

ТЕСТОПРИГОДНОЕ УСТРОЙСТВО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЕ В ОСТАТОЧНЫХ КЛАССАХ, С ПРОСТЫМ СРЕДСТВОМ КОНТРОЛЯ

Финько О.А., Кузьменко А.С.

Краснодарский военный институт
Россия, 350035, Краснодар, Красина ул., 4, E-mail: ofinko@yandex.ru

Реферат. Предлагается простой метод анализа реакции устройств цифровой обработки сигналов (УЦОС), функционирующих в системе остаточных классов (СОК), на тестирующее воздействие.

При выборе метода обеспечения надежного функционирования УЦОС важное значение имеет: 1) сохранение исходного уровня производительности УЦОС; 2) экономия площади кристалла и энергопотребления ИМС.

Для УЦОС, используемым «по прямому назначению» – для обработки аналоговой информации, кратковременные отказы, вызванные сбоями значительно менее критичны по сравнению с отказами, вызванными дефектами аппаратуры. Поэтому с учетом указанных приоритетов особую актуальность приобретают методы тестового контроля.

Благодаря многочисленным достоинствам, прежде всего, обеспечению возможности полного распараллеливания вычислений, широкую известность приобрели алгоритмы ЦОС, основанные на СОК [1, 2]. Однако не менее важными достоинствами СОК является обеспечение высокой тестопригодности устройств (за счет декомпозиции и повышения однородности оборудования) [3-5].

Достоинства тестового контроля УЦОС, функционирующих в СОК, могут быть усилены путем упрощения оборудования анализа реакции УЦОС на тестовое воздействие. Указанное предлагается достичь за счет учета специфики структуры УЦОС, обрабатывающих аналоговую информацию.

В СОК целый неотрицательный цифровой эквивалент X аналоговой величины A_{ex} взаимно однозначно отображается в последовательность

$$\{X\} = (x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_k),$$

где $x_i = \left\lfloor \frac{X}{p_i} \right\rfloor^+$ ($i=1, \dots, k$) – наименьшие неотрицательные вычеты (в дальнейшем – вычеты)

по системе попарно простых модулей $m_1 < m_2 < \dots < m_n < m_{n+1} < \dots < m_k$ [1, 2].

Если $k - n = r \geq 1$, СОК называется расширенной, а r – количеством избыточных вычетов СОК. Вся область $0 \leq X < M_k$ расширенной СОК, где $M_k = m_1 m_2 \dots m_k$, охватывает полное множество состояний, представляемых всеми k вычетами. Эту область можно разбить на смежные интервалы, принимая во внимание области, определяемые неизбыточными и избыточными модулями. Интервал $0 \leq X < M_n$, где $M_n = m_1 m_2 \dots m_n$, является допустимой (рабочей) областью числового представления СОК, а интервал $M_n \leq X < M_k$ представляет собой недопустимую область.

Будем рассматривать УЦОС, функционирующее в неизбыточной СОК, заданной основаниями $m_1, m_2, \dots, m_n, m_{n+1}$ с рабочей областью $0 \leq X < M_{n+1}$. Пример УЦОС с $n+1=5$, реализующего алгоритм вычисления числовой свертки в СОК, представлен на рис. 1. Устройство содержит входной аналого-цифровой преобразователь (АЦП), преобразователи позиционного кода в код СОК, специализированный вычислитель, функционирующий по пяти модулям СОК, выходной преобразователь кода СОК в позиционный код [6] и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Для организации тестового контроля в УЦОС использованы два счетчика по модулю m_{n+1} .

Счетчики формируют тестовую последовательность длины m_{n+1}^2 , которая охватывает все возможные состояния входов для каждого вычислительного канала. В режиме тестирования СОК рассматривается как расширенная с одним избыточным основанием m_{n+1} .

УЦОС может содержать АЦП, позволяющий преобразовывать входную аналоговую величину A_{ex} непосредственно в представление СОК [7]. В этом случае общее время обработки и аппаратурные затраты УЦОС могут быть уменьшены за счет сокращения преобразователя позиционного кода в код СОК. Недостатком такого варианта является необходимость проектирования специализированного АЦП.

