

Wiaczesław Jarmolik, Marek Gruszewski¹

CYFROWY GENERATOR SYGNAŁÓW SINUSOIDALNYCH DO TESTOWANIA I WERYFIKACJI UKŁADÓW ANALOGOWO-CYFROWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiony jest cyfrowy generator sygnałów sinusoidalnych, który wchodzić może w skład uniwersalnego modułu do samotestowania układów analogowo-cyfrowych (mixed-signal). Sygnał sinusoidalny okazuje się najbardziej złożonym sygnałem (z punktu widzenia jego kształtowania) w porównaniu z innymi sygnałami (np. trójkątnym, piłokształtnym, czy prostokątnym). Tradycyjnie generator sygnału sinusoidalnego zbudowany jest z układu sterowania i bloku pamięci, w której znajdują się dyskretne próbki 1/4 części okresu tego sygnału. Przedstawione w artykule podejście oparte jest na wykorzystaniu stochastycznego integratora, który jest podstawowym elementem generatora. Praca generatora sprawdzona została przy pomocy symulacji komputerowej.

Słowa kluczowe: samotestowanie, układy analogowo-cyfrowe, integrator stochastyczny, sygnał sinusoidalny

1. Wprowadzenie

W ostatnich czasach dużo uwagi poświęca się problemowi kontroli poprawności pracy układów hybrydowych (tj. układów, które zawierają w swojej strukturze obwody analogowe oraz cyfrowe), zrealizowanych w postaci pojedynczych układów scalonych. Podczas testowania takich układów należy rozwiązać problemy związane z brakiem dostępu do wewnętrznych punktów układu, które potrzebne są do podania sygnałów testowych i zebrania odpowiedzi układu na te sygnały, a także z ograniczeniem ilości zewnętrznych wyprowadzeń.

W ostatnich latach pojawiły się publikacje, które poświęcone są problemom syntezy układów hybrydowych, dogodnych do testowania [1-4]. Jednym z najbardziej perspektywicznych kierunków w tej dziedzinie okazuje się sposób przedsta-

¹ Wydział Informatyki, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

wiony w [1], który oparty jest na wykorzystaniu uniwersalnego urządzenia do testowania zarówno układów cyfrowych, jak i analogowych. Takie podejście otrzymało nazwę Hybrydowe Wbudowane Samotestowanie (Hybrid Built-In Self-Test, HBIST). Przy wykorzystywaniu HBIST osiągnane są następujące podstawowe cele:

- zastosowanie samotestowania dla analogowych obwodów w zgodzie z metodami samotestowania dla obwodów cyfrowych;
- do organizacji samotestowania konieczne są minimalne nakłady sprzętowe, ponieważ formowanie testowych oddziaływań i analiza reakcji układu na te oddziaływania dla obwodów cyfrowych i analogowych realizowane są praktycznie przy pomocy tego samego urządzenia.

Na początku takie podejście do organizacji samotestowania układów hybrydowych było sformułowane dla uniwersalnego modułu BILBO [5]. W tym wypadku w charakterze sygnałów testowych dla układów analogowych i cyfrowych wykorzystuje się ciągi pseudolosowe, a do analizy odpowiedzi układu stosuje się analizator sygnaturowy.

O ile do organizacji samotestowania układów cyfrowych już tradycyjnie wykorzystuje się pseudolosowe zestawy testowe [5], o tyle do testowania układów analogowych mogą być potrzebne różne sygnały, takie jak sygnały sinusoidalne, prostokątne, piłokształtne, trójkątne i pseudolosowe [6, 7].

Jak już wspomniano, HBIST pozwala formować tylko pseudolosowe sygnały testowe dla części analogowej i cyfrowej, co może okazać się niewystarczające dla sprawdzenia działania analogowego podukładu.

W danej pracy przedstawiony jest uniwersalny moduł, który pozwala wytwarzać szeroki zestaw sygnałów testowych, zarówno dla obwodów cyfrowych, jak i analogowych oraz otrzymywać wyniki testowania.

2. Opis sygnałów testowych

2.1. Piłokształtny sygnał testowy

Istnieją dwa rodzaje sygnału piłokształtnego: narastający i opadający [8]. Sygnał piłokształtny w postaci cyfrowej przedstawia sobą ciąg stanów licznika (inkrementacja dla narastającego i dekrementacja dla opadającego sygnału piłokształtnego).

2.2. Trójkątny sygnał testowy

Sygnał trójkątny przedstawia sobą narastający piłokształtny sygnał w pierwszej połowie swojego okresu i opadający w drugiej połowie okresu.

