

Arkadiusz SZEWCZYK

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTRONIKI, TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI
ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

Metody badania właściwości szumowych elementów mocy z SiC

Dr inż. Arkadiusz SZEWCZYK

Reprezentuje dyscyplinę elektronika, specjalność konstrukcja aparatury elektronicznej. Obszar zainteresowań: pomiary i analiza szumów, konstrukcja aparatury i systemów do pomiarów szumów własnych elementów elektronicznych. Autor jest zatrudniony na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, w Katedrze Metrologii i Optoelektroniki na stanowisku adiunkta.



e-mail: szewczyk@eti.pg.gda.pl

Streszczenie

Węgiel krzemu, SiC, jest nowym materiałem dla elektroniki wysokich mocy i wysokich temperatur. Ze względu na swoje właściwości jest wykorzystywany do wytwarzania elementów mocy i diod świecących. W artykule przedstawiono metody i układy pomiarowe do pomiarów szumów z zakresu małych częstotliwości dla diod mocy wykonanych z węgla krzemu. Pomiary prowadzone były przy polaryzacji badanych elementów w kierunku przewodzenia i zaporowym. Opracowano układ automatycznej kompensacji składowej stałoprądowej, który umożliwia obserwację i rejestrację szumów wybuchowych.

Słowa kluczowe: pomiary szumów, elementy mocy.

Methods for studying noise properties of SiC power devices**Abstract**

Silicon carbide, SiC, is a novel material for power electronics. It offers a higher band gap, a higher breakdown electric field and a higher thermal conductivity in comparison to other materials such as silicon or gallium arsenide. Therefore, it is used in power and HF electronics as a material for switching elements as Schottky diodes and transistors, that can work at higher switching frequencies and higher junction temperature up to 175°C. The aim of the paper is to present noise measurement systems of SiC Schottky diodes and to discuss conditions of the measurement with reference to the quality of SiC Schottky diode evaluation. The measurements included static characteristics and noise measurements in both forward and reverse polarization of diodes. The noise measurements were made in the measurement setups shown in Figs. 4 and 5. In several devices the burst noise (RTS) was observed in reverse polarization. The RTS was measured in the measurement setup (Fig. 8) equipped with a specially prepared system for compensation of the DC component of the measured signal (Fig. 9).

Keywords: noise measurement, power devices.

1. Wstęp

Węgiel krzemu, SiC, jest stosunkowo nowym materiałem w elektronice. Charakteryzuje się on szerszą przerwą energetyczną, większym napięciem przebicia i lepszym przewodnictwem cieplnym w porównaniu do innych materiałów wykorzystywanych w elektronice, jak krzem i arsenek galu. Ze względu na swoje właściwości jest wykorzystywany do wytwarzania elementów mocy, takich jak diody Schottky'ego, diody MPS, tranzystory typu MOSFET i MESFET, diody świecące oraz jako podłoża dla elementów z innych materiałów. Elementy wykonane z SiC mogą pracować z wyższymi częstotliwościami przełączania i wyższymi temperaturami złącza, aż do 175°C [1]. Wysoka wytrzymałość termiczna predestynuje elementy z SiC do zastosowań w elektroenergetyce, motoryzacji, a także zastosowaniach militarnych i kosmicznych [2].

Mimo, że węgiel krzemu jako materiał jest znany od wielu lat, jego technologia wytwarzania dla potrzeb elektroniki jest wciąż

rozwijana. Charakter zastosowań wymaga odpowiednio wysokiej jakości i niezawodności gotowych produktów. Jednym z narzędzi badania jakości elementów i technologii ich wytwarzania jest pomiar ich szumów własnych. Prowadzone badania oraz wyniki dostępne w literaturze [3, 4] potwierdzają zależność intensywności szumów własnych elementów od ich jakości. W celu prawidłowego przeprowadzenia pomiarów szumowych konieczne jest określenie warunków pomiarów, w szczególności napięć i prądów polaryzacji elementów. Należy przy tym uwzględnić również zjawiska termiczne – zależność kształtu charakterystyk stałoprądowych od temperatury elementu, co jest szczególnie krytyczne w przypadku elementów wykonanych z SiC, które charakteryzują się wysokim, dodatnim współczynnikiem temperaturowym [5].

Obecnie producenci oferują diody mocy Schottky'ego o prądzie przewodzenia do 40 A i napięciach wstecznych typowo 600 V, 1200 V i 1700 V oraz tranzystory MOSFET na napięcie 1200 V.

