

# КОНТРОЛЛЕРЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ: КАК ДОСТИЧЬ СПЕЦИФИЧЕСКИХ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК?

ВЕЙНЦ ВАН ДОПЕН  
(VANCE VANDOREN)

ПИТЕР БЕЛАНДЕР  
(PETER WELANDER)

Контроллер с обратной связью измеряет выходные данные процесса, а затем управляет входными параметрами, если это требуется для того, чтобы привести переменные процесса к заданной величине. К сожалению, это проще сказать, чем сделать. Инерционность процесса мешает контроллеру изменять переменные моментально, поэтому он просто «приближается к искомому», по крайней мере, за одну итерацию. Точность приближения зависит от того, как спроектирован контроллер, а его разработка основывается на том, как близко должны подходить переменные процесса к заданной точке в конкретном применении.

Давайте рассмотрим, к примеру, процесс выпечки, где тесто в печи должно нагреваться, но не подгорать. Когда оператор поднимает температуру в печи в начале процесса, контроллер должен включить достаточный нагрев, чтобы достичь заданной температуры, но не превысить ее. В этом случае «близко» означает ограничение перегрева или — «насколько это возможно близко к заданной точке, но не превышая ее слишком сильно».

Напротив, прогрев автомобиля в холодный день требует скорее быстрого выполнения задачи, чем аккуратного. Водитель обычно

хочет, чтобы внутри салона была комфортная температура, и чем быстрее это произойдет, тем лучше — даже если это означает, что контроллер превысит заданную изначально температуру. Так, в данном случае «близко» означает «настолько близко, насколько это возможно за минимальный промежуток времени».

Точность может быть определена в показателях целевой функции или рабочей характеристики, которая показывает на основе статистики, насколько успешно переменные процесса достигают заданных значений. Есть ассортимент рабочих

характеристик, из которых можно выбирать — в зависимости от того, что мы понимаем под «близко» в данной ситуации.

## РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА

Выбранный критерий качества диктует, как будет спроектирован контроллер для достижения желаемых результатов за счет цикла с обратной связью. Минимальные промахи, важные для приготовления выпечки, требуют от контроллера, чтобы он был особенно реактивен относительно управления процессом. Контроллер температуры автомобиля должен быть настроен более агрессивно с целью достижения максимально быстрого прогрева.

Это так называемые «прямые вычисления»: выбранные параметры обрабатываются набором формул, которые переводят наблюдаемые характеристики процесса прямо в настройки контроллера. К примеру, классический метод Циглера–Николса использует максимальное увеличение и предельный период

---

Принятие решения о том, выполняется цикл нормально или нет, зависит от того, чего мы ожидаем от этой работы в контексте большого процесса.

Различные типы процессов требуют разных стратегий контроля. Согласовать их может быть непросто.

Необходимо прежде всего четко определить — проблема кроется в технической части, или же скорее в работе драйвера.

---

процесса для генерации параметров ПИД-регулятора, которые позволяют контроллеру достичь коэффициента затухания  $1/4$  в ответ на изменение искомого значения.

К сожалению, это не всегда просто. Большая часть характеристик требует обширных вычислений для определения настроек, которые обеспечат оптимальный результат.

**МЕТОД «ПРОБ И ОШИБОК»**

Разработка контроллера для оптимизации требуемых характеристик обычно включает в себя построение математической модели процесса, использование программы симулятора, а также интерактивную проверку методом проб и ошибок.