2.3. Prostokątny sygnał testowy

Prostokątny sygnał można przedstawić jako kolejne występowanie maksymalnego U_{\max} i minimalnego U_{\min} poziomu napięcia. Do ukształtowania takiego sygnału można wykorzystać urządzenie zbudowane z licznika rewersyjnego i układu sterowania.

2.4. Pseudolosowy sygnał testowy

Tradycyjnie, ciąg pseudolosowy wytwarzany jest przy pomocy rejestru przesuwonego ze sprzężeniem zwrotnym (Linear Feedback Shift Register).

2.5. Sinusoidalny sygnał testowy

Sygnał sinusoidalny okazuje się najbardziej złożonym sygnałem (z punktu widzenia jego kształtowania) w porównaniu z rozpatrzonymi wyżej sygnałami. Tradycyjnie generator sygnału sinusoidalnego zbudowany jest z układu sterowania i bloku pamięci, w której znajdują się dyskretne próbki $\frac{1}{4}$ części okresu tego sygnału. Taka realizacja generatora sygnału sinusoidalnego nie jest racjonalna ze względu na nakłady sprzętowe. Sygnał sinusoidalny należy więc kształtować przy pomocy sprzętowego rozwiązania równania różniczkowego drugiego rzędu:

$$y''(t) + \omega^2 y(t) = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$y(t)$ – funkcja sinusa

Wyrażenie (1) w postaci cyfrowej rozwiązuje się przy pomocy urządzenia, które zbudowane jest z dwóch połączonych integratorów.

2.6. Wykładniczy sygnał testowy

Oprócz przedstawionych wyżej przebiegów testowych istnieje możliwość formowania wykładniczych przebiegów testowych przy wykorzystaniu integratora stochastycznego, który pracuje w trybie śledzącego integratora stochastycznego.

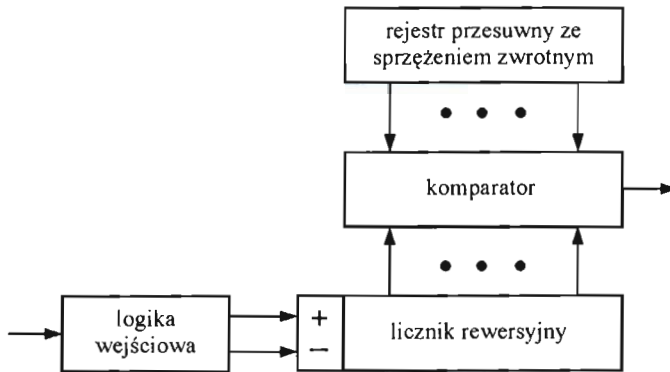
3. Uniwersalny moduł do samotestowania układów hybrydowych

3.1. Realizacja uniwersalnego modułu

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej sytuacje, dochodzimy do wniosku, że urządzenie do samotestowania układów hybrydowych musi odpowiadać następującym wymaganiom:

- wytwarzanie szerokiego zakresu sygnałów testowych, zarówno dla układów cyfrowych, jak i analogowych;
- wykonywanie analizy odpowiedzi układów cyfrowych i analogowych;
- zastosowanie metod samotestowania dla układów analogowych nie może nakładać ograniczeń na metody samotestowania układów cyfrowych;
- minimalne dodatkowe nakłady sprzętowe.

Podstawowym podzespołem proponowanego uniwersalnego modułu jest integrator stochastyczny (rys. 1.), który pozwala wytwarzać (z minimalnymi dodatkowymi nakładami sprzętowymi) szeroki zakres sygnałów testowych oraz analizować odpowiedzi testowanych układów przy pomocy analizy sygnaturowej i/lub analizy ilości jedynek.