W badaniach użyto dostępnych w handlu diod Schottky'ego mocy produkcji CREE i Infineon o prądach przewodzenia 2 A (CSD02060), 4 A (CSD04060, SDT04S60), 10 A (CSD10060, C2D10120) i 12 A (SDT12S60) oraz maksymalnych napięciach wstecznych 600 V i 1200 V. Wszystkie elementy były zamontowane w obudowach TO220-2.

2. Pomiary stałoprądowe

W celu zdefiniowania warunków pomiaru szumów własnych przyrządów półprzewodnikowych należy określić między innymi konfigurację badanego elementu oraz zakres prądów i napięć polaryzujących [6]. Parametry te determinują rodzaj modelu szumowego i wybór układu pomiarowego.

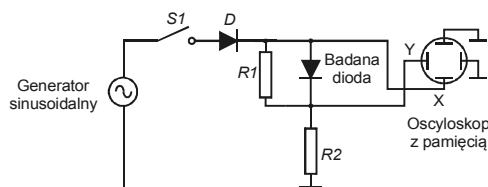
Dobór konfiguracji układu pracy badanego przyrządu półprzewodnikowego zależy od celu pomiaru szumów. Jeżeli pomiary szumów są prowadzone w celu wytypowania warunków pracy danego przyrządu półprzewodnikowego, w konkretnym układzie aplikacyjnym, to oczywiście należy w takiej konfiguracji wykonywać pomiary szumów i określić warunki, w których możliwe jest uzyskanie minimalnych szumów własnych. Jeżeli natomiast pomiary szumów są wykonywane w celu oszacowania powiązań pomiędzy poziomem szumów własnych, a jakością danego typu przyrządu półprzewodnikowego, to pomiary szumów nie muszą być przeprowadzane w konfiguracji odpowiadającej układowi aplikacyjnemu, ale w takiej konfiguracji, w której najwyraźniej uwypukla się udział źródeł szumów nadmiarowych w szumach własnych mierzonego przyrządu. Ponieważ w omawianym przypadku, pomiary szumów prowadzone były w celu poznania właściwości szumowych badanych elementów, zdecydowano się na przeprowadzenie pomiarów przy polaryzacji w kierunku przewodzenia oraz w kierunku zaporowym w możliwie szerokim zakresie prądów i napięć.

Wyznaczone charakterystyki stałoprądowe pozwalają również kontrolować zachowanie badanego elementu w trakcie pomiaru jego szumów własnych. Zwykle czas trwania pomiaru szumów w zakresie małych częstotliwości jest znacząco długi. Zależy on przede wszystkim od zakresu częstotliwości mierzonych sygnałów i założonej dokładności wyznaczania widma częstotliwościowego (liczby uśrednień). W rozpatrywanym przypadku wynosił on nawet ok. 1 minuty dla pojedynczego ustalonego punktu pracy. Kontrola napięcia i prądu pracy w trakcie pomiaru i porównanie ich z wyznaczonymi wcześniej charakterystykami pozwala na wykrycie nieprawidłowego działania badanego obiektu spowodowanego jego uszkodzeniem lub znaczącej zmiany punktu pracy w wyniku zmiany temperatury złącza.

Charakterystyki stałoprądowe badanych diod wyznaczone były dla polaryzacji w kierunku przewodzenia do maksymalnej katalo-

gowej wartości prądu przewodzenia I_F i w kierunku zaporowym do maksymalnej katalogowej wartości napięcia wstecznego U_R .

Dla prądów przewodzenia $I_D < 6$ A charakterystyka stałoprądowa $I_D = f(U_D)$ wyznaczana była metodą oscyloskopową w układzie, którego schemat przedstawiony jest na rys. 1.

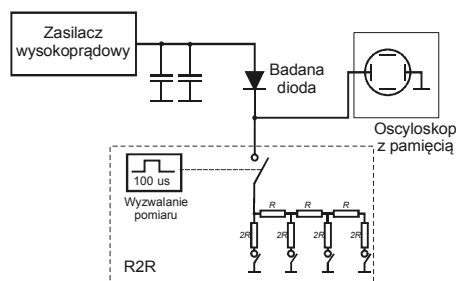


Rys. 1. Układ do wyznaczania charakterystyki stałoprądowej diody w kierunku przewodzenia

Fig. 1. Measurement setup for determining the static characteristic of a diode in forward polarization

