

## SYSTEM IDENTYFIKACJI SZUMÓW RTS TRANSOPTORÓW CNY17

Robert ERENC<sup>1</sup>, Alicja KONCZAKOWSKA<sup>2</sup>, Barbara STAWARZ-GRACZYK<sup>3</sup>, Michał WÓJCIK<sup>4</sup>

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, student studiów II stopnia, kierunek: *elektronika i telekomunikacja*, Micro-Spark Solutions Robert Erenc  
tel.: 604 939 712 e-mail: robert.erenc@gmail.com
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  
tel.: +48 58 347 1886 e-mail: alkon@eti.pg.gda.pl
3. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  
tel.: +48 58 348 6368 e-mail: bstawarz@eti.pg.gda.pl
4. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, student studiów II stopnia, kierunek: *elektronika i telekomunikacja*, MicroBoard Electronics Michał Wójcik  
tel.: 692 357 069 e-mail: michal@microboard.pl

**Streszczenie:** W artykule opisano zaprojektowany i wykonany system do identyfikacji szumów wybuchowych (RTS – Random Telegraph Signal) występujących w transoptorach typu CNY17. Z metod umożliwiających ocenę parametrów szumów wybuchowych wybrano do realizacji metodę Wzorów Obrazów Szumów – WOS (ang. Noise Scattering Patterns – NSP), która w sposób bardzo prosty pozwala na rozpoznawanie szumów o rozkładach wartości chwilowych gaussowskich i niegaussowskich. Zaprojektowany system składa się z części analogowej umożliwiającej pomiar parametrów sygnału szumowego transoptorów oraz części cyfrowej realizującej przetwarzanie sygnału szumowego. System automatycznie testuje transoptory CNY17, przetwarza uzyskane dane, które następnie są prezentowane na wyświetlaczu graficznym.

**Słowa kluczowe:** szum RTS, transoptor, metoda Wzorów Obrazów Szumów (WOS).

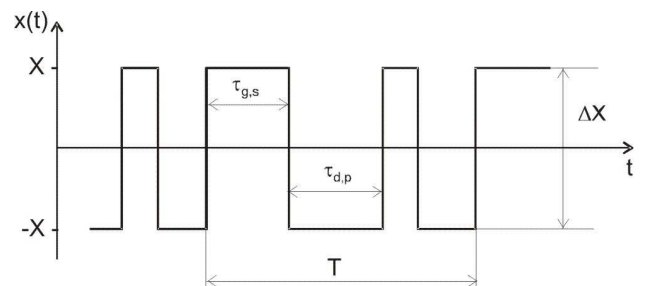
## 1. WSTĘP

Z uwagi na ciągłe dążenie do coraz większej miniaturyzacji przyrządów półprzewodnikowych, szumy wybuchowe RTS (Random Telegraph Signal) ponownie zaczęły stanowić problem przy konstruowaniu kładów, szczególnie tych stosowanych w telekomunikacji i innych układach wymagających niezawodności (np. w systemach alarmowych). Głównym źródłem szumów RTS są wady strukturalne oraz zanieczyszczenia półprzewodnika, które występują w procesie produkcyjnym [1]. Stwierdzono, że występowanie szumów RTS zależy od temperatury, zasilania badanych przyrządów, naprężeń mechanicznych w podłożu czy też działania promieniowania [2, 3, 4]. Wadliwe półprzewodniki mogą być łatwo wykryte za pomocą metod bezinwazyjnych, co pozwala na wyeliminowanie ich z wyprodukowanych partii oraz korektę procesu produkcyjnego [2].

Szum wybuchowy występuje wyłącznie w przyrządach o małej liczbie nośników, gdzie pojedynczy elektron może być wychwytywany lub emitowany przez pojedynczą aktywną pułpkę, tzw. poziom Fermiego. Elektrony muszą osiągnąć poziom energii konieczny by przeskoczyć do pasma przewodnictwa. Szumy RTS są szumami prądowymi,

charakteryzującymi się losowym czasem trwania i wystąpienia oraz gwałtownymi zmianami amplitudy (pomiędzy dwoma, trzema lub wieloma dyskretnymi poziomami), co oznacza, że indywidualne wystąpienia szumu mogą posiadać kilka różnych amplitud [1].

Przebieg dwupoziomowego szumu RTS przedstawiony został na rysunku 1.



