

5.1 Выбор периода дискретизации цифрового регулятора

При выборе периода дискретизации следует учитывать множество факторов. Прежде всего, следует учитывать:

- 1) динамические свойства объекта управления;
- 2) частотный спектр внешних сигналов (задания и помех);
- 3) требования технологии;
- 4) другие требования и факторы (стоимость оборудования, свойства измерительных преобразователей и исполнительных механизмов, требования оператора и т.д.)

Из 4-го пункта следует, что частоту дискретизации следует выбирать по возможности ниже, это соответствует снижению стоимости управляющего устройства. Тогда первые два фактора определяют верхний предел этой частоты. Рассмотрим их подробнее.

Динамические свойства объекта управления.

Очевидно, что чем более инерционным является объект, тем при прочих равных условиях реже можно опрашивать его состояние и реже обновлять управляющие воздействия. Иными словами, с увеличением инерционности объекта допустимо длительность такта управления увеличивать. Итак: *с увеличением инерционности объекта период дискретизации увеличивается*. Числовые характеристики можно получить следующим образом.

Допустим, что мы имеем АФХ объекта управления. Далее, допустим, что на вход ОУ поступает дельта-функция [случайный сигнал в виде белого шума] (это самый тяжелый случай). Известно, что сигнал на выходе будет равен импульсной переходной функции объекта и будет повторять АФХ ОУ. Тогда, согласно теореме Котельникова, частота дискретизации должна удовлетворять условию

$$\omega_0 \geq 2\omega_{\max}, \text{ или } T_0 \leq \pi / \omega_{\max} \quad (4.27)$$

где ω_{\max} – максимальная частота, выше которой можно считать, что АФХ равна нулю. Трудность такого подхода в том, что теоретически АФХ никогда не зануляется, но можно выбрать граничное значение, ниже которого можно считать, что АФХ равна нулю. Например, можно выбрать это значение равным 5% от максимального значения АФХ. Граничное значение трудно рассчитать, оно определяется методом проб и ошибок, то есть на основе опыта.

Однако принятие входного сигнала в виде дельта-функции – слишком жесткое допущение, реальные сигналы не столь широкополосные. В результате мы получим слишком высокую частоту дискретизации. Ее следует рассматривать, как оценку верхней границы.

Частотный спектр внешних сигналов (задания и помех).

Здесь нужно выявить частотный спектр внешних сигналов, которые должна обрабатывать цифровая система управления, и использовать формулу (4.27). Весь вопрос в определении ω_{\max} . При выявлении спектра сигналов, которые должна обрабатывать

система, учитывается следующее известное положение. Для контура управления можно выделить три области частот [Изерман, с.233]:

1) низкочастотная область ($0 \leq \omega \leq \omega_n$). В этой области происходит основная компенсация помех и воспроизведение задания;

2) среднечастотная область ($\omega_n < \omega \leq \omega_g$). Данная область отвечает за устойчивость и качество регулирования, возмущения здесь могут даже усиливаться;

3) высокочастотная область ($\omega_g < \omega < \infty$). В этой области контур управления не оказывает действия на внешние сигналы.

Из этого следует, что нужно, чтобы ω_{\max} находилось в третьей области. В литературе встречаются эмпирические формулы по выбору периода дискретизации. Одна из таких формул имеет вид (Олсон, с. 242)

$$T_d \cdot \omega_g = 0,15 - 0,5, \quad (4.28)$$

где ω_g – верхняя частота пропускания замкнутой системы управления (на уровне 3 дБ).

Если учесть, что ω_g значительно меньше ω_{\max} , то (4.27) и (4.28) дают сопоставимые T_d .

В состав АЦП следует обязательно включить фильтр низких частот, с частотой среза ω_{\max} (антиалиасный фильтр). Это должен быть аналоговый фильтр или сочетание простого аналогового фильтра и цифрового фильтра, построенного на отдельном микропроцессоре с высокой частотой дискретизации.

Что касается требований технологии и других факторов (п.3,4 из предыдущего перечня), то окончательное решение по длительности периода дискретизации нужно принимать с учетом этих факторов. Влияние таких факторов не формализовано, следовательно, как и ранее, здесь используется метод проб и ошибок, то есть опыт предыдущих разработок.

5.2 Способы управления исполнительными устройствами

Конечным элементом управляющего устройства, непосредственно влияющим на объект управления (ОУ), является исполнительное устройство (ИУ). Оно состоит из исполнительного механизма и регулирующего клапана или является мощным силовым блоком, изменяющим подачу энергии на объект, или представляет собой устройство другого типа. На вход такого устройства подается маломощный управляющий сигнал, выходной сигнал исполнительного устройства будем называть "положение устройства". Это положение напрямую влияет на процесс, изменяя его параметры. Например, выходным сигналом регулирующего клапана является положение его штока.