W przedstawionym układzie badany element jest zasilany wyprostowanym jednopółkowo napięciem sinusoidalnym, a jego charakterystyka $I_D = f(U_D)$ jest wyświetlana bezpośrednio na ekranie oscyloskopu. Źródłem napięcia pomiarowego jest generator sinusoidalny ze wzmacniaczem mocy. Sygnał pobudzający jest dołączany do układu kluczem S1, przez pomocniczą diodę D, na czas trwania około jednego okresu przebiegu sinusoidalnego w celu ograniczenia nagrzewania złącza badanej diody. Wprowadzenie kluczowania sygnału wymaga użycia do pomiaru oscyloskopu z pamięcią i wyzwaniem poziomem sygnału. Działanie klucza S1 może być również zsynchronizowane przebiegiem pomiarowym. Można wtedy ograniczyć czas jego otwarcia do pierwszej ćwiartki kluczowanego przebiegu sinusoidalnego. Pozwala to na wyeliminowanie diody pomocniczej D i ograniczenie dostarczonej do badanego elementu energii.

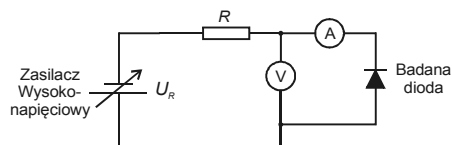
Pomiary charakterystyk w zakresie wyższych prądów, $I_D > 6$ A, przeprowadzane były metodą impulsową w układzie przedstawionym na rys. 2.



Rys. 2. Układ pomiarowy do impulsowego wyznaczania charakterystyki stałoprądowej diody

Fig. 2. Measurement setup for determining the static characteristic of a diode by the pulse method

Część układu, oznaczona na rys. 2. symbolem R2R, jest zmodyfikowaną drabinką rezystorową, umożliwiającą generację impulsów o różnej amplitudzie i krótkim czasie trwania, poniżej 100 μ s [7]. Wartość rezystancji wyjściowej drabinki jest regulowana cyfrowo, co pozwala na automatyzację pomiaru charakterystyki badanej diody. Krótki czas trwania impulsów pomiarowych w połączeniu z odpowiednio długim czasem przerwy między nimi zapobiega zmianie temperatury złącza.



Rys. 3. Układ do wyznaczania charakterystyk diody w kierunku zaporowym

Fig. 3. Measurement setup for determining a static characteristic of a diode in reverse polarization

Charakterystyki w kierunku zaporowym wyznaczane były metodą punkt po punkcie w układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 3.

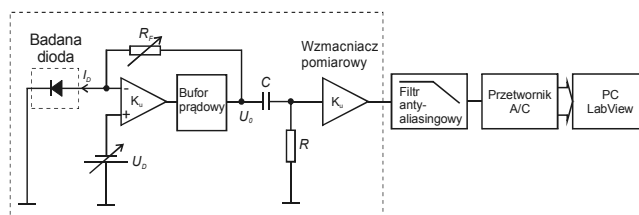
Badany element był polaryzowany napięciem z zasilacza wysokonapięciowego, a napięcie wsteczne i prąd wsteczny mierzone były woltomierzem i amperomierzem. W celu ograniczenia prądu płynącego w układzie w przypadku przebicia badanej diody, włączono rezystor R.

Wartości prądów wstecznych badanych elementów są bardzo małe (rzędu dziesiątek μ A) i nie było potrzeby zabezpieczenia elementów przed nagrzewaniem.

3. Pomiary szumów

Właściwości szumowe badanych diod określone były poprzez: (i) pomiary szumów własnych przy polaryzacji w kierunku przewodzenia, (ii) pomiary szumów własnych przy polaryzacji w kierunku zaporowym oraz (iii) obserwację przebiegów szumów wybuchowych wybranych elementów.

Szumy własne diod przy polaryzacji w kierunku przewodzenia mierzone były w układzie pomiarowym pokazanym na rys. 4.