Rys. 1. Dwupoziomowy szum RTS

Podstawowymi parametrami opisującymi szum RTS są:

$\bar{\tau}_g$  – średni czas trwania impulsów w stanie górnym (wartość średnia z czasów  $\tau_{g,s}$ , gdzie  $s = 1, 2, \dots, S$ , wyznaczona w przedziale  $T$ ),

$\bar{\tau}_d$  – średni czas trwania impulsów w stanie dolnym (wartość średnia z czasów  $\tau_{d,p}$ , gdzie  $p = 1, 2, \dots, P$ , wyznaczona w przedziale  $T$ ),

$\Delta X$  – amplituda impulsów szumu RTS,

$f_w$  – częstotliwość, przy której obserwuje się lokalne maksimum funkcji gęstości obserwowanej mocy napięcia lub prądu szumów świadczące o występowaniu szumów wybuchowych.

Częstotliwość  $f_w$  można oszacować na podstawie wartości średnich czasu trwania impulsów sygnału szumu wybuchowego w stanie górnym i dolnym:

$$f_w = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1}{\tau_d} + \frac{1}{\tau_g} \right) \quad (1)$$

Rozkład wartości chwilowych szumu RTS jest rozkładem niegaussowskim. Obecność szumu RTS świadczy o miernej jakości przyrządu półprzewodnikowego.

## 2. METODA WZORÓW OBRAZÓW

Jako metoda detekcji występowania szumów wybuchowych została wybrana metoda Wzorów Obrazów Szumów WOS (ang. Noise Scattering Pattern) [5, 6] z uwagi na prosty w analizie wynik oraz niski poziom skomplikowania obliczeń, co pozwala uniknąć stosowania droższych, wysoko-wydajnościowych mikrokontrolerów czy procesorów sygnałowych. W metodzie tej wykorzystywany jest zarejestrowany ciąg próbek badanego, sygnału małej częstotliwości zawierającego składowe szumowe. Ciąg próbek uzyskiwany jest poprzez konwersję za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego. Czas uzyskania wyniku zależy od liczby pobieranych próbek oraz częstotliwości próbkowania. Dobierana częstotliwość musi być jak najmniejsza, należy jednak pamiętać o twierdzeniu o próbkowaniu - częstotliwość próbkowania musi więc być przynajmniej dwukrotnie większa od częstotliwości próbkowanego sygnału, aby mógł on być odtworzony bez zniekształceń (brak zjawiska aliasingu). Zarejestrowany ciąg próbek oznaczamy jako  $\{x(n)\}$ , gdzie  $n = 1, 2, \dots, N$  ( $N$  - liczba próbek), a następnie dzielimy go na dwa podzbiory  $\{x(m)\}$ , gdzie  $m = 1, 2, \dots, N/2$  i  $\{x(k)\}$ , gdzie  $k = (N/2) + 1, (N/2) + 2, \dots, N$ . Następnie na odpowiednio wyskalowaną płaszczyznę XY nanoszone są punkty, których odcięte i rzędne są kolejnymi elementami zbiorów odpowiednio  $\{x(m)\}$  oraz  $\{x(k)\}$  [5]. W przypadku wystąpienia szumu wybuchowego, lub jego braku, naniesione punkty utworzą skupiska, jedno lub więcej, punktów wokół pewnego punktu centralnego (wartości średniej) [1]:

- jedno skupisko punktów - przyrząd generuje jedynie szum gaussowski (występuje w każdym układzie elektronicznym),
- cztery skupiska - przyrząd generuje dwupoziomowy szum wybuchowy,
- dziewięć skupisk - przyrząd generuje trójpoziomowy szum wybuchowy.

## 3. SYSTEM IDENTYFIKACJI SZUMÓW RTS

Proponowany system składał się z dwóch głównych bloków tj. toru pomiarowego oraz układu akwizycji i prezentacji danych. System zasilany był z dwóch akumulatorów żelowych 12 V połączonych szeregowo.

### 3.1. Tor pomiarowy

Schemat blokowy toru pomiarowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy zaprojektowanego toru pomiarowego

Tor pomiarowy ma za zadanie przetworzyć sygnał pochodzący z kolektora transoptora CNY17 na sygnał odpowiedni dla wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego znajdującego się w mikrokontrolerze. Po dołączeniu

zasilania dla toru pomiarowego, polaryzowana jest dioda LED transoptora CNY17. Do tego celu użyto źródło prądowe o wydajności 5 mA, aby prąd kolektora transoptora był stały, niezależny od napięcia kolektor-emiter. Dzięki temu, rozładowywanie akumulatora nie wpływa na wynik pomiaru. Szumy RTS posiadają bardzo małą amplitudę impulsu, wynosi ona około od 2 do 5 mV (składowa zmienna).