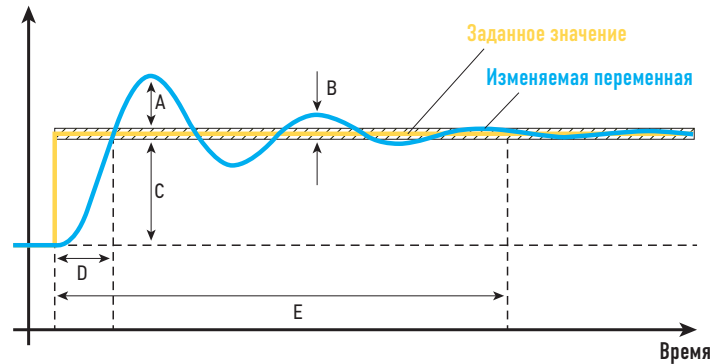
Разработчик сначала угадывает параметры, которые должны дать оптимальные результаты, а затем настраивает симулятор и моделирует процесс. Затем он симулирует цикл с обратной связью с заранее заданными изменениями значений и помехами, выбранными так, чтобы максимально близко смоделировать реальную систему. В конце первой итерации разработчик вычисляет рабочие характеристики, используя полученные в ходе симуляции значения переменных. Перед второй итерацией он подстраивает начальные параметры для получения хотя бы минимально приближенных значений при повторе теста в тех же условиях.

Это очень непростая задача. Не всегда очевидно, как можно улучшить параметры: требуется либо значительный опыт работы методом обратной связи, либо построение некоторого алгоритма оптимизации, который сможет подстраивать характеристики, исходя из результатов прошлых тестов.

Подсчитывая вручную или на компьютере, разработчик повторяет метод проб и ошибок до тех пор, пока не избавится от потерь в рабочих характеристиках. Финальный набор параметров может быть загружен в контроллер, чтобы действительные параметры процесса были близки к желаемым в реальных рабочих условиях.

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС ИЛИ КОММЕРЧЕСКИЙ УСПЕХ**

Пока мы обсуждали стратегию в основном с технической точки



зрения, но не стоит забывать о том, что важны и коммерческие детали. Питер Мартин (Peter Martin), вице-президент по поставкам корпоративного уровня Invensys Operations Management (IOM), советует понять, что на самом деле имеет значение. Он говорит: «Процесс под контролем, если каждый цикл выдает ответ, который постоянно приводит к достижению цели. Это обычно включает в себя концептуальную поэтапную стратегию, в первую очередь сфокусированную на максимальной доходности. Традиционно оптимизаторы стараются удовлетворить этому требованию, но быстрое развитие бизнеса делает этот подход непрактичным».

Возможно, это не очень хорошо — говорить, что схема работы устройства вторична по сравнению с бизнесом, но это реалии производства. Вопрос, который стоит задать самому себе: уверены ли вы в том, что вам известны абсолютно все требования и параметры? Все же следует уделять внимание тем факторам, которые влияют на развитие бизнеса.

**ОСНОВНЫЕ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Приведенная диаграмма показывает параметр процесса, реагирующий на изменение контрольной точки в случае, когда контроллер настроен на очень агрессивное устранение разницы в кратчайшие сроки. Значения всех четырех рабочих характеристик могут быть тщательно подобраны путем измерения того, как далеко первый и второй пики от установленного значения (A и B соответственно), величины, на которую изменилось значение (C), времени (D), требую-

щегося для достижения переменной этого значения впервые после этого изменения, и времени (E), которое требуется для установления величины переменной в пределах 5% от нового установленного значения:

- Ошибка (в процентах) = 100 A/C
- Скорость затухания = B/A
- Время нарастания = D
- Время установления значения = E

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

$$\int_0^T |e(t)| dt$$

интеграл абсолютных ошибок

$$\int_0^T e^2(t) dt$$

интеграл квадратичного отклонения

$$\int_0^T |e(t)|t dt$$

интеграл времени и абсолютных ошибок

Эти характеристики учитывают отклонение изменяемого параметра от заданного значения в каждый момент времени в течение периода T. Настройка контроллера для того, чтобы снизить каждую из этих величин, дает различные рабочие характеристики для цикла с обратной связью. Например, минимизирование интеграла времени и абсолютных ошибок приводит к тому, что контроллер ведет себя очень агрессивно, чтобы устранить ошибки, которые возникают перед окончанием периода T, особенно в «хвосте» графика. ●