

## СИНТЕЗ СТРОБОСКОПИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*С.М. Крылов, Д.В. Лавров, М.В. Сараев*

Самарский государственный технический университет,  
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассматриваются вопросы синтеза различных стробоскопических алгоритмов для многоцелевых (многофункциональных) гетерогенных информационно-измерительных систем, позволяющих существенно поднять разрешающую способность по времени при измерении различных связанных с ним (временем) параметров.*

*Ключевые слова:* микроэлектроника, электронные гетерогенные системы, системы на кристалле, функциональные блоки, стробоскопический метод, конфигурируемые блоки, АЗУ, PSoC.

В работах [1,2] рассмотрен ряд базовых концепций, позволяющих эффективно разрабатывать многоцелевые программируемые аналого-цифровые электронные гетерогенные системы (МПАЦ ЭГС), которые содержат функциональные блоки, работающие с разнородными (гетерогенными) типами электрических сигналов, - например, с такими, как цифровые сигналы, представленные уровнями тока и напряжения, и с аналоговыми сигналами, представленными фазой, уровнями напряжения и (или) тока, длительностью импульсов, и т.д. и т.п. Важное место среди выполняемых этими МПАЦ ЭГС функций являются функции, связанные с получением пространственно-временных характеристик сигналов, - например, в виде осциллограмм, причём важнейшими параметрами при этом являются как параметры, связанные с точностью (дискретностью) представления сигнала по уровню (амплитуде), так и с точностью (и дискретностью) привязки этих уровней к шкале реального времени. В настоящее время для повышения точности и дискретности привязки различных *стационарных* анализируемых процессов к временной шкале широко используется так называемый «стробоскопический» метод [2], при котором на каждом очередном шаге проводимого сеанса измерений момент фиксации различных точек осциллограммы изучаемого (анализируемого) процесса сдвигается относительно его фиксированной точки начала на заданную величину, так что в итоге сеанса мы получаем набор точек осциллограммы, как бы отстоящих друг от друга по времени на определённый интервал, который - что очень важно - может быть существенно меньше, чем интервал, определяемый реальными физическими характеристиками измерительного тракта (максимально возможной частотой дискретизации аналогового сигнала /<sub>max</sub>, временем преобразования АЦП, числом анализируемых каналов и т.д.). При этом *стационарность* процесса играет важнейшую роль, так как для нестационарных процессов данный метод вообще оказывается неприменим.

*Крылов Сергей Михайлович - профессор кафедры «Вычислительная техника», д.т.н., профессор.*

*Лавров Дмитрий Владимирович - аспирант.*

*Сараев Михаил Владимирович - аспирант.*

В простейшем случае, когда сдвиг по времени для фиксации очередной точки анализируемого *стационарного* процесса одинаков, математическое выражение, описывающее упорядоченное множество  $M$  полученных в ходе реализации текущего сеанса измерений выборок сигнала, может быть представлено следующей формулой:

$$M = \{ \hat{y}_j = L / \Delta = L, \Gamma \Delta, / - 0, 1, 2, \dots, (j - 0), \quad (O)$$

где  $\hat{y}_j$  - значение очередной  $j$ -той выборки стробоскопического сеанса измерений,  $A_{in}$  - значение входного сигнала в момент  $t_j$ , совпадающее при строгой стационарности анализируемого процесса со значением сигнала в тот же момент  $t_j$ ,  $\Delta$  - псевдоинтервал между получающимися в ходе дискретизации (фиксации) соседними выборками сигнала (с учётом стробоскопической организации алгоритма),  $j$  - номер очередного шага текущего сеанса стробоскопических измерений,  $n$  - общее число измерений в текущем стробоскопическом сеансе плюс единица.