Используют силовые устройства разных видов, они могут по-разному управляться, то есть по-разному сочленяются с цифровым регулятором. Различают следующие виды и способы управления исполнительными устройствами:

1) *Пропорциональные исполнительные устройства.* У них пропорциональная зависимость между подаваемым на них сигналом управления и положением устройства. Это самые совершенные исполнительные устройства, но и самые дорогие. Обычно пропорциональное устройство содержит в себе цифровой или аналоговый регулятор следящего типа (сервомеханизм), который автоматически устанавливает положение устройства в соответствии с управляющим сигналом. Такой регулятор называется

"позиционер". Примеры пропорциональных ИУ: регулирующие клапаны с позиционерами электрического, пневматического и гидравлического типов, установленные на трубопроводах, аналогичные приводы заслонок и шиберов. К подобным ИУ относятся также и мощные электрические силовые блоки, например, преобразователи частоты асинхронных двигателей и силовые блоки электрических нагревательных устройств.

Управляющими сигналами пропорциональных ИУ являются непрерывно изменяющийся цифровой сигнал или аналоговый сигнал 4...20 мА. Тот и другой сигналы формируются непосредственно цифровым регулятором.

2) *Интегрирующие ИУ с регулируемой скоростью.* Это ИУ электрического, пневматического и гидравлического типов без позиционеров на трубопроводах, аналогичные приводы заслонок и шиберов. Положение таких ИУ изменяется с непрерывной скоростью, пропорциональной величине управляющего сигнала. Это, например, привод с двигателем регулируемой скорости, пневмоцилиндр с регулируемым дросселем подачи воздуха и другие подобные устройства.

В зависимости от соотношения динамических свойств ИУ и объекта управления возможны два варианта управления такими ИУ.

Первый вариант. *ИУ более инерционно, чем ОУ или они обладают одинаковой инерционностью.* В этом случае динамические свойства всей системы управления будут определяться ИУ. В данном варианте строится система управления выходной переменной ОУ, в которой не нужно заводить в регулятор сигнал состояния ИУ.

Пример: Создается система управления расходом жидкости через трубопровод изменением положения регулирующего клапана на этом же трубопроводе. Здесь динамика ОУ определяется свойствами клапана. Сам ОУ по каналу: положение клапана – расход является практически безынерционным, и сигнал положения клапана не улучшит работу системы, а только усложнит ее. В этом ОУ сам расход является как бы сигналом положения клапана. Интегрирующие свойства ИУ в такой системе можно рассматривать частью регулятора, устраняющей статическую ошибку и упрощающую цифровую часть регулятора.

Второй вариант. *ОУ по своей инерционности значительно превосходит ИУ.* Тогда Интегрирующие свойства ИУ будут ухудшать качество работы системы. Для устранения такого вредного влияния нужно оснастить ИУ датчиком своего положения и заводить сигнал положения в регулятор. Алгоритм регулирования здесь должен быть каскадным. Он должен предусматривать быстрый контур регулирования положением ИУ, заданием для которого является выход основного (инерционного) регулятора. В этой системе выходной частью цифрового регулятора совместно с датчиком положения формируется позиционер. обычно в быстром регуляторе используют простейший П-закон регулирования, но для его реализации может потребоваться более высокая частота дискретизации, чем для основного контура.

Управляющим сигналом интегрирующих ИУ с регулируемой скоростью является обычно непрерывно изменяющийся аналоговый сигнал 4...20 мА, который формируются непосредственно цифровым регулятором.

3) *Интегрирующие ИУ с постоянной скоростью.* Это исполнительные механизмы с асинхронными двигателями. Они имеют большое распространение благодаря своей дешевизне и надежной работе. Другое их преимущество – они управляются дискретными сигналами типа "вперед-стоп-назад", то есть для их управления не нужен ЦАП. Для обеспечения линейной зависимости положения от управляющего сигнала используется импульсное управление с непрерывно изменяющейся длительностью импульса, то есть используется ШИМ. Для этого вида ИУ справедливо все сказанное и варианты управления

интегрирующих ИУ с регулируемой скоростью (см. п.2). Отличие в том, то на выходе цифрового регулятора должен формироваться не непрерывный сигнал, а сигнал ШИМ.

4) *Пропорциональные исполнительные устройства дискретного типа (шаговые двигатели)*. Такие ИУ очень удобны для стыковки с цифровым регулятором. ЦАП на его выходе не нужен, а положение ИУ пропорционально количеству импульсов на дискретном выходе. Таким образом, вместо ЦАП будет более простой блок формирования импульсов. При появлении каждого импульса положение ИУ изменяется на один шаг. Для двигателя один шаг может составлять от 1 до 240 градусов. Таким образом может быть достигнута высокая точность управления положением без использования сигнала положения ИУ, то есть простыми средствами.

5.3 Учет ограничений исполнительного устройства

Все исполнительные устройства имеют ограниченный диапазон действия. Типичная регулировочная характеристика исполнительного устройства показана на рисунке 5.1. Это – типовая нелинейность типа "насыщение". Из-за насыщения система управления становится нелинейной и в процессе регулирования возникают ситуации, которые могут нарушить расчетные движения системы с ухудшением качества ее работы вплоть до потери устойчивости. Рассмотрим эти ситуации.

