

В большинстве систем применяют два принципа управления - управление без обратной связи и управление с обратной связью (в замкнутом контуре). Согласно первому принципу управляющее воздействие пропорционально входной переменной. Примером подобной системы является включение вручную системы кондиционирования воздуха в автомобиле (ON/OFF). Однако для автоматизации этой системы обратная связь может использоваться для корректировки управляющего воздействия с целью приведения выходной переменной к уставке или к требуемому значению. Примером может служить автоматизированное кондиционирование воздуха, которое обеспечивает желаемое значение температуры. Сначала система работает в режиме сильного охлаждения, но уменьшает управляющее воздействие на охлаждение, когда температура приближается к нужному значению.

Могут использоваться различные типы систем управления с обратной связью, например, ПД-управление, ПИ-управление, ПИД-управление, с компенсацией запаздывания и т. п., это зависит от характера и стабильности управляемого объекта (называемого технологическим оборудованием), а также от возмущений в окружающей среде. В случае автоматизированной системы кондиционирования воздуха в автомобиле объектом является система кондиционирования автомобиля, а причинами возмущений могут открытие/закрытие окон/дверей автомобиля, погода вне автомобиля, количество людей в автомобиле и т.п.

В QNET Mechatronic Systems контроллер обратной связи управляет перемещением манипулятора в нужное положение, используя обратную связь, учитывающую фактическое положение/скорость перемещения манипулятора.

1.1 Передаточная характеристика

Типичный отклик на приложенный ступенчатый сигнал R_0 в момент времени t_0 показан на рисунке 1.1. Максимальное значение отклика обозначено переменной y_{max} , и оно соответствует моменту времени t_{max} . Перерегулирование в процентах найдено с использованием

$$PO = \frac{100 (y_{max} - R_0)}{R_0}. \quad (1.1)$$

Время начала ступенчатого сигнала t_0 , а время достижения откликом своего максимального значения

$$t_p = t_{max} - t_0. \quad (1.2)$$

называется временем достижения пика (*peak time*).

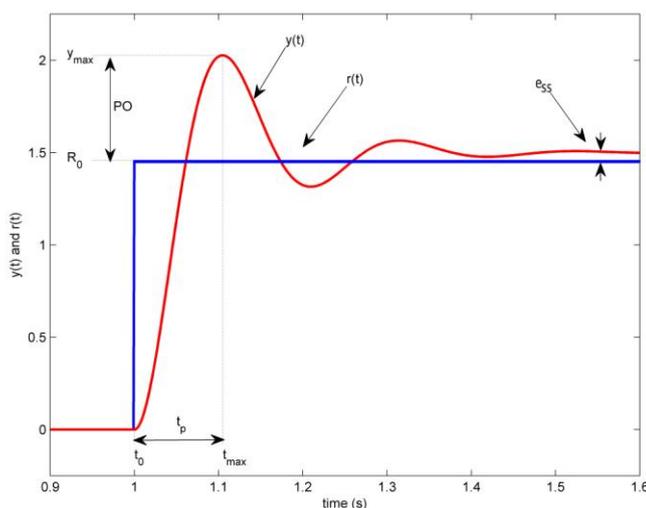


Рисунок 1.1. Типичный отклик на входной ступенчатый сигнал

Наконец, разность между желаемым R_0 и фактическим значениями после завершения переходного процесса называется систематической ошибкой e_{ss} .

1.2 Пропорциональная компенсация

Пропорциональный компенсатор управляет объектом, используя разность между текущим и желаемым положениями системы. Вклад этой разности в отклик настраивается с помощью *пропорционального коэффициента усиления* k_p (proportional gain), который может быть найден либо экспериментально, либо рассчитан на основе требований к системе, например, к времени нарастания. Увеличение коэффициента пропорционального усиления приведет к уменьшению *времени нарастания* в системе, то есть времени, которое требуется системе для достижения желаемого положения. Однако, поскольку система постоянно ускоряется в направлении к заданной точке, большие пропорциональные коэффициенты усиления обычно приводят к увеличению выбросов, замедлению установления и к колебаниям относительно заданного значения в течение длительного времени.

1.3 Компенсация путем дифференцирования

Чтобы решить проблему перерегулирования и колебаний, вызванных пропорциональным компенсатором, во многих системах параллельно реализуют компенсацию по производной. Такой компенсатор управляет объектом с учетом скорости изменения положения (или скорости) объекта. Как и при пропорциональном управлении, эта производная усиливается с *коэффициентом дифференцирующего звена* k_d (derivative gain). Компенсатор по производной эффективно действует как дополнительное затухание в недодемпфированных системах. Чтобы увеличить устойчивость системы с компенсацией по производной часто применяется фильтрация низких частот, с помощью которой предотвращаются выбросы в компоненте компенсации по производной из-за шумов в сигнале.

