

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ И ОБЪЕКТАМИ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н. А. Тыманович, Ю. А. Скудняков

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

Рассмотрены возможности, структура для мониторинга и управления процессами и объектами различного назначения, что позволяет поддерживать значения их характеристик и параметров в заданных пределах.

Введение

Современные микроконтроллерные системы (МКС) имеют широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, в том числе мониторинге и управлении разнопрофильными процессами и объектами. За последнее время архитектура МКС развивалась достаточно быстро [1, 2]. Например, МКС интенсивно разрабатываются и используются для мобильных устройств и систем коммуникаций. Использование программно-аппаратного обеспечения МКС позволяет достаточно гибко, надежно и с высокой производительностью осуществлять управление различными процессами и объектами искусственного и естественного происхождения.

1. Структура и практическое применение МКС

Структура МКС состоит из микропроцессора и ряда других узлов для обработки входной и выходной информации и формирования сигналов управления различными процессами и объектами (рис. 1).

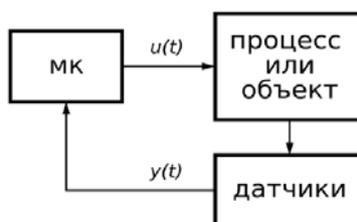


Рис. 1. Обобщенная структурная схема МКС

На рис. 1 приняты следующие обозначения: $u(t)$ – управляющий сигнал, $y(t)$ – сигнал обратной связи (от датчиков), МК – микроконтроллер.

С помощью МКС осуществляется мониторинг состояния того или иного процесса и объекта и при отклонении каких-либо (или всех) реальных текущих значений их характеристик и параметров происходит приведение их к заданным величинам путем формирования управляющего сигнала пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором (ПИД-регулятором) [3, 4], выполняющим функции автоматического регулирования процессов и объектов различной природы и назначения.

ПИД-регулятор выполняет функцию обратной связи и используется для достижения высоких требований к качеству и точности переходных процессов.

В настоящее время ПИД-регуляторы представляют собой специальные модули, добавляемые к управляющему контроллеру или вообще реализуемые программно путем загрузки библиотек. Для правильной настройки коэффициентов усиления в таких контроллерах их разработчики предоставляют специальное программное обеспечение.

На практике теоретический анализ ПИД-регулируемых систем применяют редко. Сложность состоит в том, что характеристики процесса или объекта управления неизвестны и система фактически всегда нестационарна и нелинейна. Реально работающие ПИД-регуляторы имеют ограничение рабочего диапазона снизу и сверху, это принципиально объясняет их нелинейность. Настройка поэтому практически всегда и везде производится экспериментальным путем, когда объект управления подключен к системе управления.

Использование величины, формируемой программным алгоритмом управления, обладает рядом специфических нюансов. Если, например, осуществляется регулировка температуры, то часто требуется все же не одно, а сразу два устройства или управляющих блока: первое управляет нагревом, второе – охлаждением; первое подает разогретый теплоноситель, второе – хладагент и более комплексные системы с большим числом управляющих блоков. Управляющий сигнал ПИД-регулятора получается в результате сложения трех составляющих: первая пропорциональна величине сигнала рассогласования, вторая – интегралу сигнала рассогласования, третья – его производной. Если какая-то из этих трех составляющих не включена в процесс сложения, то регулятор будет уже не ПИД, а просто пропорциональным, пропорционально-дифференцирующим или пропорционально-интегрирующим (рис. 2).