W pierwszej kolejności sygnał z kolektora jest podawany na filtr górnoprzepustowy RC. W ten sposób eliminuje się składową stałą. Częstotliwość odcięcia filtra  $f_c$  wynosi około 0,23 Hz. Następnym podzespołem systemu jest przedwzmacniacz małoszumowy, którego rolę pełni wzmacniacz operacyjny AD797 firmy Analog Devices. Wzmocnienie układu wynosi 11 V/V i zostało dobrane tak, by poziom szumów własnych był jak najmniejszy. Układ AD797 posiada dodatkowo w swojej strukturze wejścia umożliwiające eliminację offsetu. Następnie sygnał jest podawany na dwa stopnie wzmacniające. Dla skonstruowanego układu wzmocnienie wynosi około 2000-3000 V/V. Po przejściu przez trzy stopnie wzmacniające poziom sygnału jest wystarczająco duży (oscyluje w przedziale 0 – 5 V), aby mógł zostać przetworzony przez mikrokontroler. Dodatkowo, w celu odcięcia wyższych częstotliwości wykorzystany został filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu w konfiguracji Salleneya-Keya, którego częstotliwość odcięcia  $f_c$  wynosi około 72 Hz. Amplituda impulsu szumów RTS może przyjmować również wartości ujemne, dlatego też należy dodać składową stałą by amplituda impulsu była zawsze dodatnia. W układzie wykorzystano sumator dodający do badanego sygnału składową stałą o wartości 2,5 V [7].

### 3.2. Układ akwizycji i prezentacji danych

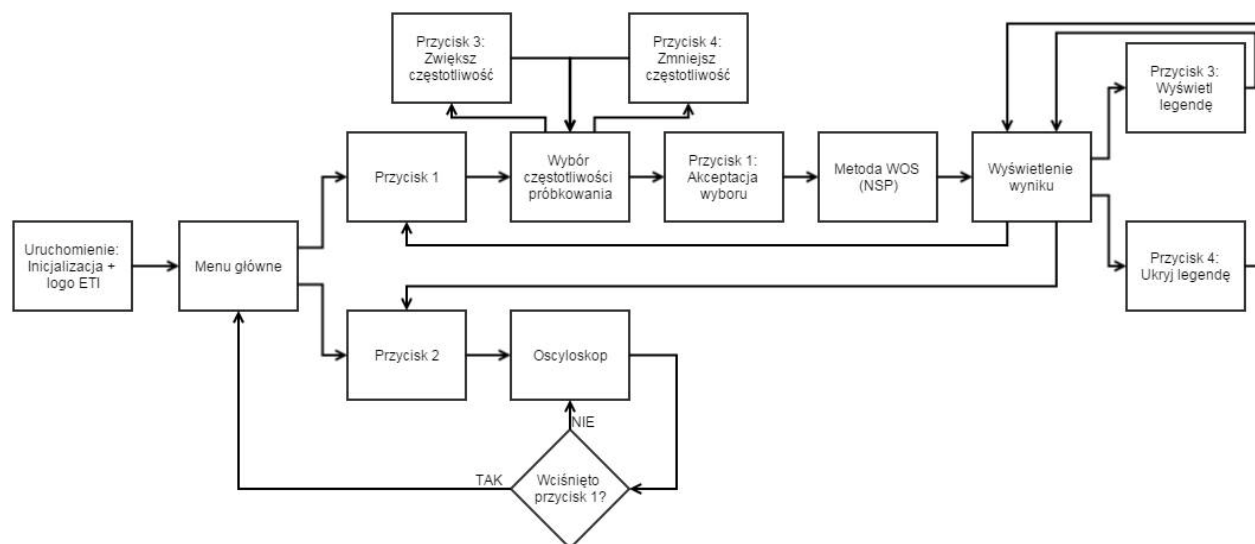
Układ akwizycji i prezentacji danych odgrywa bardzo ważną rolę w projektowanym i konstruowanym przyrządzie do identyfikacji szumu RTS, ponieważ umożliwia on przetwarzanie sygnału zawierającego szum RTS, a następnie przedstawienie pobranych danych na wyświetlaczu graficznym.