Как уже отмечалось, для стробоскопических алгоритмов характерно то, что величина  $1/\Delta$  при этом может быть существенно большей максимально-возможной частоты непрерывной дискретизации аналогового сигнала  $f_{max}$  для имеющегося оборудования, то есть реальный стробоскопический интервал  $T_{sc}$  прошедший с момента выполнения предыдущего шага текущего стробоскопического сеанса, может значительно превышать длительность  $T_{max}$  интервала непрерывной дискретизации для  $f_{max}$  то есть:  $T_{sc} \gg T_{max} = 1/f_{max}$ . Эта особенность, собственно, и объясняет эффективность стробоскопических методов, позволяющих существенно снизить требования к быстродействию АЦП. Заметим, что при принятых нами допущениях минимальное значение длительности одного стробоскопического интервала  $T_{sc}$  может быть определено так:

$$T_{sc} = (n - 1)T + T = nT. \quad (2)$$

При этом общая длительность  $T_{sc}$  текущего стробоскопического сеанса, состоящего из  $(n - 1)$  шагов (стробоскопических интервалов  $T_{sc}$ ), составит величину

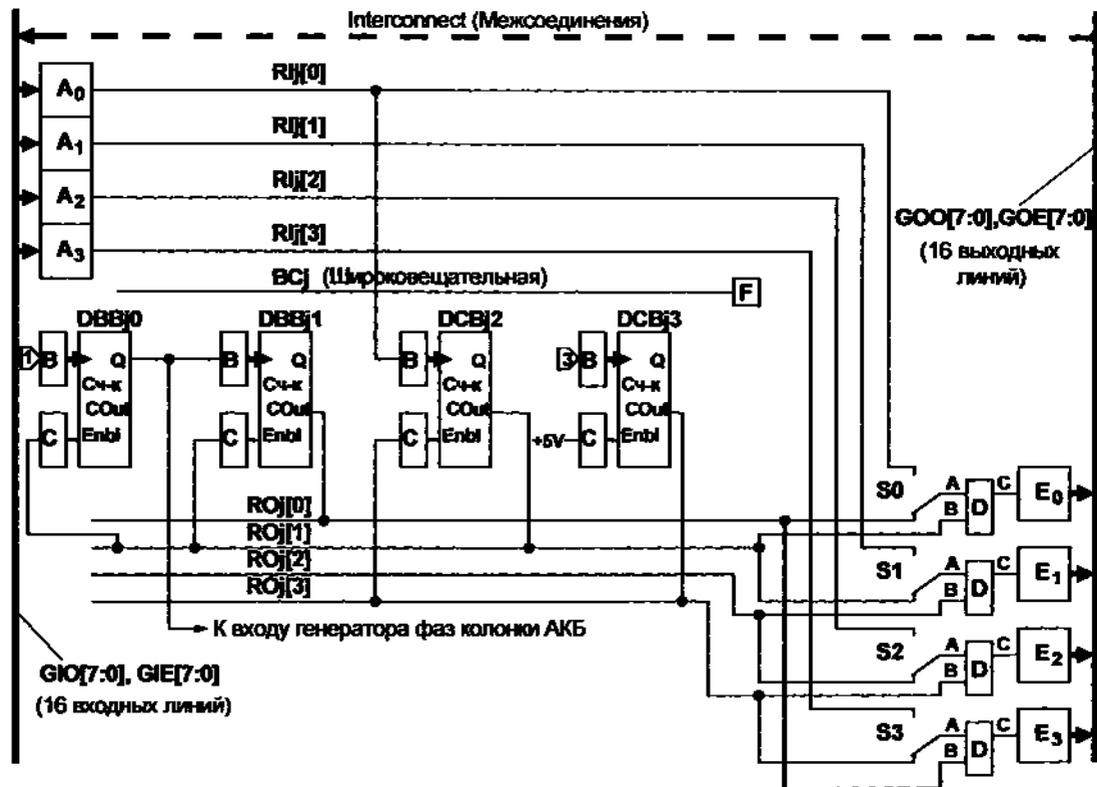
$$T_{sc} = (n - 1)T + T = nT.$$

Анализ формулы (1) показывает, что её функциональность может быть реализована гетерогенным функциональным блоком (ФБ), содержащим два входа - непрерывный (аналоговый) вход для сигналов  $A_{in}$  и дискретный (цифровой) вход для сигналов  $\hat{y}_j$ . При этом выходным сигналом для такого ФБ после выполнения очередного шага с длительностью, определяемой выражением (2), будет значение входного сигнала  $\hat{y}_j$  в момент времени  $t_j$ , то есть уровень  $A_{in}(t_j)$  - рис. 1.

Как видно из рис. 1, функциональность схемы полностью вписывается в двухвходовые типы гетерогенных функциональностей  $\{F_1 - F_2\}$  из [1] и  $\{F_1 - F_2\}$  из [3], то есть может рассматриваться как одна из базовых для соответствующей технологии стробоскопической обработки аналоговых сигналов.