1.4 Компенсация путем интегрирования

Во многих случаях комбинация коэффициентов пропорционального и дифференцирующего звеньев приводит к тому, что установившееся значение системы будет недостаточно близко к заданному значению. Для компенсации систематической ошибки можно добавить интегрирующее звено. Такой компенсатор управляет системой, используя интеграл от ошибки по времени с коэффициентом усиления k_i (integral gain). Подобный компонент контроллера увеличивает время достижения системой заданного значения. Поскольку интегрирующее звено отвечает за накопление ошибок в течение некоторого предшествующего интервала времени, это может привести к тому, что текущее значение превысит заданное.

1.5 ПИД управление

Пропорциональное, интегральное и дифференциальное управление математически могут быть описаны следующим выражением

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (1.3)$$

Соответствующая блок-схема приведена на рисунке 1.2. Управляющее воздействие есть сумма трех членов, называемых пропорциональным (P), интегральным (I) и дифференциальным (D) компонентами. Уравнение 1.3 контроллера может быть также описано передаточной функцией

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s. \quad (1.4)$$

Функциональность ПИД-контроллера обобщенно можно описать следующим образом. Пропорциональный терм использует текущее значение ошибки, интегральный терм зависит от ошибок в предшествующий интервал времени, а дифференциальный терм предсказывает ошибку в будущем.

Попытки реализовать такой ПИД-контроллер не позволяют получить хорошую реакцию системы для объектов реального мира, поскольку результаты измерения сигналов всегда содержат шум измерений. Как описано в подразделе 1.3, фильтр нижних частот используется для подавления шума измерений. Комбинация фильтра нижних частот первого порядка и дифференциального звена эквивалентна фильтру высоких частот $H(s)$, который используется вместо прямого дифференцирования.

Стандартная методика настройки коэффициентов системы вручную состоит из следующих этапов:

1. Устанавливают коэффициенты дифференциального и интегрального звеньев равными 0 и постепенно увеличивают коэффициент пропорционального звена до тех пор, пока не будут наблюдаться устойчивые колебания.
2. Постепенно увеличивают коэффициент дифференциального звена, пока колебания не исчезнут, при этом система вводится в режим критического демпфирования. Любое увеличение

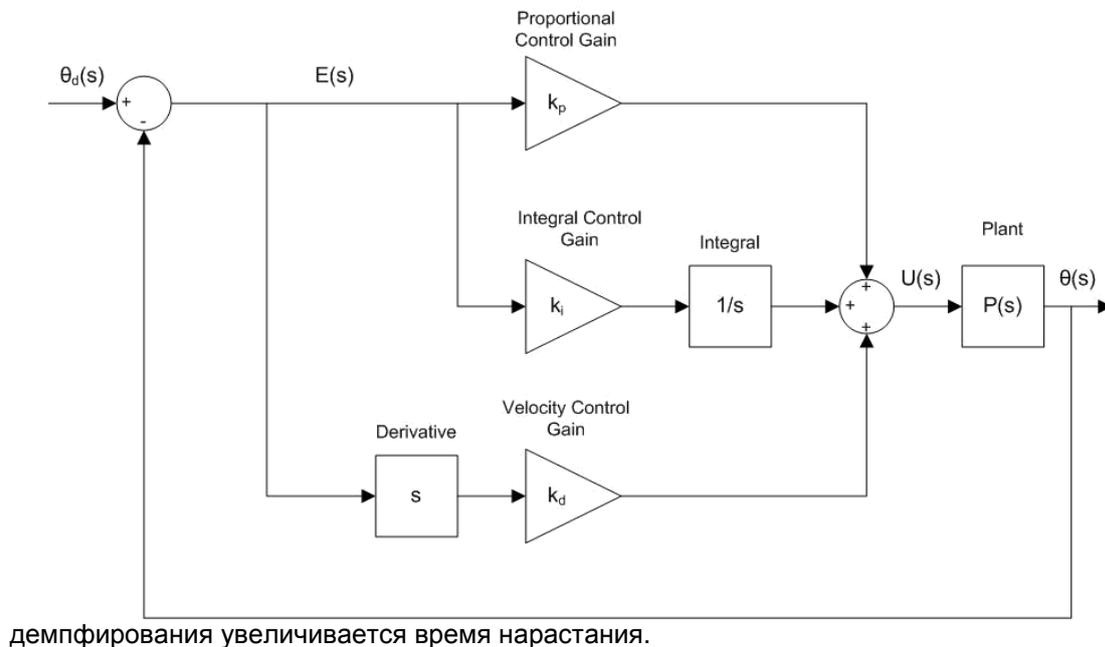


Рисунок 1.2. Блок-схема ПИД-регулятора

3. Увеличивают коэффициент интегрального звена до тех пор, пока значение ошибки в установившемся состоянии не окажется в требуемых пределах.