Najważniejszą częścią układu akwizycji i prezentacji danych jest 8-bitowy mikrokontroler ATmega2561 z rodziny AVR firmy Atmel. Jego zadaniem jest przetwarzanie sygnału z toru pomiarowego dzięki wykorzystaniu wbudowanego 10-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego (A/C). Taka rozdzielczość wystarcza do otrzymania zadowalających wyników. Wejście przetwornika A/C zostało dodatkowo zabezpieczone przed przekroczeniem maksymalnego, dopuszczalnego napięcia wejściowego (5 V). Nie zachodzi konieczność zasilania układu akwizycji i prezentacji danych z akumulatora, wystarczy zastosować dowolny zasilacz sieciowy. Na płycie drukowanej układu przewidziano przetwornicę impulsową typu step-down o napięciu stabilizacji wynoszącym 5 V. Układ wyposażony jest dodatkowo w cztery diody elektroluminescencyjne LED oraz cztery przyciski służące do komunikacji między urządzeniem a użytkownikiem. Diody LED zostały wykorzystane by ułatwić testowanie projektowanego układu. Przyciski natomiast służą do wyboru opcji jakie oferuje napisane oprogramowanie. Ważnym elementem układu jest graficzny wyświetlacz monochromatyczny o rozdzielczości 320 x 240 pikseli. Posiada on wbudowany kontroler RA8835 [8]. Do jego obsługi wykorzystano ogólnodostępną bibliotekę napisaną w języku programowania C. Do regulacji kontrastu

wyświetlacza zastosowano potencjometr montażowy jednoobrotowy o wartości 10 k $\Omega$ . Dodatkowo zostało zaprojektowane złącze odpowiedzialne za podświetlenie wyświetlacza.

Oprogramowanie opisanego układu zostało w całości napisane w języku C przy użyciu uniwersalnego środowiska programistycznego o nazwie *Eclipse Indigo*. Projekt został podzielony na kilka bloków, które zostały umieszczone w osobnych plikach. Po doprowadzeniu napięcia zasilającego mikrokontroler rozpoczyna wykonywanie całego programu. W opracowanym

oprogramowaniu największą uwagę skupiono na metodzie WOS, która służy identyfikacji występowania szumów RTS, jednakże zaimplementowano także prosty oscyloskop w celu sprawdzania w dziedzinie czasu parametrów (np. amplitudy impulsu) szumów generowanych w transoptorach CNY17. Do pomiarów parametrów szumów RTS wybrano liczbę próbek  $N = 3500$ . Taka liczba próbek jest niestety ograniczeniem dla zastosowanego mikrokontrolera, który posiada tylko 8 kB pamięci SRAM. Schemat blokowy działania programu został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu programu

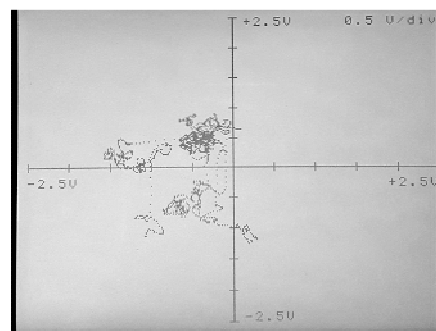
Po uruchomieniu przyrządu następuje inicjalizacja wyświetlacza graficznego, portów wejścia/wyjścia mikrokontrolera, licznika oraz przetwornika A/C. Po upływie 5 sekund od ukazania się strony tytułowej następuje wyświetlenie menu głównego. Na tym etapie należy wybrać jedną z dwóch proponowanych opcji za pomocą przycisków dostępnych dla użytkownika, mianowicie:

- przycisk nr 1 powoduje wybranie metody WOS,
- przycisk nr 2 odpowiada za uruchomienie oscyloskopu.

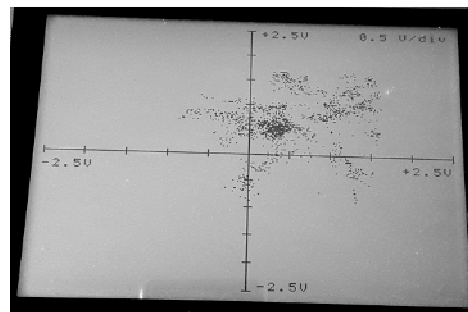
Wybranie drugiej opcji wymusza w kolejnym kroku konieczność wyboru częstotliwości próbkowania. Możliwe częstotliwości próbkowania wynoszą 25, 50, 100, 200, 500 oraz 1000 Hz. Wybór częstotliwości odbywa się poprzez wciśnięcie:

- przycisku nr 3 (zwiększanie),
- przycisku nr 4 (zmniejszanie).

Wybranie częstotliwości 25 Hz oraz 50 Hz spowoduje powstanie zjawiska aliasingu, ponieważ nie jest spełnione twierdzenie o próbkowaniu. Częstotliwości te dodano w celu zbadania poprawności działania układu. Im większa częstotliwość próbkowania, tym krótszy czas trwania pomiaru. Należy zaznaczyć, że przetwornik A/C wykorzystuje do badań 3500 próbek. W celu uzyskania lepszych efektów wizualnych liczba próbek mogłaby być dużo większa, jednakże w zaprojektowanym układzie nie zastosowano dodatkowej pamięci zewnętrznej. Mikrokontroler posiada 8 kB pamięci danych, co pozwala uzyskać 3500 próbek (każda próbka zajmuje 2 bajty) [7]. Uzyskane wyniki pomiarowe przedstawione zostały na rysunku 4 oraz rysunku 5.