Пусть $\{X\} = (x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_k)$ – правильное кодовое слово СОК, а

$\{X^*\} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, x_{n+1}^*, \dots, x_k^*)$ – реальное кодовое слово СОК, получаемое в результате тестирования УЦОС. Если понимать под кратностью ошибки количество искаженных вычетов в кодовом слове $\{X^*\} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, x_{n+1}^*, \dots, x_k^*)$, то при $r \geq 1$ арифметический код расширенной СОК позволяет обнаружить все однократные ошибки. Признаком обнаруживаемой ошибки является попадание результата вычислений X^* в недопустимую область [3, 4]:

$$M_n \leq X^* = X + M_i d_i^* < M_k, \quad (1)$$

где d_i^* – решение сравнения $M_i d_i^* \equiv e_i \pmod{M_i}$,

e_i – значение ошибки в i -м вычете x_i^* ,

$$M_i = M_k m_i^{-1}.$$

При отсутствии обнаруживаемых ошибок функционирования УЦОС аналоговая величина $A_{вых}$ на выходе ЦАП

$$A_{вых} = \Delta X^* \pm \Theta,$$

где $\Theta = 0,5\Delta$ – допустимая погрешность преобразования ЦАП, и находится в диапазоне

$$0 \leq A_{вых} \leq \Delta(M_n - 1).$$

В противном случае, в соответствии с (1),

$$A_{вых} = \Delta(X^* + M_i d_i^*) \pm \Theta$$

и должна находиться в пределах:

$$\Delta(M_n - 1) < A_{вых} < \Delta M_k. \quad (2)$$

Таким образом признаком обнаруживаемой ошибки в кодовом слове СОК $\{X^*\} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, x_{n+1}^*)$ является выполнение неравенства

$$A_{вых} > A_{эм}, \quad (3)$$

где $A_{вых}$ – уровень аналоговой величины на выходе УЦОС,

$$A_{эм.} = \Delta(M_n - 1) \text{ – уровень эталонной аналоговой величины,}$$

Δ – минимальный шаг квантования.

Контроль признака (3) легко выполняется с помощью компаратора напряжения, устанавливаемого на выходе ЦАП УЦОС (рис. 1), который формирует результат сравнения в виде сигнала «ошибка». При введении избыточных оснований СОК может быть выполнена реконфигурация оборудования УЦОС.

При неизбыточной СОК и отказе i -го вычислительного канала непозиционного вычислителя процесс функционирования УЦОС может быть продолжен при снижении точности вычислений в m_i раз.