В случае использования в качестве МПАЦ ЭГС системы на кристалле типа PSoC [4], функции *Генератора* и *Сч-ка i* могут выполнять 8-разрядные конфигурируемые цифровые блоки (КЦБ), однако реализация блока АЗУ в PSoC затруднена, несмотря на то, что в массиве аналоговых конфигурируемых блоков (АКБ) используются блоки на переключаемых конденсаторах, в основе функционирования которых лежат два этапа хранения аналоговой информации в виде потенциалов соответствующих переключаемых конденсаторов, то есть в АКБ используются функциональные блоки, потенциально пригодные для реализации АЗУ. В этой связи нами

тальные коммутаторы  $E_j... E_3$  находятся в выключенном состоянии, и их входные логические функции  $D$  неважны (например, могут быть функциями повторения любого входного сигнала). Наконец, счётный вход счётчика  $DCBj[3]$  подключен к делителю тактовой частоты  $VC3$ , настроенному на рабочую частоту 1МГц, а вход разрешения счётчика  $DCBj[3]$  подключен к постоянному разрешающему уровню +5 вольт («Лог.1»). Все перечисленные выше блоки -  $A_j$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $D$ ,  $VC1$  и  $VC3$  могут настраиваться на нужный режим из оболочки PSoC Designer.



Р и с. 3. Схема синхронизации и запуска выполнения операции записи  $U_{ex}$  в АКБ на ПК по схеме АЗУ рис. 2. Каждый ЦКБ ( $DBVj0...DCBj3$ ) настраивается на режим 8-разрядного счётчика. Входы ЦКБ, обозначенные стрелками, являются счётными входами. Входы  $Enbl$  - входы разрешения работы счётчиков. Выходы  $Q$  - выходы счётчиков, причём выход  $Q$  счётчика  $DBVj0$  подключается к схеме фазирования соответствующей колонки АКБ, а выходы  $COut$  - выходы компараторов сравнения счётчиков ( $CompareOut$ ).

Коэффициенты деления счётчиков равны соответственно: для  $DBVj[0]$  - 11 (порог сравнения компаратора равен 5, тип сравнения - «меньше или равно»), для  $DBVj[1]$  - 3 (порог сравнения компаратора равен 1, тип сравнения - «меньше чем»), для  $DCBj[2]$  - 1 (порог сравнения компаратора равен 1, тип сравнения - «меньше или равно»), и для  $DCBj[3]$  - 7 (порог сравнения компаратора равен 4, тип сравнения - «меньше чем»).

Счётчик  $DCBj[2]$  фиксирует по входу  $Enbl$  передний фронт импульса запуска процедуры записи в АЗУ. Момент фиксации определяется частотой и фазой сигнала, поступающего на его счётный вход. При положительном фронте этого сигнала (т.е. на счётном входе счётчика  $DCBj[2]$ ), счётчик  $DCBj[2]$  переключается из 0 в 1, и сиг-

нал с его выхода  $Count$  переходит из высокого состояния в низкое, останавливая (из-за инверсии соответствующих сигналов  $E_{PI}$ ) работу счётчиков  $DBVj[0]$  и  $DBVj[1]$ . Важно отметить, что счётные импульсы поступают на счётный вход счётчика  $DCVj[2]$  как результат совпадения импульсов с выхода  $Count$  счётчика  $DBVj[1]$  и отсутствия (т.е. низкого уровня) собственного выходного сигнала  $Count$ . Таким образом, после отсчёта первого же импульса с выхода компаратора  $Count$  счётчика  $DBVj[1]$  счётчик  $DCVj[2]$  останавливает сам себя, и его следующий запуск возможен только при его последующей перезагрузке и повторном запуске. Эта операция, как и останов с последующей перезагрузкой и запуском счётчиков  $DBVj[0]$  и  $DBVj[1]$ , выполняется подпрограммой обработки прерываний, вызываемой единичным значением выхода компаратора счётчика  $DCVj[2]$ . Заметим, что для выполнения преобразования в код запомненного в соответствующем АКБ аналогового уровня входного сигнала в этой подпрограмме обработки прерываний первой должна стоять команда остановки счётчика  $DBVj[0]$ , после которой можно (и нужно) выполнить соответствующее аналого-цифровое преобразование запомненного в АЗУ сигнала, а затем - перезагрузить и перезапустить все используемые счётчики.

