

УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

УДК 62-533.6

С.В. Иносов, Т.Г. Соболевская, К.В. Сидун

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

СИНТЕЗ ДИНАМИЧЕСКОГО КОРРЕКТОРА ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Предложена методика синтеза динамического корректора тепловой инерционности датчика температуры. Динамический корректор позволяет частично компенсировать тепловую инерционность датчика и улучшить быстродействие измерительного канала.

Ключевые слова: датчик температуры, динамическая коррекция, обработка сигналов, цифровые фильтры, оптимизация

Постановка проблемы

При вводе в управляющий компьютер аналогового сигнала последний преобразуется в поток действительных чисел (цифровой сигнал) в результате периодической выборки значений, считываемых с датчика. Инерционность датчика (например, тепловая инерционность датчика температуры) ограничивает быстродействие измерительного канала. Обработывая входной поток чисел специальной программой (динамическим корректором), можно частично компенсировать инерционность датчика, улучшить быстродействие измерительного канала и уменьшить динамические ошибки измерений.

Анализ последних исследований и публикаций

В связи с переходом к цифровой обработке сигналов в последнее время возросла актуальность исследований в области цифровой фильтрации сигналов и синтеза оптимальных цифровых фильтров разного назначения [1;2].

Цель исследования

Задачей данной работы является отработка методики синтеза динамического корректора датчика температуры. Синтез сводится к решению оптимизационной задачи. Критерием оптимальности принят минимум среднеквадратичной динамической погрешности измерения при скачке измеряемой величины (температуры). Основным ограничением является коэффициент усиления шумов измерения.

Изложение основного материала

Корректор представляет собой линейный инерционный стационарный (ЛИС) алгоритм фильтрации цифровых сигналов в реальном времени. Дискретная передаточная функция корректора в нерекурсивной форме имеет вид:

$$B_0 + B_1 \cdot z^{-1} + \dots + B_N \cdot z^{-N},$$

где z^{-1} – оператор запаздывания на один такт;

$B_0 - B_N$ – массив весовых коэффициентов корректора;

N – порядок корректора (для иллюстрирующего примера $N = 9$).

Программа динамического корректора работает в цикле. На каждом очередном такте осуществляется ввод входного значения X_0 от датчика температуры. После ввода соответствующего числа программа вычисляет и выдает выходное значение Y_0 (скорректированная температура) на данном такте как свертку (сумму попарных произведений) массива N предыдущих значений входа ($X_0 - X_N$), сохраненных в оперативной памяти, и массива весовых коэффициентов (констант) динамического корректора ($B_0 - B_N$).

Целью синтеза является нахождение численных значений весовых коэффициентов ($B_0 - B_N$), обеспечивающих оптимальную компенсацию инерционности датчика температуры. То есть синтез корректора реализуется как оптимизационная задача. Весовые коэффициенты корректора подбираются из условия минимума динамической погрешности измерительного канала. Постановка оптимизационной задачи следующая (рис. 1).

Экспериментально полученная переходная функция X (реакция на единичный скачок температуры в виде потока чисел) канала измерения

пропускается через корректирующий нерекурсивный ЛИС фильтр с произвольными начальными значениями весовых коэффициентов B_0, B_1, B_2, \dots . Полученная скорректированная переходная функция Y сравнивается с идеальной реакцией (задержанный на 1-2 такта единичный скачок). Задержка должна быть минимальной, но не меньше реального запаздывания реакции датчика, иначе идеал, к которому мы стремимся, будет физически нереализуемым.

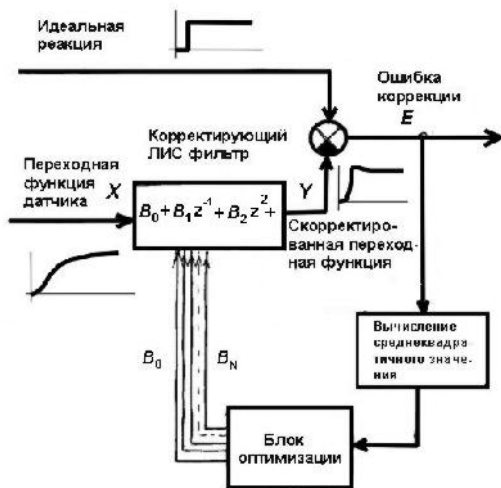


Рис. 1. Схема синтеза динамического корректора

Разность между идеальной и реальной переходными функциями является динамической ошибкой коррекции E . Для динамической ошибки вычисляем среднеквадратическое значение. Это и будет критерий оптимизации, который мы стараемся минимизировать. Блок автоматической оптимизации подберет весовые коэффициенты так, чтобы достичь минимума среднеквадратичной ошибки динамической коррекции.