Rys. 4. Układ do pomiaru szumów własnych diod w kierunku przewodzenia

Fig. 4. Measurement setup for noise measurements in forward polarization

Układ pomiarowy składa się z ekranowanej głowicy pomiarowej z zasilaniem bateryjnym, karty przetworników analogowo-cyfrowych z filtrem antyaliasingowym i komputera z oprogramowaniem sterującym i do analizy danych. Głowica pomiarowa zbudowana jest z przetwornika prąd-napięcie o regulowanym wzmacnieniu, bufora prądowego i zespołu wzmacniaczy napięciowych. Rolą bufora prądowego jest zwiększenie zakresu pomiarowego przetwornika prąd-napięcie poprzez zwiększenie maksymalnego prądu wyjściowego wzmacniacza operacyjnego z 10 mA do 100 mA. Badany element jest polaryzowany regulowanym napięciem U_D dołączonym do wejścia nieodwracającego wzmacniacza operacyjnego przetwornika prąd-napięcie. Przy takiej konfiguracji napięcie wyjściowe U_0 , przetwornika prąd-napięcie jest równe:

$$U_0 = U_D - R_f \cdot I_D, \quad (1)$$

gdzie: U_D – napięcie polaryzacji diody, R_f – rezystancja w pętli sprzężenia zwrotnego przetwornika, I_D – prąd badanej diody.

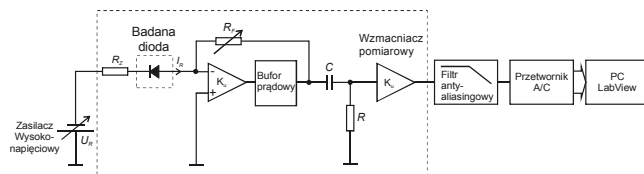
Dla zwiększenia czułości układu pomiarowego składowa stała w przebiegu pomiarowym (U_D) jest usuwana przez filtr RC. Filtr ten oprócz pożądanej eliminacji składowej stałej, wpływa na pasmo układu pomiarowego ograniczając je z dołu.

Głowica pomiarowa umożliwia pomiar szumów dla prądów przewodzenia badanej diody $I_D < 100$ mA. Ograniczenie to wynika z zastosowania układu przetwornika prąd-napięcie z buforem prądowym i jest wystarczające w rozpatrywanych badaniach. Czas trwania pojedynczego pomiaru, przy paśmie pomiarowym 1 kHz, rozdzielczości 1 Hz i 50 uśrednieniach widma w dziedzinie częstotliwości wynosił ok. 50 sekund. W trakcie pomiaru o takim czasie trwania, przy prądzie przewodzenia $I_D = 50$ mA obserwowane były zmiany punktu pracy badanej diody wynikające ze wzrostu temperatury złącza. Wyeliminowanie efektu nagrzewania badanego elementu wymagałoby zastosowania systemu stabilizacji temperatury i wydłużenia czasu przygotowania do pomiaru szumów o okres potrzeby na ustalenie się warunków temperatu-

rowych w układzie, przy czym nie gwarantowało by to takiej samej temperatury złącza dla różnych punktów pomiarowych.

Wzmocniony sygnał z głowicy pomiarowej podawany jest do karty przetworników analogowo – cyfrowych z filtrem antyaliasingowym. Sterowanie zbieraniem i analizą danych odbywa się w środowisku LabView firmy National Instruments. W prowadzonych badaniach aplikacja programu LabView umożliwia obliczenie funkcji gęstości widmowej mocy spróbkowanego sygnału przy użyciu algorytmu szybkiej transformaty Fouriera (FFT), jak również zapisanie próbek w pliku tekstowym w celu późniejszej analizy.

Pomiary szumów własnych przy polaryzacji w kierunku zaporowym prowadzone były w układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 5, który uzyskano przez modyfikację układu pokazanego na rys. 4.

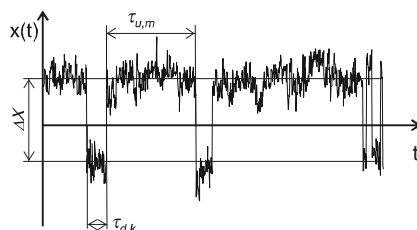


Rys. 5. Układ do pomiaru szumów własnych diod w kierunku zaporowym
Fig. 5. Measurement setup for noise measurements in a reverse polarization

Badana dioda jest zasilana przez rezystor zabezpieczający R_Z z zewnętrznego zasilacza wysokonapięciowego. Rezystor pełni również rolę ochronną dla głowicy pomiarowej. W przypadku przebicia badanej diody, odkłada się na nim wysokie napięcie z zasilacza. Pozostałe elementy układu i sposób pomiaru pozostają bez zmian.