Согласно схеме рис. 3 и приведённым выше настройкам с учётом того, что все счётчики работают в режиме вычитания [4], положительный фронт на выходе  $Count$   $DBVj[1]$  (совпадающий с низким уровнем сигнала  $Count$   $DCVj[2]$ ) появляется только в момент начала середины фазы  $\Phi_2$ . Таким образом, остановка всего генератора фаз соответствующей колонки АКБ происходит в нужный момент времени, то есть когда соответствующий АКБ переходит из фазы считывания входного сигнала в режим его запоминания (и последующего хранения), чем, собственно, и определяется требуемая функция АЗУ.

Как видно из схемы рис. 3 и описания её работы, счётчик  $DCVj[3]$  определяет частоту дискретизации (и запоминания) входного сигнала в АКБ, выполняющем функцию АЗУ. Если момент записи в АЗУ определяется другим источником (например, компаратором), то именно его и следует использовать в качестве источника сигнала  $E_{PI}$  счётчика  $DCVj[2]$ .

С учётом особенностей микросхем PSoC при использовании схемы запуска выполнения операции записи в АЗУ (см. рис. 3), синхронизированной с частотой тактового генератора 24 МГц, момент времени включения режима записи при использовании предложенной схемы выделения середины второй фазы в алгоритме двухфазного управления схемой АЗУ по рис. 2 оказывается равным некоторой случайной величине  $L$ :

$$A = t_s + kr_{av} \quad (4)$$

где  $t_s$  - истинный момент времени начала записи уровня входного сигнала в АЗУ,  $m_{av}$  - длительность импульса сигнала  $VC1$  (равная в данном случае примерно 0,083 мкс),  $k$  - случайная целая величина с равномерным законом распределения в диапазоне от 0 до 48.

Таким образом, максимальная погрешность момента реальной фиксации входного уровня в АЗУ при использовании данной схемы может достигать 4 мкс, что для некоторых приложений оказывается не совсем приемлемым. Более точную схему АЗУ на основе АКБ на ПК можно получить путём небольшой модернизации схем фазирования АКБ, позволяющей переходить от фазы выборки входного сигнала к фазе его запоминания практически мгновенно, а также за счёт использования схем фазирования, точно синхронизированных с сигналом момента начала записи в АЗУ. Разработка таких схем продолжается на кафедре ВТ СамГТУ.

Таким образом, в статье рассмотрены некоторые аспекты создания гетерогенных (гибридных) блоков для МПАЦ ЭГС, общие требования к которым вписываются, с одной стороны, в базовые теоретические подходы к проектированию ЭГС, рассмотренные в [1, 2, 3], а с другой стороны, хотя и не совсем оптимально, - в архитектурные возможности, предоставляемые современными МПАЦ ЭГС типа PSoC [4].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов С.М., Сараев М.В. Синтез конфигурируемых блоков для аналого-цифровых систем-на-кристалле с использованием гетерогенных функциональных компонентов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2007. - №2 (20). - С. 58-63.
2. Синтез многофункциональных гетерогенных информационно-измерительных систем на основе программируемых аналого-цифровых микроконтроллеров / А.В. Капитонов, С.М. Крылов, А.С. Крылова, Д.В. Лавров, М.В. Сараев, В.Н. Толчев // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2008. - № 1. - С. 73-78.
3. Крылов С.М. Синтез электронных блоков из гетерогенных компонентов // Компьютерные технологии в науке, практике и образовании: Труды Шестой всероссийской межвуз. науч.-практ. конф. - Самара: СамГТУ, 2007. - С. 116-119.
4. PSoC Mixed Signal Array. Final Data Sheet. CY827143, CY827243, CY827443, CY827543, and CY827643. - Cypress Semiconductor Corp., 2002-2006. Document No. 38-12012 Rev. \*K.