Rys. 4. Obraz WOS - wykryty szum RTS dwupoziomowy



Rys. 5. Obraz WOS - wykryty szum RTS trójpoziomowy

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Do badań wybrano 60 transoptorów należących do różnych klas współczynnika  $CTR$  (współczynnik zwielokrotnienia prądu [%]): drugiej, trzeciej oraz czwartej

[9]. Pomiar parametrów szumów przeprowadzono dla różnych częstotliwości próbkowania  $f_p$  w celu sprawdzenia dokładności zaprojektowanego przyrządu oraz oprogramowania. Ponadto, uzyskane wyniki pomiarowe były porównywane z wynikami otrzymanymi za pomocą specjalistycznej karty pomiarowej DAQ oraz oscyloskopu cyfrowego. Wykonane pomiary potwierdziły generowanie szumów RTS dwu- oraz trójpoziomowych przez około 30% przebadanych transoptorów. Większość badanych elementów generowała jedynie szum gaussowski o różnych wartościach amplitudy impulsu.

Zaprojektowany układ spełnia założenia projektowe, a prezentowane na wyświetlaczu wyniki są zadowalające. Wybrany mikrokontroler posiada niestety zbyt mało pamięci danych, w której przechowywane są próbki. Problem ten w przyszłości można rozwiązać poprzez wykorzystanie innego mikrokontrolera o większych zasobach pamięci czy też dodanie do układu zewnętrznej pamięci np. EEPROM. Do zalet zaprojektowanego urządzenia można zaliczyć przede wszystkim prostotę, mobilność oraz niską cenę.

Konstrukcja systemu oraz wszystkie pomiary zostały wykonane w ramach pracy magisterskiej [10].

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Konczakowska A.: Szумы z zakresu małych częstotliwości: metody pomiaru, zastosowanie do oceny jakości przyrządów półprzewodnikowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2006.
2. Oren R.: Discussion of various views of popcorn noise, IEEE Transaction on Electron Devices, vol. ED-17, 1971, s. 221-226.
3. Rodriguez T., Mulet J., Luque A.: Behaviour of burst noise under mechanical stress, Electronic Letters, vol. 9, No. 11, 1973, s. 248-249.

4. Rodriguez T., Luque A.: Behaviour of burst noise under UV and visible radiation, Solid-State Electronics, vol. 19, 1976, s. 573-575.
5. Stawarz-Graczyk B.: Sposoby identyfikacji szumów wybuchowych (RTS) w przyrządach półprzewodnikowych, XXVIII Konferencja Elektroniki i Telekomunikacji Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Warszawa, 11-13 marca 2008.
6. Konczakowska A., Cichosz J., Szewczyk A.: A new method of RTS noise of semiconductor devices identification. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement. Vol. 57, Issue 6, 2008, s. 1199-1206.
7. Erenc R., Wójcik M.: Konstrukcja zintegrowanego układu zasilania dla diod LED XLamps, Projekt dyplomowy inżynierski, Politechnika Gdańska, Wydział ETI, semestr zimowy 2013/2014, Gdańsk, Polska.
8. Nota katalogowa kontrolera RA8835, <http://www.raio.com>, 24.06.2015.
9. Stawarz-Graczyk B., Szewczyk A., Konczakowska A.: Identification of inherent noise components of semiconductor devices on an example of optocouplers. Opto-Electronics Review, vol. 17, Issue 3, 2009, s. 236-241.
10. Erenc R., Wójcik M.: Przyrząd do identyfikacji szumów RTS w transoptorach CNY17. Praca magisterska, Wydział elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, 2015.

## SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF RTS NOISE IN CNY17 OPTOCOUPLER DEVICES

In the paper the universal system for identification of Random Telegraph Signal (RTS) noise as a non-Gaussian component of the inherent noise signal in CNY17 optocoupler devices is presented. To identification of RTS noise the Noise Scattering Patterns (NSP) method was chosen. The method allows to identify the Gaussian and non-Gaussian distributions of noise temporary values in a very simple way. Impulses are characterized by constant amplitude and random occurrence of impulses. The system consists of two main parts: the measurement circuit and a data acquisition circuit. The system automatically tests optocouplers and the results are presented on graphic display of the device.

**Keywords:** RTS noise, optocoupler device, Noise Scattering Pattern (NSP) method.