

К. т. н. В. И. ГОРДИЕНКО, С. А. ГУСАЧЕНКО,
Н. В. КЛЕЦКИЙ, Г. И. МЫТНИК, А. Я. ХОМЧЕНКО

Украина, г. Черкассы, НПК «Фотоприбор»
E-mail: photopribor@ic.ck.ua

Дата поступления в редакцию
11.08 2008 г.

Оппонент д. т. н. В. С. СИТНИКОВ
(ОНПУ, г. Одесса)

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИИ ПОМЕХ МЕТОДОМ α -УСЕЧЕННОГО СРЕДНЕГО В УСТРОЙСТВАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ «УГОЛ–КОД»

Представлен алгоритм одновременной фильтрации нормальной шумовой и импульсной помех методом α -усеченного среднего. Экспериментальная проверка показала, что алгоритм обеспечивает приемлемую помехоустойчивость тракта измерения сигналов СКВТ.

Традиционно в высокоточных устройствах преобразования «угол–код» систем измерения угловых положений объектов широко используются синусно-косинусные вращающие трансформаторы (СКВТ). Их сигналы в виде угла рассогласования между положением ротора относительно статора используются для измерения положения объекта. При этом одной из актуальных задач современных устройств преобразования «угол–код» остается повышение точности измерения.

Появление аналого-цифровых преобразователей (АЦП) высокой разрядности (до 24 бит) позволяет получать результат измерений высокой точности, однако разрядность результата сильно ограничена шумами и помехами. Преобразователи «угол–код» часто устанавливаются в мобильные комплексы с ограниченными габаритами, насыщенные радиоэлектронной аппаратурой и силовыми электрическими приводами. Это делает проблему помехоустойчивости преобразователей «угол–код» одной из главных проблем повышения точности результатов измерений, которая еще и усложняется тем, что законы распределения помех в мобильных комплексах заранее неизвестны. Принятия одних конструктивных мер повышения помехоустойчивости измерительной аппаратуры может оказаться недостаточным. В то же время, появление современных недорогих микроконтроллеров с большим объемом памяти на кристалле позволяет производить цифровую обработку результатов измерений в реальном времени с одновременной фильтрацией помех.

Помехи, действующие на преобразователи «угол–код», можно упрощенно разделить на шумовые и импульсные.

Проблема подавления шумовых нормально распределенных помех в устройствах преобразования «угол–код» с помощью алгоритма выборочной средней рассматривалась в работе [1, с. 161].

В данной статье представлен алгоритм одновременной фильтрации нормальной шумовой и импульсной помех методом α -усеченного среднего в микроконтроллерном устройстве преобразования «угол–код» на СКВТ, а также ее экспериментальная оценка.

Обобщенная структура микроконтроллерного преобразователя «угол–код» на СКВТ, соединенного с персональным компьютером для обработки информации, представлена на рис. 1.

Угловое положение ротора СКВТ определяется двумя напряжениями, пропорциональными углу поворота θ , а именно $U_s \sim \sin\theta$, $U_c \sim \cos\theta$ [2, с. 276].

Для возбуждения СКВТ на обмотку возбуждения подается переменное напряжение U_b от генератора синусоидального сигнала (ГСС).

Синусоидальные переменные напряжения U_s и U_c с выходных обмоток СКВТ через масштабирующие операционные усилители (МОУ) подаются на вход встроенного в микроконтроллер (МК) аналого-цифрового преобразователя. Цифровой код угла поворота ротора СКВТ после АЦП и алгоритмической фильтрации помех в МК передается по интерфейсу RS-232 на персональный компьютер (ПК).

При аналого-цифровом преобразовании к измеряемым сигналам U_s и U_c добавляются собственные шумы АЦП и шумы питания. Собственные шумы АЦП включают температурные шумы и шумы квантования, которые распределены по нормальному закону [3, с. 379]. Для встроенного АЦП микроконтроллера ATmega32 собственные шумы составляют ± 2 младших значащих разряда [4, с. 201]. Таким образом, эффективная разрешающая способность 10-разрядного АЦП, в лучшем случае (при отсутствии шумов по питанию), составит 8 разрядов, которые не подвержены «дрожанию».