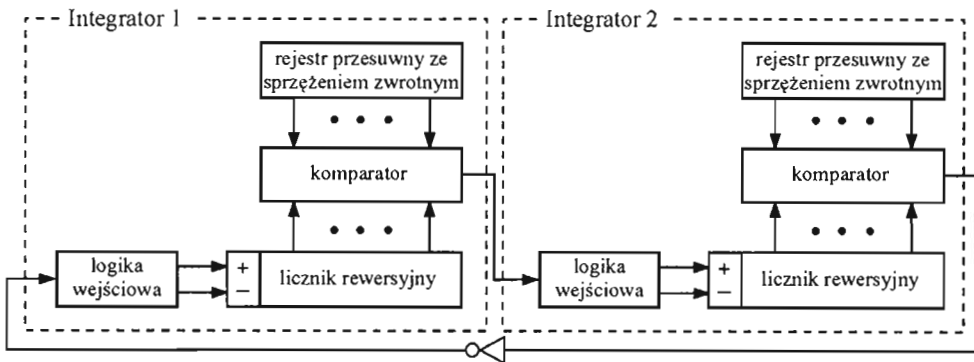


Rys. 1. Integrator stochastyczny

Tak jak w [1] proponowany moduł uniwersalny wytwarza sygnały testowe i analizuje odpowiedzi testowanego układu w obszarze cyfrowym. Analogowe sygnały testowe otrzymywane są drogą przetworzenia sygnału cyfrowego w analogowy, a analogowe odpowiedzi testowanego układu są przed analizą poddawane cyfryzacji.

3.2. Wytwarzanie sinusoidalnego sygnału testowego

W celu uformowania sinusoidalnego sygnału testowego wykorzystuje się przedstawiony na rys. 2 układ, który złożony jest z dwóch stochastycznych integratorów i jednego inwertera. W tym przypadku sygnał sinusoidalny wytwarzany jest na pozycjach rewersyjnego licznika drugiego integratora.



Rys. 2. Generator sygnałów sinusoidalnych

3.3. Analiza poprawności działania układu generatora

Wykażemy poprawność zbudowanego układu. Wartość oczekiwana stanu stochastycznego integratora $y(t)$ w chwili czasu t opisana jest równaniem [9]:

$$y(t) = y(t-1) + x \quad (2)$$

gdzie:

$x = 1 \cdot p(t)$, $p(t)$ – prawdopodobieństwo pojawienia się sygnału „1” na wejściu integratora w chwili czasu t .

Prawdopodobieństwo pojawienia się sygnału „1” na wyjściu układu porównawczego $z(t)$ w chwili czasu t wynosi:

$$z(t) = \frac{1}{2^n} y(t) \quad (3)$$

gdzie:

n – liczba pozycji licznika w integratorze

Założmy, że sygnał sinusoidalny formowany jest na pozycjach licznika drugiego integratora. Wtedy na pozycjach licznika pierwszego integratora tworzony jest sygnał kosinusoidalny. Dlatego sinusoidalny sygnał w chwili czasu t będzie opisany wyrażeniem:

$$y_2(t) = y_2(t-1) + x_2 \quad (4)$$

gdzie:

$y_2(t)$ – wartość oczekiwana stanu drugiego integratora i $x_2 = 1 \cdot p_2(t)$,

$p_2(t)$ – prawdopodobieństwo pojawienia się sygnału „1” na wejściu drugiego integratora w chwili czasu t .

Ponieważ wartość $p_2(t)$ jest równa z_1 , to wyrażenie (4) przyjmuje postać:

$$y_2(t) = y_2(t-1) + \frac{1}{2^n} y_1(t) \quad (5)$$

gdzie:

$y_1(t)$ – wartość oczekiwana stanu pierwszego integratora

Biorąc pod uwagę, że:

$$x_1(t) = -\frac{1}{2^n} y_2(t) \quad (6)$$

kosinusoidalny sygnał opisany jest równaniem:

$$y_1(t) = y_1(t-1) - \frac{1}{2^n} y_2(t) \quad (7)$$

Wiadomo, że:

$$\cos^2 t + \sin^2 t = 1 \quad (8)$$

To wyrażenie z uwzględnieniem wyrażen (14) i (15) może być przedstawione w postaci:

$$\left(1 + \frac{1}{2^{2n}}\right) y_1^2(t-1) = 1 - \left(1 + \frac{1}{2^{2n}}\right) y_2^2(t-1) \quad (9)$$

Ponieważ $y_2''(t) = -y_1(t)$, to powyższe wyrażenie po obliczeniu pochodnej przekształca się do postaci równania:

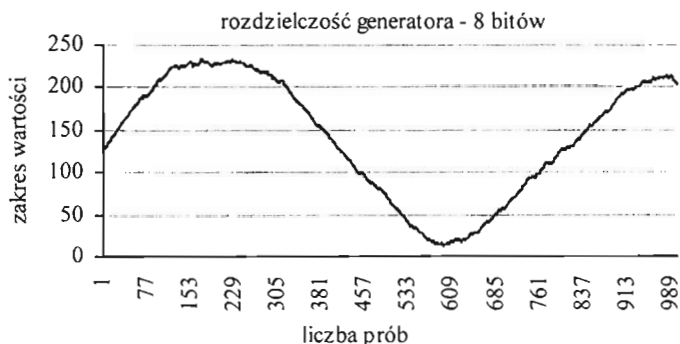
$$y_2''(t) = -y_2(t-1) \quad (10)$$

Jak wynika z (10), przedstawiony na rysunku 2 układ realizuje wyrażenie (1) z $\omega = 1$.