При оптимизации учитывается следующее ограничение. Корректор компенсирует инерционность за счет форсировки переходных процессов, следовательно он усиливает случайные шумы измерения. Коэффициент усиления «белого шума» K вычисляется через весовые коэффициенты по формуле:

$$K = \frac{\sqrt{B_0^2 + B_1^2 + \dots + B_N^2}}{B_0 + B_1 + \dots + B_N}$$

Чем сильнее форсировка, тем лучше быстроедействие, но тем больше усиливаются случайные шумы, которые всегда присутствуют в границах точности канала измерения. Усиление шума приведет к реальному уменьшению точности измерения. Поэтому коэффициент усиления шума нужно ограничить. Численное значение допустимой

верхней границы для коэффициента K можно принять в диапазоне от 2 до 5, в зависимости от имеющегося запаса точности канала измерения. Это и будет основное ограничение при оптимизации.

Кроме того, сумма весовых коэффициентов $B_0 + B_1 + \dots + B_N$ корректора (то есть его статический коэффициент передачи) должна равняться единице. Это будет дополнительное ограничение при оптимизации.

Задача оптимизации решалась с помощью электронных таблиц EXCEL. Ниже приводятся результаты синтеза динамического корректора датчика температуры для иллюстрирующего примера. В результате оптимизации получена такая весовая функция динамического корректора (рис. 2).

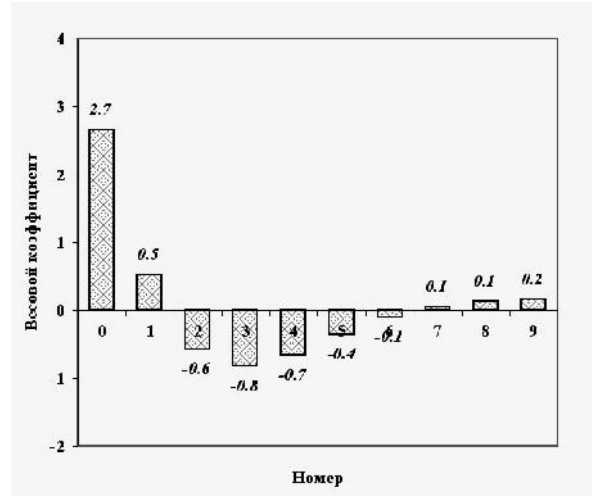


Рис. 2. Весовая функция динамического корректора (массив весовых коэффициентов)

Синтезованный корректор действительно обеспечивает уменьшение инерционности канала измерения (рис. 3). Переходная функция канала измерения (реакция на единичный скачок температуры) с корректором значительно ближе к идеальной. Длительность переходного процесса уменьшилась в три раза.

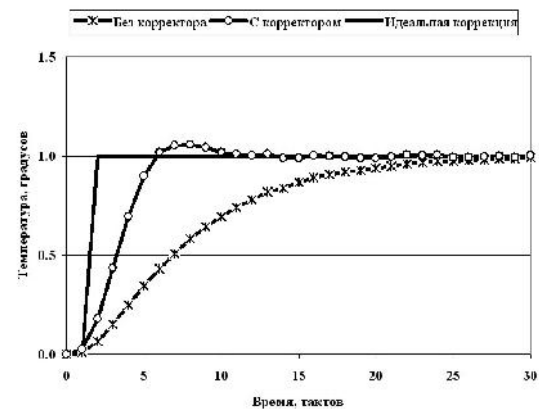


Рис. 3. Переходная функция канала измерения без корректора, с корректором и идеальная

Но эффект уменьшения инерционности достигается ценой увеличения уровня шумов измерения в 3 раза. (Эта величина была принята в качестве ограничения при решении оптимизационной задачи). Эффект усиления шумов четко виден на графике «хвоста» переходной функции в увеличенном масштабе (рис. 4).