При использовании АЦП опорное напряжение для преобразования формируется, как правило, из напряжения питания +5 В, поэтому шумы питания непосредственно проявляются в результатах АЦП и приводят к нестабильному состоянию («дрожанию») битов в младших разрядах кода. При опорном напряжении АЦП, равном напряжению питания +5 В, и разрядности АЦП, равной 10, минимальный шаг квантования АЦП по напряжению составит $(5/2^{10})=4,8$ мВ.

Таким образом, при шуме питания (размахе выходных пульсаций), превышающем по амплитуде 5 мВ, что типично даже для хороших блоков питания, по-

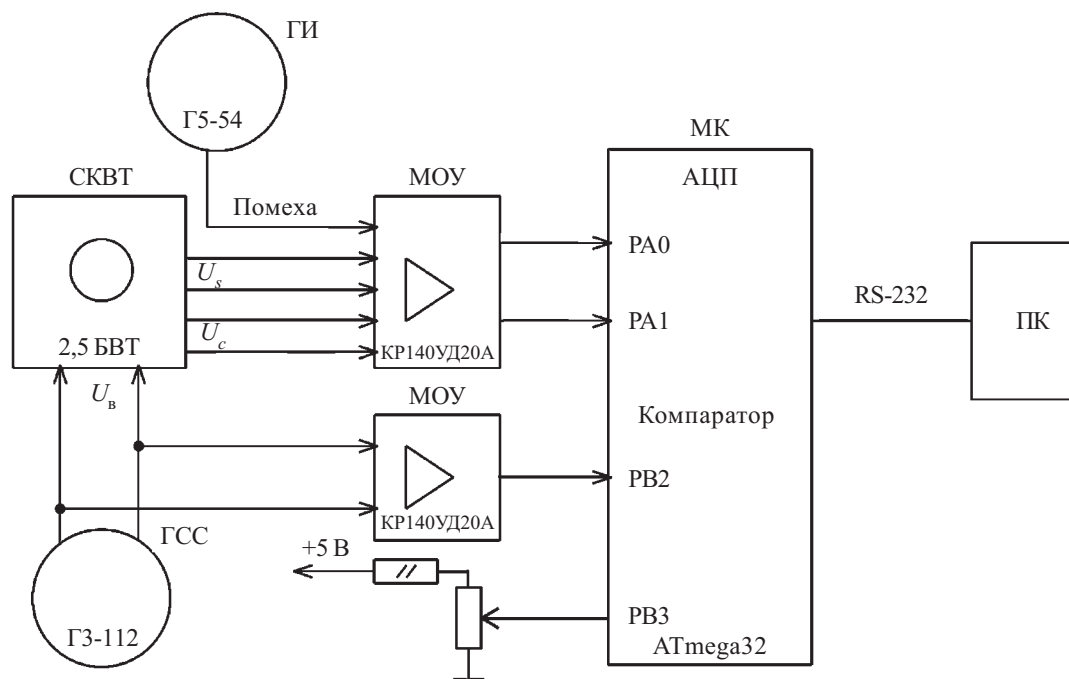


Рис. 1. Структурная схема микроконтроллерного преобразователя «угол–код»

меха появится в результатах аналого-цифрового преобразования. Шумовая помеха по питанию, является стационарным случайным процессом, зависит от большого количества факторов, статистически распределена по нормальному закону и является гауссовской [3, с. 116].

В представленном эксперименте импульсная помеха имитировалась с помощью генератора импульсов Г5-54 и искусственно вводилась в тракт измеряемых сигналов СКВТ со следующими параметрами: частота следования импульсов 20 Гц; амплитуда 5 В; длительность импульса помехи 200 мкс.

Для дополнительного повышения помехозащищенности измерения амплитудно-модулированных сигналов СКВТ U_s и U_c в схеме преобразователя «угол–код» с помощью встроенного компаратора МК реализован принцип синхронного детектирования полезного сигнала на фоне помех, по которому измерение сигнала начинается при достижении заданного уровня сигнала обмотки возбуждения U_b . Синхронное детектирование обеспечивает дополнительную помехозащищенность измеряемых сигналов [3, с. 255], поскольку синхронный детектор фильтрует импульсные помехи, приходящие не в момент синхронного измерения, и позволяет произвести настройку на максимум полезного сигнала в момент измерения.