Часто этот процесс итеративен, особенно когда используется интегральный терм. Возможно, пропорциональный и дифференциальный коэффициенты придется подстраивать, чтобы компенсировать добавление интегрального термина. Повторная настройка может также потребоваться, если изменяется частота дискретизации или изменяется характер возмущений в системе (например, демпфирование в звеньях манипулятора).

1.6 Напряжение насыщения

В правильно спроектированной системе управления выходное напряжение контроллера никогда не должно превышать максимального напряжения, которое может восприниматься объектом управления, в нашем случае это моторы QNET Mechatronic Systems. Обратите внимание, что номинальное напряжение этих двигателей ± 18 В. Выполнение указанного условия обеспечит полный контроль над динамикой системы. QNET Mechatronic Systems реализует динамический алгоритм насыщения напряжения, который не позволяет управляющему напряжению превышать 12 В более, чем на 0,5 с. В противном случае происходит насыщение управляющего напряжения на уровне ± 18 В.

2 Упражнения в лаборатории

2.1 ПИД контроллер

Откройте проект `Mechatronic Systems.lvproj` и из раздела `Quanser ELVIS RIO | Subsystems` откройте `PID Joint Position Control.vi`. В цикле `PID Joint Position Control Loop` откройте sub-VI `PID.vi`, он должен быть похож на изображенный на рисунке 2.1. Сравните его с рисунком 1.2. Заметим, что этот VI умножает ошибку на пропорциональный коэффициент, интеграл от ошибки на интегральный коэффициент, а производную от ошибки на дифференциальный коэффициент. Обратите также внимание, что блок `Integrator` должен быть добавлен после интегрального коэффициента. Если интегратор добавить раньше, он будет продолжать интегрировать ошибки, даже если интегральный коэффициент равен 0, и это приведет к резкому увеличению управляющих воздействий при увеличении интегрального коэффициента до ненулевого значения в первый раз.

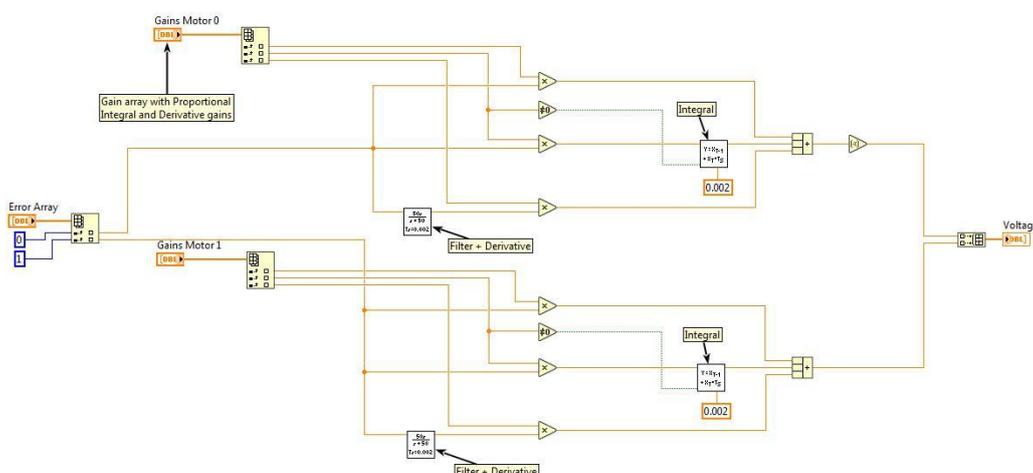


Рисунок 2.1. Принимает ступенчатое напряжение и отображает измеренную и смоделированную скорость QNET Mechatronic Systems.

2.2 Пропорциональное управление

1. Как пропорциональный коэффициент k_p влияет на отклик системы и как, по вашему мнению, изменится отклик системы при увеличении этого коэффициента?
2. Убедившись, что все коэффициенты установлены на 0, запустите `PID Joint Position Control.vi`. После заполнения линейки калибровки зафиксируйте звено манипулятора, связанное с мотором 1, используя ограничитель между звеньями, чтобы запретить перемещение. При зафиксированном таким образом звене постепенно увеличивайте коэффициент k_p до 1,5. Затем увеличьте коэффициент до 2,5, потом до 5 и прокомментируйте полученный отклик.