4. Rezultaty eksperymentów

Działanie układu generatora zbadane zostało przy pomocy symulacji komputerowej. Napisany został program, który symuluje działanie układu i przesyła wyniki do pliku tekstowego. Generator był symulowany przy założeniu rozdzielczości wynoszącej 8 bitów (ilość pozycji licznika rewersyjnego) i przy liczbie prób równej 1000. Wykonano serię pięciu symulacji i stwierdzono całkowitą powtarzalność

wyników. Rysunek 3 przedstawia rezultat symulacji pracy generatora sygnałów sinusoidalnych. Otrzymany wykres jest bardzo zbliżony do przebiegu sinusoidalnego.



Rys. 3. Rezultaty symulacji pracy generatora sygnałów sinusoidalnych

5. Zakończenie

Przedstawiony w pracy sposób projektowania uniwersalnego modułu do samotestowania układów hybrydowych pozwala wytwarzać szeroki zakres sygnałów testowych i analizować odpowiedź badanego układu z dużym stopniem prawdopodobieństwa. Przy wykorzystaniu takiego podejścia do syntezy urządzeń testujących, metody samotestowania układów analogowych nie nakładają ograniczeń na metody samotestowania układów cyfrowych. Dlatego podczas realizacji urządzeń testujących uzyskuje się minimalne nakłady sprzętowe. Wyniki symulacji (kształt przebiegu i jego powtarzalność) analizowanego generatora sinusoidalnego pozwalają wnioskować o poprawności jego działania i przydatności do samotestowania układów analogowo-cyfrowych.

Literatura

- [1] M. Ohletz: *Hybrid Built-In Self_Test (HBIST) for Mixed Analogue/Digital Circuits*; IEEE European Test Conference, 1991, 307-316.
- [2] C. L.Wey: *Built-In Self_Test (BIST) Struktura for Analog Circuit Fault Diagnosis*; IEEE Trans. On Instrumentation and Measurement Vol. 39 N3, 1990, 517-521.

- [3] S. Khaled, B. Kaminska, B. Courtois, M. Lubaszewski: *Frequency-based BIST for analog circuit testing*; 13th VLSI Test Symposium, 1995, 54-59.
- [4] M. Renovell, F. Azais, Y. Bertrand, *The Multi-Configuration: A DFT Technique for Analog Circuits*; 14th VLSI Test Symposium, 1996, 54-59.
- [5] W. N. Jarmolik: *Kontrolowanie i diagnostyka cyfrowych podzespołów komputerowych*, Mińsk, 1988.
- [6] M. Soma: *Fault Modeling and Test Generation for Sample-and-Hold Circuits*; International Symposium on Circuits and Systems, 1991, 2072-2075.
- [7] C. Y. Pan, K. T. Cheng: *Pseudo-Random Testing and Signature Analysis for Mixed-Signal Circuits*; ICCAD'95, 102-107.
- [8] W. I. Goroszkow: *Elementy urządzeń radioelektronicznych*; Mińsk, 1988.
- [9] W. W. Jakowlew, R. F. Fiedorow: *Komputery stochastyczne*; Leningrad, 1974.

DZIGITAL GENERATOR OF SINUSOIDAL SIGNAL FOR TESTING AND VERIFYICATION OF ANALOG-DIGITAL CIRCUIT

Summary: The article describes the digital generator of sinusoidal signals which can be a part of a universal module designed for a self-testing of mixed-signal systems. The sinusoidal signal appears to be the most complex (considering its construction) in comparison with the others (e.g. triangular, pentagonal, rectangular signals). A standard generator of a sinusoidal signal is built by a control unit and a block of memory. A memory contains discrete samples of 1/4 part of a period of a sinusoidal signal. The approach presented in the article is based on idea of a stochastic integrator- a fundamental constituent of a generator. The work of a generator was tested by a computer simulation.

Key words: Self-Testing, mixed signal circuits, stochastic integrator, sinusoidal signal

Artykuł zrealizowano w ramach pracy własnej W/II/4/00