Наибольшее распространение для одновременной цифровой фильтрации нормально распределенного шума и импульсных помех с неизвестным законом распределения при медленно изменяющихся входных сигналах получил метод α -усеченной средней оценки [5, с. 165].

Рассмотрим алгоритм получения α -усеченной средней оценки $\eta(\alpha, n)$ неизвестного измеряемого напряжения сигнала U по ряду измерений $\{X_i\}$:

$$X_1 = U + \xi_1 + \psi_1;$$

$$X_2 = U + \xi_2 + \psi_2;$$

$$\dots\dots\dots$$

$$X_n = U + \xi_n + \psi_n;$$

где ξ_i , ψ_i — реализации аддитивной шумовой и импульсной помех в момент измерения, соответственно.

Выборка измерений $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ упорядочивается по амплитуде, и с обоих концов выборки (из области минимальных и максимальных значений) удаляется по α значений, среднее берут по оставшейся части выборки. Таким образом удаляются аномальные выбросы X_i , «пораженные» импульсной помехой, а операция усреднения центральной части упорядоченного ряда выборки уменьшает влияние нормальных шумов.

При оптимизации метода α -усеченного среднего решается задача выбора уровня усечения $[\alpha_n]$. Имеем α -усеченное среднее по измерениям $\{\eta_i\}$:

$$\eta(\alpha, n) = \frac{1}{n - 2[\alpha_n]} \sum_{i=[\alpha_n]+1}^{n-[\alpha_n]} \eta_i = \frac{1}{n - 2r} \sum_{i=r+1}^{n-r} \eta_i,$$

где $r = [\alpha_n]$.

Параметр усечения α можно выбирать из условия минимизации выборочной дисперсии оценки $\eta(\alpha, n)$, которая имеет вид

$$\sigma^2(\alpha) = \frac{1}{(1 - 2\alpha)^2} \left\{ (r+1)[\eta_{(r+1)} - \eta(\alpha, n)]^2 + \right. \\ \left. + (r+1)[\eta_{(n-1)} - \eta(\alpha, n)]^2 + \sum_{i=r+2}^{n-r-1} [\eta_i - \eta(\alpha, n)]^2 \right\}.$$

Уровень усечения $[\alpha_0]$ можно определить по минимуму дисперсии оценки $\eta(\alpha, n)$ как $\alpha_0 = \arg \{ \min \sigma^2(\alpha) \}$.

С ростом числа измерений n и уровня усечения α дисперсия оценки $\sigma^2(\alpha)$ уменьшается, что приводит к повышению качества фильтрации помех с помощью данного алгоритма. В [5, с. 166] при модели помех, близкой к нормальной, рекомендовано использовать 25%-ное усечение слева и справа, поскольку такая оценка достаточна для минимизации $\sigma^2(\alpha)$ и не усложняет процедуру вычислений.

Для практической реализации алгоритма α -усеченного среднего из результатов АЦП в ОЗУ микроконтроллера создается буферный массив данных измерений длиной в 16 измерений ($n=16$), организованный по принципу очереди FIFO («первый вошел» — «первый вышел»). (Число измерений $n=16$ было выбрано экспериментально как оптимальное с точки зрения загрузки памяти микроконтроллера и обеспечения минимально допустимого уровня фильтрации помех.) Результат каждого нового измерения АЦП записывается в очередь, при этом результат самого раннего измерения из очереди удаляется. После каждого обновления очереди производится сортировка и ранжирование элементов выборки измерений по возрастанию амплитуды. После сортировки с каждого края упорядоченного массива отбрасывается по 4 элемента ($\alpha=4$). Из оставшихся 8 элементов центральной части массива вычисляется среднее. Отдельно формируются массивы измерений для сигнала U_s и сигнала U_c .