*Статья поступила в редакцию 9 сентября 2009 г.*

UDC 007.3+519.714.23

#### **SYNTHESES OF STROBOSCOPIC ALGORITHMS FOR MULTIPURPOSE HETEROGENEOUS MEASUREMENT SYSTEMS**

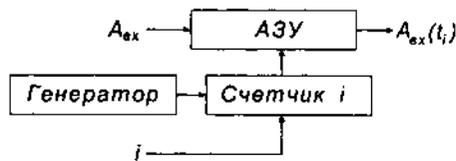
*S.M. Krylov, D. V. Lavrov, M. V. Saraev*

Samara State Technical University,  
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100

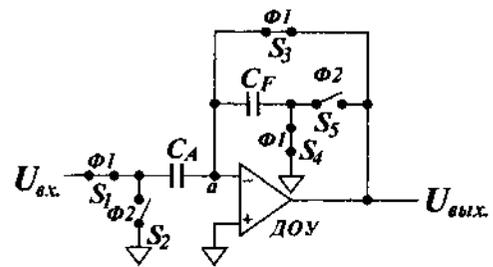
*The paper deals with basic approaches to the syntheses of stroboscope algorithms for multi-purpose heterogeneous measurement systems.*

**Key words:** *microelectronics, electronic heterogeneous systems, system-on-a-chip, functional blocks, stroboscopic methods, configurable blocks, sample and hold, PSoC.*

была предпринята попытка доработать режим функционирования АКБ (или УВХ) на переключаемых конденсаторах (АКБ на ПК) таким образом, чтобы они оказались в состоянии выполнять требуемые функции АЗУ. Один из вариантов решения этой задачи, использующий дифференциальные операционные усилители (ДОУ) и блок ПК, представлен на рис. 2.



Р и с. 1. Структурная схема реализации функциональности типа (1): Генератор – блок генерирования интервалов  $\tau$ . Сч-к  $i$  – счётчик, отсчитывающий длительности интервалов, равных  $\tau i$ , после чего вырабатывается сигнал записи уровня в АЗУ – аналоговом запоминающем устройстве



Р и с. 2. Схема использования АКБ на ПК в качестве АЗУ с остановкой тактирования АКБ в середине фазы  $\Phi 2$  после проведения (в фазе  $\Phi 1$ ) записи  $U_{вх}$  с одновременной записью напряжения смещения нуля ( $E_{см.0}$ ) ДОУ для последующей его коррекции (в режиме автонуления). Схема показана в фазе  $\Phi 1$ , в которой ключи  $S_1$ ,  $S_3$  и  $S_4$  замкнуты, а  $S_2$  и  $S_5$  – разомкнуты

Как видно из рис. 2, ДОУ здесь работает в неинвертирующем режиме с автоматической компенсацией  $E_{см.0}$ . При этом после окончания переходных процессов напряжение  $U_{вых}$  на его выходе установится на уровне

$$U_{вых} = (C_A/C_F) U_{вх}. \quad (3)$$

При равенстве ёмкостей  $C_A$  и  $C_F$  выражение (3) упростится:

$$U_{вых} = U_{вх},$$

то есть станет равным величине  $A_{вх}(t_i)$ .

На рис. 3 показана схема генерирования импульсов фазирования АКБ для реализации этого алгоритма. Блоки, обозначенные на рис. 3 как  $A_i$ , являются входными коммутаторами, подключающими линии  $R_{ij}[k]$  к одной из входных линий. Блоки, обозначенные  $B$  и  $C$ , – входные коммутаторы счётчиков, подключающие соответствующие их входы к источникам сигналов. В частности, счётный вход  $DBVj0$  подключен к выходу делителя тактовой частоты  $VC1$ , частота которого равна максимальному допустимому значению (половине максимальной тактовой частоты, т.е. 12 МГц). Вход разрешения работы счётчика  $DBVj0$  подключен через инвертор к линии  $R0j[1]$ , к этой же линии через инвертор подключен и вход разрешения работы счётчика  $DBVj1$ , а его счётный вход – к выходу счётчика  $DBVj0$ . Счётный вход счётчика  $DCVj2$  подключается к линии  $Rij[0]$ , на которую подаётся сигнал с выхода коммутатора  $A_0$ , подключенного через систему межсоединений к выходу коммутатора  $E_0$ , вход которого, в свою очередь, подключен к программируемому логическому элементу  $D$ , настроенному на логическую функцию  $((R0j[0]) \& \overline{(R0j[1])})$ , где  $\overline{\quad}$  – символ инверсии сигнала  $R0j[1]$  (то есть настроен на функцию («X» И НЕ«Y»)). Все ос-