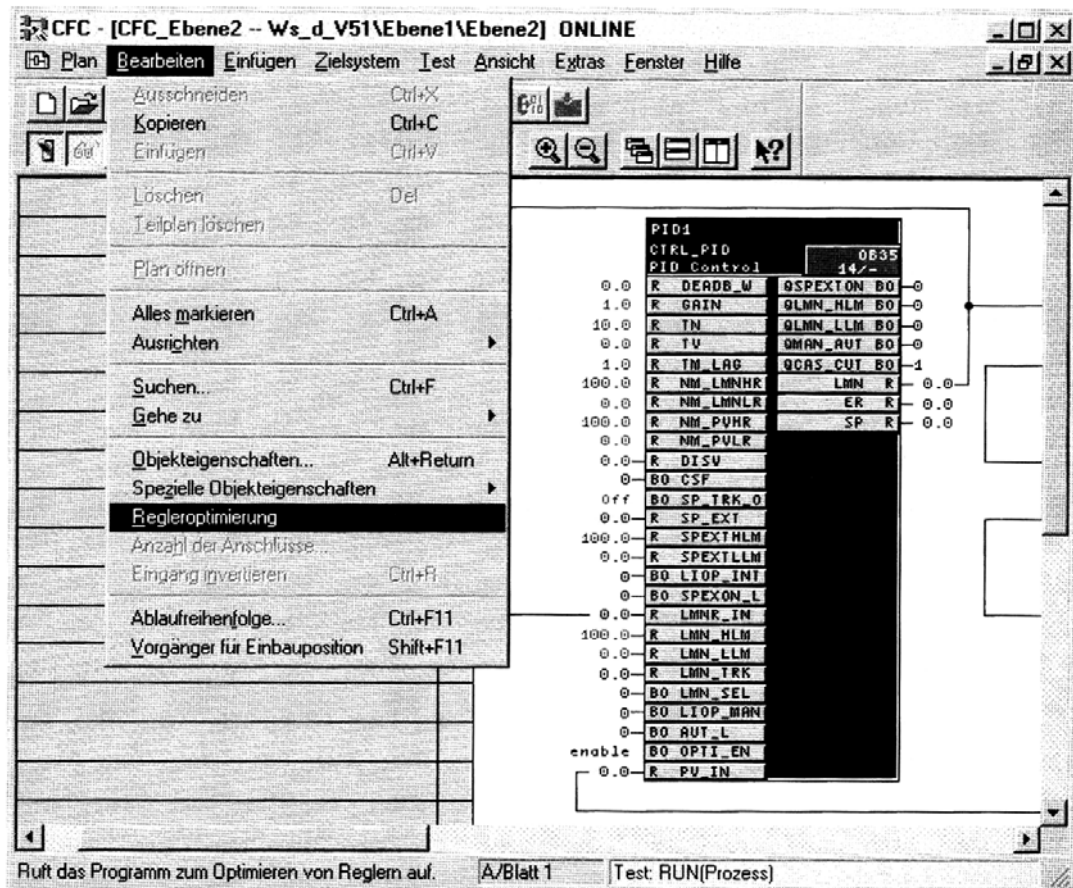


Рис. 9.19 Режимы оптимизации с помощью CFC

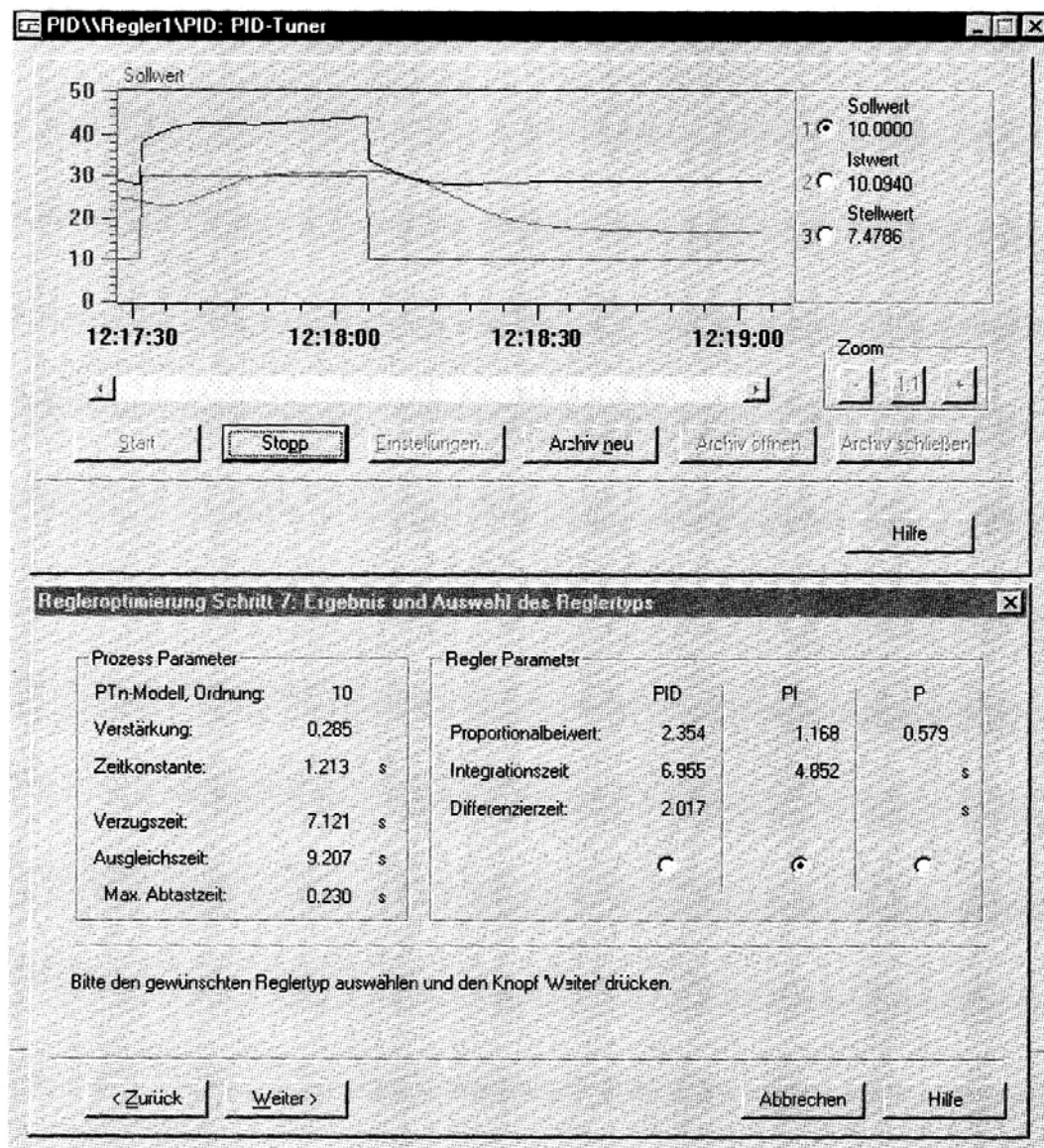


Рис. 9.20 Вычисленные параметры участка и регулятора

10 Примеры

Из соображений актуальности в Интернет предлагаются примеры к этой книге, готовые к загрузке. Фирма Сименс регулярно заботится об обновлении данных. Этим обеспечивается, чтобы читатель всегда мог быть информирован об актуальных программных продуктах и проектах STEP7.

Интернет - адрес (URL): http://www.siemens.com/automation/csi/shop_supto

По этому символическому Интернет - адресу пользователь попадает на сайт Интернета, с которого он может выбрать ряд примеров применения. Там среди прочего находится ссылка на заглавие настоящей книги “Regeln mit SIMATIC”, под которым также приведены примеры.

Все примеры из техники регулирования даны, как правило, в двух пригодных к загрузке пакетах данных:

- Актуальные описания, указания по инсталляции, последние редакционные замечания, системные предложения и самостоятельные репрезентации к соответствующим примерам подготовлены к бесплатной загрузке, готовы к непосредственному считыванию или даны как самораспаковывающиеся файлы (EXE-файлы).
- Полные проекты STEP7¹ с соответствующим программным обеспечением могут быть загружены при условии оплаты. Расчеты выполняются по SIMATIC Card. Количество необходимых единиц и стоимость этих загрузок могут быть взяты с соответствующих Интернет-сайтов.