В результате экспериментальных исследований устройства измерения угловых координат на базе СКВТ 2,5 БВТ была произведена экспериментальная проверка алгоритма α -усеченного среднего с параметрами $n=16$, $\alpha=4$, и получена зависимость величины измеряемого угла поворота СКВТ во времени при

воздействии гауссовских шумов и импульсных помех. Режим работы СКВТ статический, вал ротора находится в устойчивом фиксированном положении при угле поворота 45° . Такое положение выбрано, исходя из того, что при этом угле уровни выходных сигналов U_s и U_c равны, а значит и отношения сигнал/помеха примерно одинаковы: $U_s/(\xi+\psi)=U_c/(\xi+\psi)$. Через каждые 2,5 мс (частота сигнала обмотки возбуждения U_b 400 Гц) микроконтроллер по прерыванию от компаратора последовательно осуществляет преобразование сигналов U_s , U_c . При этом компаратор настроен на напряжение 3,5 В сигнала U_b , что обеспечивает максимум сигналов U_s и U_c . Далее микроконтроллер производит обработку результатов измерений по алгоритму α -усеченного среднего, вычисляет угол поворота ротора СКВТ и передает результаты на ПК для построения графика зависимости угла поворота от времени.

На рис. 2, а представлены результаты измерений угла поворота ротора СКВТ без цифровой фильтрации при шумовой нормально распределенной и импульсной помехах во времени. Здесь видно, что максимальное отклонение результата при прохождении импульсной помехи составляет почти $900'$ (15°), что совершенно неприемлемо, поскольку допустимая погрешность измерения результата не должна превышать $3'$. Заметна и шумовая составляющая помехи между импульсными выбросами. То есть очевидна необходимость принятия дополнительных алгоритмических мер по помехоустойчивости тракта измерения угла поворота ротора СКВТ.

На рис. 2, б представлены значения угла поворота ротора СКВТ при реализации выборочного усреднения результатов 16 последних измерений. Как видно,