Примечание: Если какой-либо VI запускается в первый раз, калибровка может выполняться до 10 с.

3. Учитывая, что время пика управляемого объекта менее 0,5 с, найдите значение пропорционального коэффициента, при котором получается требуемый отклик. Целесообразно ли использовать чисто пропорциональный алгоритм управления? Почему целесообразно/нецелесообразно?

2.3 Дифференциальное управление

1. Как коэффициент дифференциального звена влияет на отклик системы и как, по вашему мнению, изменится отклик системы при увеличении этого коэффициента?
2. При зафиксированном, как и в предыдущем пункте, звене, связанном с мотором 1, и коэффициенте k_p , равном 5, увеличивайте коэффициент k_d до 0,25, до 0,65, а затем до 1,2 и прокомментируйте получаемые отклики.

2.4. Интегральное управление

На вашем графике из предыдущего вопроса чему равна ошибка в установившемся состоянии при коэффициентах k_p и k_d равными соответственно 10 и 1,5? Опишите, как можно устранить ошибку и опишите, как это работает и почему?

При зафиксированном, как и в предыдущем пункте, звене, связанном с мотором 1, и коэффициентах k_p и k_d , равными соответственно 5 и 0,65, увеличивайте коэффициент k_i до 0,5, до 1, а затем до 1,5 и прокомментируйте полученные отклики.

2.5 Подстройка характеристик

1. В случае необходимости выполните тонкую настройку коэффициентов и убедитесь, что все характеристики соответствуют заданным (перерегулирование менее 5%, время пика 0,5 с и ошибка в установившемся режиме $\pm 2\%$).
2. Оставьте контроллер включенным с настроенными вами коэффициентами. Чему равно напряжение пика на графике управляющего напряжения Voltage Command (V)? Является ли это проблемой, учитывая результаты подраздела 1.6?

Несмотря на то, что напряжение насыщается при уровне, много меньше заданного напряжения от контроллера, в такой ситуации это приемлемо. В этой лабораторной работе требуемое и реальное значения отличаются на ± 1 рад. Манипулятор QNET Mechatronic Systems находится в состоянии покоя, когда он приближается к установившемуся состоянию. Когда изменяется уставка, из-за высокой скорости изменения условий компенсатор по производной формирует большую дифференциальную компоненту, что приводит к выбросу напряжения. Этого можно избежать, используя траекторию точек, позволяющих исключить большую разность между желаемыми и фактическими значениями. Таким образом, алгоритмы планирования траектории «смягчают» ступенчатый сигнал, устраняя выброс напряжения при его подаче. Алгоритмы планирования траектории используются в остальных лабораторных работах.

© 2016 Quanser Inc., Все права защищены.

Quanser Inc.
119 Spy Court
Markham, Ontario
L3R 5H6
Canada
info@quanser.com
Телефон: 1-905-940-3575
Факс: 1-905-940-3576

Отпечатано в Маркхем, Онтарио.

Для получения дополнительной информации о продукции, предлагаемой Quanser Inc., посетите, пожалуйста, веб-сайт:
<http://www.quanser.com>

Этот документ и программное обеспечение, описанное в нем, предоставляются в соответствии с лицензионным соглашением. Ни программное обеспечение, ни этот документ не могут использоваться или копироваться способом, отличным от указанных в соответствии с условиями этого лицензионного соглашения. Quanser Inc. предоставляет следующие права: а) право воспроизводить работу, включать работу в один или несколько наборов и воспроизводить работу, включенную в наборы, б) создавать и воспроизводить усовершенствования при условии принятия разумных мер четко определить изменения, внесенные в оригинальную работу, с) распространять и публиковать работу, в том числе включенную в наборы и d) распространять и открыто выполнять усовершенствования. Вышеупомянутые права могут быть реализованы на всех носителях и в форматах, которые теперь известны или будут разработаны в будущем. Эти права предоставляются и ограничены следующим : а) вы не можете использовать какие-либо права, предоставленные вам в вышеуказанном виде, любым способом, который в первую очередь предназначен или ориентирован для коммерческой выгоды или частной денежной компенсации и б) вы должны сохранять в целостности все уведомления об авторских правах для Работы и ссылаться на Quanser Inc. Эти ограничения не могут быть изменены без предварительного письменного разрешения Quanser Inc.