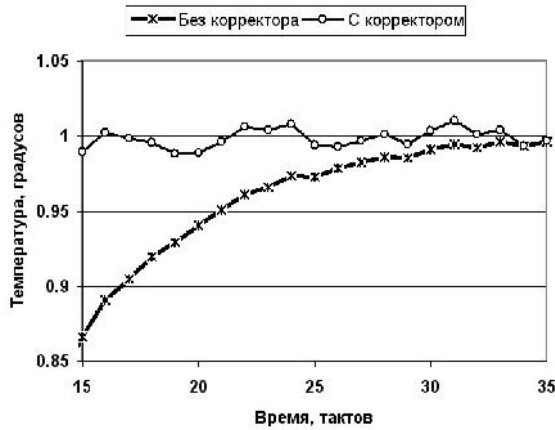


Рис. 4. «Хвост» переходной функции канала измерения с корректором и без него

Мерой эффективности динамической коррекции является уменьшение реальной инерционности канала измерения. Это уменьшение можно независимо оценить, например, величиной запаздывания, которое канал измерения вносит в медленно изменяющиеся процессы. В качестве примера можно использовать равномерное увеличение температуры (рис. 5).

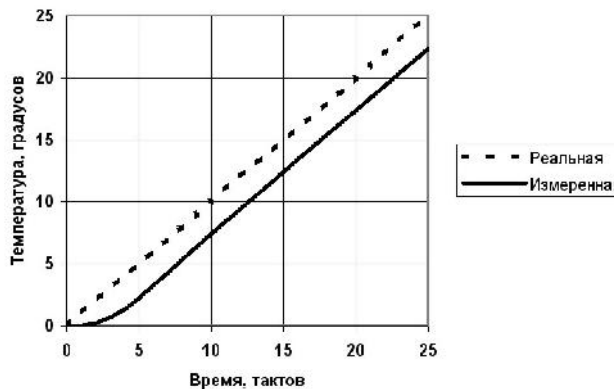


Рис. 5. Реакция канала измерения с корректором на равномерное увеличение температуры

Динамический корректор уменьшает указанное запаздывание с 8 до 2.5 тактов, но за счет увеличения уровня шумов в канале измерения в 3 раза (рис. 6). Принятый вариант является компромиссным. Дальнейшее уменьшение запаздывания неоправданно, так как сопровождается резким увеличением шумов. Полностью устранить запаздывание физически невозможно. Компромиссная зависимость между

запаздыванием в канале измерения и коэффициентом усиления шумов приведена на рис. 6.

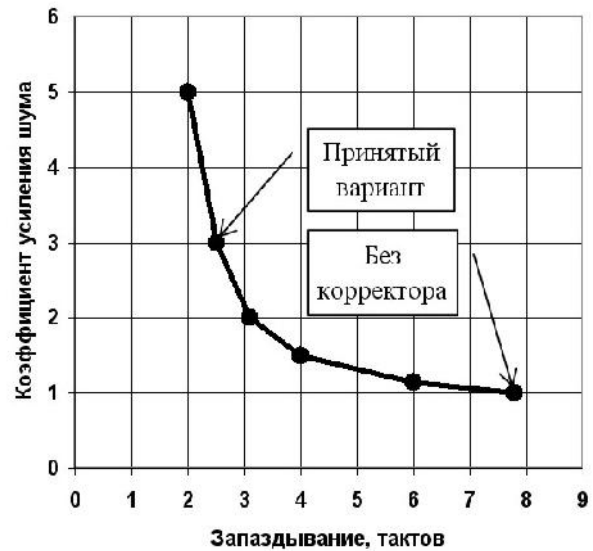


Рис. 6. Компромиссная зависимость между запаздыванием в канале измерения и коэффициентом усиления шумов

Выводы

Динамический корректор позволяет частично компенсировать инерционность датчика и улучшить быстродействие измерительного канала.

Синтез динамического корректора – это результат компромисса между повышением быстродействия и усилением шумов измерения.

Порядок динамического корректора N рекомендуется выбирать в 2 – 3 раза меньше длительности переходного процесса датчика (в тактах).

Список литературы

1. Гольденберг Л.М. и др. *Цифровая обработка сигналов.* – М.: Радио и связь, 1985. – 307с.
2. Гутников В.С. *Фильтрация измерительных сигналов.* – Ленинград: Энергоатомиздат, 1990. – 189с.

Статья поступила в редколлегию 6.11.2011

Рецензент: М.В Мислович, д-р техн. наук, проф. завідувач науковим відділом Інституту електродинаміки НАН України.