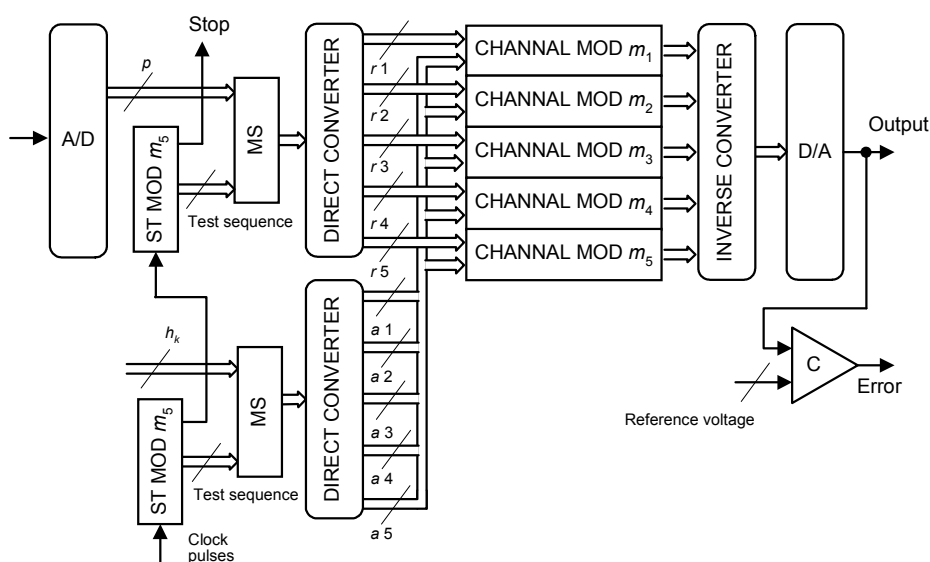


Рис. 1. Тестопригодное УЦОС, функционирующее в пятимодульной СОК

Литература

1. Soderstrand M.A., Jenkins W.K., Jullien G.A. and Tailor F.T. Residue Number System Arithmetic: Modern Applications in Digital Signal Processing. New York: IEEE Press, 1986.
2. Nussbaumer H.J. Fast Fourier Transform and Convolution Algorithms. Springer-Verlag, 1982.
3. Торгашев В.А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ. – М.: Сов. радио, 1973. 120 с.
4. Финько О.А. Контроль и реконфигурация аналого-цифровых устройств, функционирующих в системе остаточных классов // Электронное моделирование. – 2000. – Т. 22, № 4. С. 92-103. / Oleg A. Finko, "Check and Reconfiguration of Analog-to-Digital Devices Operating in the System of Residual Classes", Engineering Simulation, Overseas Publishers Association, Vol. 18, 2001, pp. 631-543.
5. Долгов А.И. Диагностика устройств, функционирующих в системе остаточных классов. – М.: Сов. радио, 1982. 65 с.
6. Финько О.А. Восстановление числа в системе остаточных классов с минимальным количеством оснований // Электрон. моделирование. – 1998. – Т. 20, № 3. С. 56-61. / Oleg A. Finko, "Number Restoration in the System of Residual Classes with a Minimum Number of Radices", Engineering Simulation, Overseas Publishers Association, Vol. 16, 1999, pp. 329-334.
7. Финько О.А. Синтез параллельных электрооптических аналого-цифровых преобразователей для специализированных вычислителей, функционирующих в модулярной арифметике // Изв. вузов. Приборостроение. – 1999. – Т. 42, № 3-4. С. 30-32.

EFFECTIVE FOR TESTING THE DEVICE OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING OPERATING IN RESIDUAL CLASSES WITH A SIMPLE RESOURCE OF CONTROL

Finko O., Kuzmenko A.

Krasnodar military institute
 Russia, 350035, Krasnodar, Krasina street, 4.
 E-mail: ofinko@yandex.ru

Abstract. The simple method of the analysis of response on testing effect of a digital signal processing (DSP) devices operating in the residue number system (RNS) is offered.

Due to a possibility of multisequencing of calculations, the wide popularity was gained by algorithms of DSP grounded on the RNS [1]. However not less important advantages of the RNS is the support of high performance of testing of DSP devices. It is reached at the expense of decomposition and rise of a homogeneity of the equipment [2]. The purpose of operation is the simplification of resources of the analysis of response on test effect of the DSP device.

Let's consider the device of a digital signal processing operating in the not redundant RNS, given by the basis $m_1, m_2, \dots, m_n, m_{n+1}$ and with a working area $0 \leq X < M_{n+1}$. For organization of a test control in the device of a digital signal processing two counters operating modulo m_{n+1} are used. The counters shape a test sequence are long m_{n+1}^2 . In the mode of testing the RNS is considered as the extended system with one redundant basis m_{n+1} .

Let $\{X\} = (x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_k)$ – correct code word, introduced in the RNS, and $\{X^*\} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, x_{n+1}^*, \dots, x_k^*)$ – code word, introduced in the RNS obtained as a result of testing the DSP devices. Tag of a found out error is: $M_n \leq X^* = X + M_i d_i^* < M_k$, where d_i^* – solution of matching $M_i d_i^* \equiv e_i \pmod{M_i}$, e_i – value of an error in i a residue x_i^* , $M_i = M_k m_i^{-1}$. At absence of found out errors of operation of the DSP devices the analogue value A_{output} , on an output of the DAC $A_{output} = \Delta X^* \pm \Theta$, where $\Theta = 0,5\Delta$ – the valid error of conversion of the DAC, also is in a range $0 \leq A_{output} \leq \Delta(M_n - 1)$. Otherwise $A_{output} = \Delta(X^* + M_i d_i^*) \pm \Theta$ also should be in limits: $\Delta(M_n - 1) < A_{output} < \Delta M_k$. Tag of a found out error in the code word $\{X^*\} = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, x_{n+1}^*)$ is the execution of an inequality $A_{output} > A_{stan}$, where A_{output} – level of the analogue value on an output of the DSP devices, $A_{stan} = \Delta(M_n - 1)$ – level of the standard analogue value, Δ – minimum quantum. The control of tag of an error is easily fulfilled with the help of a comparator of power installed on an output of the DAC of the DSP devices. At introduction of the redundant basis of the RNS the reconfiguration of the equipment of the DSP devices can be fulfilled. At the not redundant RNS and refusal of the computing i -channel of the specialized calculator the process of operation of the DSP devices can be continued at lowering accuracy of calculations in m_i time.

References

1. Soderstrand M.A., Jenkins W.K., Jullien G.A. and Taylor F.T. Residue Number System Arithmetic: Modern Applications in Digital Signal Processing. New York: IEEE Press, 1986.
2. Oleg A. Finko, "Check and Reconfiguration of Analog-to-Digital Devices Operating in the System of Residual Classes", Engineering Simulation, Vol. 18, 2001, pp. 631-543.