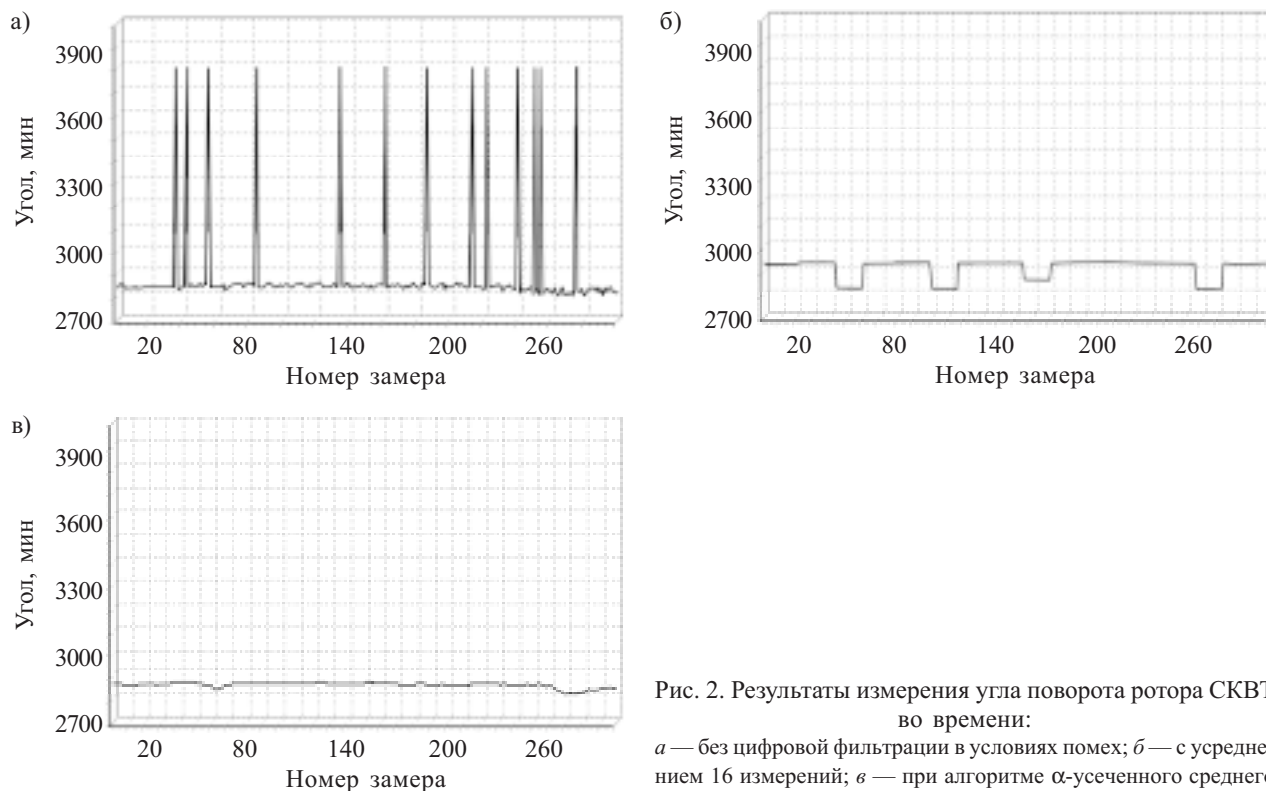


Рис. 2. Результаты измерения угла поворота ротора СКВТ во времени:

а — без цифровой фильтрации в условиях помех; б — с усреднением 16 измерений; в — при алгоритме α -усеченного среднего

простое усреднение не может обеспечить полную фильтрацию импульсных помех, поскольку отклонение полезного сигнала в момент выброса помехи может составлять $100'$ ($1,66^\circ$).

На рис. 2, в представлены значения угла поворота ротора СКВТ при реализации алгоритма α -усеченного среднего.

Полученные результаты показывают, что алгоритм α -усеченного среднего обеспечивает не только наилучшее подавление импульсной помехи, но и допустимое усреднение шумовой нормально распределенной помехи.

Таким образом, экспериментальная проверка алгоритмов фильтрации помех в схеме микроконтроллерного преобразователя «угол–код» показала, что алгоритм α -усеченного среднего обеспечивает при-

емлемую помехоустойчивость тракта измерения сигналов СКВТ в условиях нормально распределенных шумов и импульсных помех.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бормотов В. П., Гордиенко В. И., Гусаченко С. А. и др. Исследование алгоритмической фильтрации гауссовских помех методом выборочной средней в системах преобразования «угол–код» // Вестник Черкасского гос. тех. ун-та. — 2007. — № 3–4. — С. 161–164.
2. Брускин Д. Э., Зохорович А. Е., Хвостов В. С. Электрические машины и микромашины. — М.: Высшая школа, 1990.
3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Радио и связь, 1986.
4. 8-bit AVR microcontroller with 32K bytes in-system programmable flash ATmega32. Datasheet. - 338 p. (www.atmel.com/literature/).
5. Методы электрических измерений / Под ред. Э. И. Цветкова. — Л.: Энергоатомиздат, 1990.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Стивен Смит. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников (+CD).— М.: Додека, 2008.— 720 с.

Цель книги — описать практический подход к цифровой обработке сигналов, позволяющий преодолеть барьер сложной математики и абстрактной теории традиционных учебников. В ней изложены основы теории цифровой обработки сигналов. Материал изложен доступно, а методы и алгоритмы объяснены так, как они понимаются при практическом использовании. Приведено большое количество примеров, иллюстраций и текстов программ, которые можно найти на прилагаемом CD.

Для научных работников и инженеров, желающих применять методы цифровой обработки в различных технических сферах. Рекомендуются аспирантам и студентам, изучающим цифровую обработку сигналов.

НОВЫЕ КНИГИ



Ровдо А. А. Схемотехника усилительных каскадов на биполярных транзисторах.— М.: Додека, 2008.— 256 с.

В книге подробно рассматриваются все вопросы, связанные с конструированием типовых одностранзисторных усилительных каскадов на биполярных транзисторах. Без привлечения сложных формул описываются некоторые физические эффекты, лежащие в основе усилительных свойств транзистора. Приводятся всевозможные способы установки режимов работы транзисторов по постоянному току, формулы для расчетов номиналов элементов в схемах. Рассматриваются методы анализа усилительных каскадов на биполярных транзисторах для переменных сигналов, а также сам анализ для некоторых типичных схемотехнических решений, в том числе и с цепями внутрикаскадных ООС. Кроме того, в книгу вошли разнообразные примеры использования усилителей на биполярных транзисторах в реальной схемотехнике, подробное изложение порядка разработки подобных устройств, описание основных параметров электронных усилителей и многое другое, что может оказаться полезным при изучении теоретической радиоэлектроники и практическом конструировании, проектировании, анализе и ремонте схем.

Для радиоинженеров, студентов радиотехнических специальностей, широкого круга радиолюбителей и специалистов.