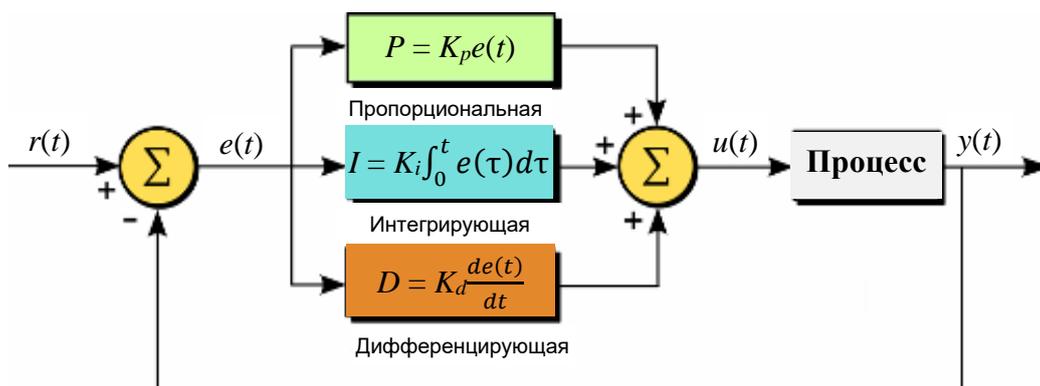


Рис. 2. Схема системы автоматического управления с ПИД-регулятором

На рис. 2 приняты следующие обозначения: $r(t)$ – задающий сигнал; $e(t) = r(t) - y(t)$ – разность между задающим сигналом и сигналом обратной связи; $P = K_p e(t)$, $I = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$, $D = K_d \frac{de(t)}{dt}$ – формулы, описывающие пропорциональный, интегральный и дифференциальный законы регулирования соответственно; K_p , K_i , K_d – коэффициенты передачи (усиления) регулятора; $u(t)$ – управляющий сигнал; $y(t)$ – сигнал обратной связи. Использование интегрального закона I позволяет учитывать все множество возмущений, отрицательно влияющих на состояние процесса или объекта, и регулировать выходную величину $y(t)$ по отклонению. В этом случае управление является более точным по сравнению с управлением по возмущению, но осуществляется с определенным временным запаздыванием τ .

При использовании пропорционального закона регулирования выходной сигнал приводит к противодействию текущему отклонению входной величины. Чем больше отклонение – тем больше сигнал. Когда на входе значение регулируемой величины

равно заданному, выходной сигнал становится равным нулю. Если использовать только пропорциональную составляющую, то значение величины, подлежащей регулированию, никогда не стабилизируется на правильном значении. Всегда есть статическая ошибка, равная такому значению отклонения регулируемой величины, что выходной сигнал стабилизируется на этом значении. К примеру, терморегулятор управляет мощностью нагревательного прибора (рис. 3). Выходной сигнал уменьшается по мере приближения требуемой температуры объекта, и сигнал управления стабилизирует мощность на уровне тепловых потерь. В итоге заданного значения температура так и не достигнет, так как нагревательный прибор просто должен будет быть выключен и начнет остывать (мощность равна нулю).

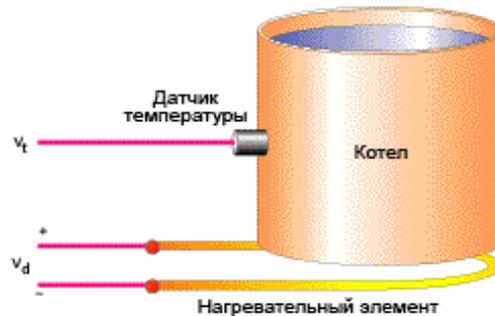


Рис. 3. Схема управления мощностью нагревательного прибора

Чем больше коэффициент усиления между входом и выходом – тем меньше статическая ошибка, но если коэффициент усиления (по сути, коэффициент пропорциональности) будет слишком большим, то при условии наличия задержек в системе (а они зачастую неизбежны) в ней вскоре начнутся автоколебания, а если увеличить коэффициент еще больше, то система попросту утратит устойчивость.