Указание. Обращаем внимание на то, что автоматически считываемые файлы и уплотненные проекты STEP7 содержат большой объем данных, и поэтому их загрузка из Интернет или Интранет может занять много времени - в зависимости от имеющейся аппаратуры. Сведения о количестве загружаемых данных приведены на соответствующих сайтах Интернет.

¹ Стандартные функциональные элементы (например, Standard PID Control) опционного пакета вложены в прикладные пакеты STEP7 как пустые оболочки и после загрузки оплаченными элементами должны быть переписаны.

Список литературы

- [1] J.Gißler,M.Schmidt: Vom Prozess zur Regelung. Analyse, Entwurf, Realisierung in der Praxis. Siemens AG, 1990
- [2] Projektierungshandbuch zu SIPART DR20. Siemens AG, 1988
- [3] Regler SIPART DR24. Siemens AG, 1989
- [4] K.F. Früh (Hrsg.): Handbuch der Prozeßautomatisierung. Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen. Oldenbourg Verlag, 1997
- [5] G.Strohmam: Automatisierungstechnik - Band I. Grundlagen, analoge und digitale Prozessleittechnik. Oldenbourg Verlag, 1998
- [6] Strohmam: Automatisierungstechnik - Band II. Stellgeräte, Strecken, Projektabwicklung. Oldenbourg Verlag, 1996
- [7] H.O.Engel: Stellgeräte für die Prozeßautomatisierung. Stellgeräte, Strecken, Projektabwicklung. VDI Verlag, 1994
- [8] D. Weber: Regelungstechnik. Wirkungsweise und Einsatz elektronischer Regler. Expert Verlag, 1988
- [9] Profos, P.; Pfeifer, T. (Hrsg.): Grundlagen der Messtechnik. Oldenbourg Verlag, 1997
- [10] Profos, P.; Domeisen, H.: Lexikon und Wörterbuch der industriellen Messtechnik. Oldenbourg Verlag, 1993
- [11] Preuss, H.-P.; Linzenkirchner, E.; Kirchberg, K.-H.: SIEPID - ein Inbetriebsetzungsgerät zur automatischen Regleroptimierung. Automatisierungstechnische Praxis 29 (1987), Heft 9, S. 427- 436

Стандарты, инструкции, сообщения и правила

DIN 19222:	Техника управления: Понятия
DIN 19225:	Классификация и деление
DIN 19226:	Техника регулирования и управления; Часть 1: Основные общие понятия
DIN 19227:	Рисуночные и буквенные обозначения для измерения, управления, регулирования в технологии
IEC 27-2A:	Буквенные символы, используемые в электрической технологии. Часть 2: Связь и электроника. Первое издание
DIN 19228	Рисуночные обозначения для измерения, управления, регулирования; общие рисуночные обозначения
DIN 19236	Оптимизация: Понятия
DIN 19243:	Основные функции процессной автоматизации, поддержанной вычислителями; часть 2: Цифровое регулирование и управление процессами
DIN 31051:	Техническое обслуживание, понятия и мероприятия
DIN 28004:	Мнемосхемы технологических установок
IEC 584-1:	Резисторные температурные сенсоры
DIN 43760:	Резисторные температурные сенсоры
DIN 19259:	Типы данных с классификацией для измерительных установок с аналоговым или цифровым выходом для промышленной техники измерения процессов
VDI/VDE 3511:	Технические измерения температуры, 1995
VDI/VDE 3512-2:	Технические требования к температурным измерениям
VDI/VDE 3517:	Обеспечение достоверности

Рабочие страницы NAMUR

Рекомендации NAMUR см. <http://www.namur.de>

Сообщения GMA (Общества техники измерений и автоматизации) -
см. <http://www.vdi.de/gma/>

Публикации VDI см. <http://www.vdi.de/>

Применяемые сокращения

A _____

AUTO	режим работы - автоматический
AWL	лист указаний; язык программирования в STEP7
AWS	переключатель аналоговой величины; модульная программная функция