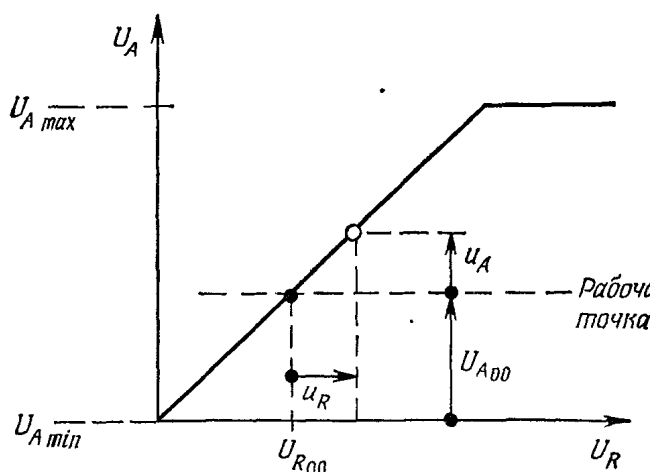


Рисунок 5.1 – Регулировочная характеристика исполнительного устройства

При достижении своего максимального или минимального положения (например, клапан полностью открыт или закрыт) нарушается линейная зависимость между воздействием на объект и управляющим сигналом цифрового регулятора. Что при этом происходит? Обычно регулятор содержит интегратор, который устраняет статическую ошибку. В нормальном режиме работы, когда текущая рабочая точка находится в пределах линейного участка на рисунке 5.1, интегратор работает в расчетном режиме, и проблем нет. Но когда рабочая точка достигает участка насыщения, то при ненулевой ошибке регулирования этот интегратор будет монотонно увеличивать (или уменьшать) управляющий сигнал, но реакции на такое изменение со стороны объекта не будет из-за насыщения. В итоге управляющий сигнал может неоправданно достигнуть нуля или больших значений. При последующем выходе рабочей точки на линейный участок нужно длительное время, чтобы "разрядить" интегратор, что даст сильное перерегулирование (говорят, происходит удар), недопустимое по технологии.

Очевидной мерой для устранения накопления управляющего сигнала является зануление коэффициента перед интегральной составляющей алгоритма управления при

переходе рабочей точки в область насыщения. Это алгоритмически сделать нетрудно, весь вопрос в обнаружении такого перехода. Обнаружить заход в область насыщения можно несколькими способами.

Во-первых, использовать сигнал концевого выключателя исполнительного устройства. Многие исполнительные устройства оснащаются такими выключателями. Дискретный сигнал этого выключателя заводится в цифровой регулятор. При срабатывании концевого выключателя коэффициент перед интегральной составляющей становится равным нулю, и выход интегратора запоминается. При снятии сигнала значение коэффициента восстанавливается, и возобновляется нормальный режим работы.

Во-вторых, использовать сигнал положения исполнительного устройства. При достижении этого положения нуля или ста процентов считается, рабочая точка зашла в область насыщения.

В-третьих, при отсутствии информации от исполнительного устройства, алгоритмически можно выявить соответствие между цифровым управляющим сигналом и положением исполнительного устройства. Тогда считать заходом в область насыщения достижение цифрового сигнала нуля или ста процентов. Конечно, предпочтительно использовать первые два способа, как более надежные. Возможно совмещение нескольких способов. При этом можно производить диагностику исправного состояния тракта АЦП и исполнительного устройства.

Другой вариант борьбы с насыщением – применение регулятора с переменной структурой. При больших рассогласованиях следует занулять коэффициент перед интегральной и дифференциальной составляющими, тем самым переводить регулятор в П-закон регулирования. Это – быстрый алгоритм, который ликвидирует большие рассогласования. При уменьшении рассогласования включать все составляющие алгоритма. Недостаток метода – сложность настройки на процесс.

5.4 Безударное переключение режимов работы

Известно, что системы автоматического регулирования могут работать в ручном режиме и автоматическом режиме. Ручной режим используется при наладке системы и в аварийных ситуациях. Если система работает в ручном режиме, то входные сигналы все равно поступают на регулятор. Поскольку контур регулирования в ручном режиме разомкнут, то при ненулевой ошибке, как и в предыдущем случае, будет происходить "накапливание" управляющего сигнала интегратором регулятора. Пока система находится в ручном режиме, это никак не влияет на ее работу. Но стоит перейти на автоматический режим, как происходит бросок управляющего сигнала (удар), никак не соответствующий алгоритму управления. Зануление коэффициента перед интегральной составляющей, как в предыдущем случае, здесь не даст нужного эффекта, так как, несмотря на исключение накапливания, всегда будет отличие управляющего сигнала на выходе регулятора и этого же сигнала, формируемого вручную.

Рациональный способ борьбы с рассмотренными бросками управляющего сигнала заключается в следующем. Нужно переводить интегратор в режим установки начального условия и автоматически устанавливать это условие таким, чтобы управляющий сигнал на выходе регулятора был равен этому сигналу, формируемому вручную. Такое "слежение" должно происходить непрерывно, пока используется ручной режим. Разумеется, для этого в цифровом регуляторе нужно иметь сигнал положения исполнительного устройства. Рассмотренный алгоритм работы называется безударным переключением "ручное-автомат".