Рассмотрим пример позиционирования двигателя с редуктором (рис. 4). При малом коэффициенте нужное положение рабочего органа достигается слишком медленно. Если увеличить коэффициент, то реакция получится более быстрая, но если увеличивать коэффициент дальше, то двигатель «перелетит» правильную позицию и система не перейдет быстро к требуемому положению, как хотелось бы ожидать. Если теперь увеличивать коэффициент пропорциональности дальше, то начнутся осцилляции около нужной точки – результат снова не будет достигнут.

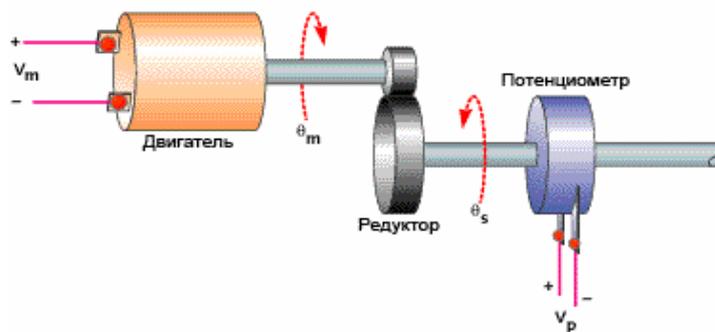


Рис. 4. Схема позиционирования двигателя с редуктором

Интеграл по времени от величины рассогласования есть основная часть интегрирующей составляющей. Она пропорциональна этому интегралу. Интегрирующий компонент используется для исключения статической ошибки, поскольку регулятор со временем учитывает статическую погрешность.

В отсутствие внешних возмущений через какое-то время подлежащая регулированию величина будет стабилизирована на правильном значении, когда пропорциональная составляющая окажется равной нулю, и точность выхода будет целиком обеспечена интегрирующей составляющей. Однако интегрирующая составляющая тоже может породить осцилляции около точки позиционирования, если коэффициент не подобран правильно.

Темпу изменения отклонения величины, подлежащей регулированию, пропорциональна третья составляющая – дифференцирующая. Она необходима для того, чтобы противодействовать отклонениям (вызванным внешними воздействиями или задержками) от правильного положения, прогнозируемого в будущем.

Если система линейна и стационарна (практически это вряд ли возможно), то для реализации задания $u(t)$ справедлива следующая формула:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}.$$

С практической точки зрения в ПИД-регуляторах для их настройки лучше использовать формулу, где коэффициент передачи (усиления) применен сразу ко всем компонентам:

$$u(t) = K_p (e(t) + K_{ip} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_{dp} \frac{de(t)}{dt}).$$

Заключение

На основании проведенных исследований получены следующие результаты:

- дан анализ возможностей для осуществления мониторинга и управления различными процессами и объектами;
- предложена обобщенная структура, отражающая принцип ее функционирования для выполнения мониторинга и управления процессами и объектами различного назначения;
- рассмотрены основные законы регулирования, реализуемые ПИД-регуляторами для коррекции и стабилизации необходимых характеристик и параметров различных процессов и объектов в случае отклонения значений последних от заданных величин по результатам проведенного мониторинга;
- показано, что полноценное ПИД-регулирование возможно только при совместной реализации всех трех основных законов регулирования;
- практическое применение основных законов регулирования управляющих сигналов проиллюстрировано на ряде конкретных примеров.

Список литературы

1. Иоффе, В. Г. Структурная организация однокристалльных микроконтроллеров : учебное пособие / В. Г. Иоффе. – Самара : Изд-во Самарского ун-та, 2017. – 206 с.
2. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя / А. В. Евстифеев. – М. : Изд. дом «Додэка-XXI», 2007. – 592 с.
3. Ang, K. H. PID control system analysis, design, and technology / K. H. Ang, G. Chong, Y. Li // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2005. – Vol. 13, no. 4. – P. 559–576.
4. O'Dwyer, A. PID compensation of time delayed processes 1998-2002: a survey / A. O'Dwyer // Proc. of the American Control Conf., Denver, Colorado, 4–6 June 2003. – Denver, 2003. – P. 1494–1499.