C _____

CFC	обозначение продукции SIMATIC S7; графический экран параметрирования и структурирования (Continuous function chart) SIMATIC
CPU	центральный процессорный модуль
CYCLE	параметр времени считывания в стандартных функциональных модулях SIMATIC

D _____

D	D-звено
DB	блок данных; узел данных
DDC	Direct Digital Control; система регулирования, в которой вся обработка сигналов от измерительного до исполнительного звена выполняется цифровым вычислителем
DIN	Немецкий Институт стандартов
DKE	Немецкая Комиссия по электронике в DIN и VDE
DP	децентрализованная периферия; также Протокол передачи PROFIBUS-DP

E _____

E	регулирующая разность
EMSR	электротехника, техника измерений, управления и регулирования
EMV	электромагнитная совместимость
Ex	взрывоопасный

F _____

FB	функциональный блок (модуль)
FC	вызов функции (программа)
FM	функциональный модуль
FUZZY	общее название продуктов нечеткой логики

G _____

GHB	справочник по приборам; документация SIMATIC S7
GMA	Общество измерительной и автоматизированной техники VDI/VDE

H _____

HAND	ручной режим работы
HART	собственный протокол передачи
HL	верхний предел
HW Config	аппаратный инструмент конфигурации SIMATIC Manager
HYST	гистерезис

I _____

I	I-звено (интегрирующее звено)
IEC	Международная Электротехническая Комиссия
IP	вид защиты (например, IP64)
ISO	Международная Организация Стандартизации
Ist	действительное значение

K _____

KD	коэффициент передачи дифференцирующего звена
Kp	коэффициент передачи регулирующего контура (PID-регулятора)

L _____

LIM	функция ограничения
LL	нижний предел

N _____

NAMUR Рабочее Общество Стандартов по измерительной и регулировочной технике в химической промышленности

O _____

OP панель оператора; прибор обслуживания (например, OP7, OP17)

P _____

P P-звено

PA автоматизация процесса; также протокол передачи (Profibus-PA)

PCS7 обозначение продукта SIMATIC S7 (Process Control System)

PDM аппаратный диспетчер процесса (Process Device Manager)

PLS система управления процессом

PLT техника управления процессами

PLT-Stelle техника управления процессом, точка измерения, информационный пункт

PROFIBUS сокращение от Process Field Bus; Европейский стандарт EN50 170 том 2 (PROFIBUS-DP для децентрализованной периферии есть часть функций, определенных в этом стандарте; PROFIBUS-PA для автоматических процессов расширяет PROFIBUS-DP в части собственной техники передачи в соответствии со стандартом IEC 1158-2)

PV действительное значение; значение процесса (Peripherie value)

S _____

SAMPLET параметр интервала считывания в стандартных функциональных модулях SIMATIC

SCADA управление и сбор данных (Supervising Control And Data Acquisition)

SIPART обозначение продукции семейства процессных регуляторов фирмы Сименс АО

Soll уставка (значение процесса)

SPS программируемое управление (SIMATIC S7)

SSI датчик

STEL управляющее воздействие (задание или имитация)

T _____

t	время
T_1 ; T1	постоянная времени задержки
T_a ; TA	интервал считывания
T_D ; TD	эквивалентная постоянная времени (доминирующая постоянная времени участка регулирования)
T.I.A.	полностью интегрированная автоматика; обозначение для всех устройств SIMATIC
TE	термоэлемент
TM	время процесса, время срабатывания исполнительного устройства, время перехода
$T_{\min}$; TMIN	минимальная длительность импульса (минимальная длительность паузы)
T_n ; TN	время переустановки
T_p ; TP	длительность периода
T_V ; TV	время упреждения

V _____

V	коэффициент передачи упреждения
---	---------------------------------

W _____

W ; w	уставка (значение процесса)
WinCC	станция наблюдения и обслуживания

X _____

X ; x	действительное значение (значение процесса)
xd	устаревшее обозначение регулирующей разности; сегодня используется обозначение "e"

Y _____

Y ; y	управляющее воздействие (значение процесса)
-----------	---

Y_H значение ручного управляющего воздействия (значение процесса)

Z _____

$Z; z$ возмущающее воздействие (значение процесса)