Pomiary szumów własnych prowadzone były w zakresie napięć wstecznych o wartościach nie większych niż maksymalne napięcie wsteczne elementu powiększone o 100 V. Zdecydowano się na przekroczenie dopuszczalnych wartości katalogowych napięcia wstecznego w celu uwydatnienia właściwości szumowych związanych z przepływem prądu wstecznego. Przyjmuje się, że przy pracy elementu w pobliżu granicy przebicia, łatwiej określić jego jakość na podstawie jego szumów własnych. W badanych diodach, przy osiągniętych napięciach wstecznych, prąd wsteczny nie przekraczał typowych wartości podanych przez producentów dla maksymalnych napięć wstecznych.

W trakcie pomiarów szumów w kierunku zaporowym, dla niektórych elementów, obserwowano występowanie przebiegów charakterystycznych dla szumów wybuchowych (RTS, popcorn noise, burst noise), widocznych jako ciągi impulsów o stałej amplitudzie i losowym czasie trwania impulsu wysokiego (sygnał w stanie wysokim) oraz losowym czasie trwania impulsu niskiego (sygnał w stanie niskim). Typowy przebieg szumu wybuchowego przedstawiony jest na rys. 6.



Rys. 6. Przykładowy przebieg szumu wybuchowego z zaznaczonymi parametrami przebiegu: amplitudą ΔX i czasami trwania k -tego impulsu niskiego $\tau_{d,k}$ i m -tego impulsu wysokiego $\tau_{u,m}$

Fig. 6. Example RTS signal with marked waveform parameters: amplitude ΔX , duration time of the k^{th} down pulse, $\tau_{d,k}$ and duration time of the m^{th} up pulse, $\tau_{u,m}$

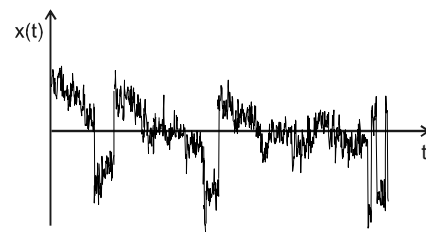
Analiza szumów wybuchowych może być przeprowadzona w dziedzinie czasu i w dziedzinie częstotliwości. W dziedzinie czasu podstawowymi metodami analizy sygnału jest wykonanie

histogramu wartości chwilowych sygnału, obliczenie wartości średnich czasów trwania impulsów i czasów odstępów między nimi oraz metoda obrazowania szumów (NSP) [8]. W dziedzinie częstotliwości oblicza się funkcję gęstości widmowej mocy i na podstawie jej kształtu określa się częstotliwość charakterystyczną składowej szumów wybuchowych. Funkcja gęstości widmowej mocy może być dodatkowo pomnożona przez częstotliwość w celu uwydatnienia składowej szumów wybuchowych. Częstotliwość charakterystyczna może być obliczona również z wzoru:

$$f_{RTS} = \frac{1}{\tau_u} + \frac{1}{\tau_d}, \quad (2)$$

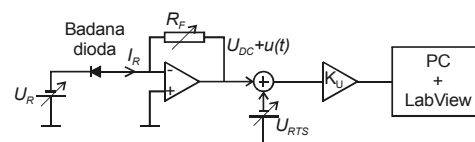
gdzie: f_{RTS} - częstotliwość charakterystyczna, $\overline{\tau_u}$, $\overline{\tau_d}$ - średni czas przebywania sygnału odpowiednio w stanie wysokim i niskim.

Każda z metod analizy wymaga zarejestrowania niezniekształconego sygnału. W typowych układach pomiarowych szumów, jak na przykład pokazanych na rys. 4 i rys. 5, występuje filtr górnoprzepustowy RC usuwający składową stałą z sygnału pomiarowego w celu zwiększenia dokładności pomiaru. Filtr ten różniczkuje sygnał pomiarowy i w przypadku przebiegu wybuchowego o dostatecznie długich czasach trwania impulsów i przerw między nimi w odniesieniu do stałej czasowej filtru, może sygnał taki zniekształcić w stopniu uniemożliwiającym jego późniejszą prawidłową analizę. Zniekształcenie takie pokazane jest na rys. 7 na przykładzie przebiegu z rys. 6.



Rys. 7. Wynik zastosowania filtracji szumu wybuchowego filtrem RC
Fig. 7. The result of RC filtering of the burst noise

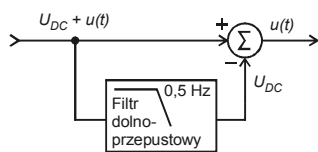
Jak widać, kształt impulsów został zmieniony i prawidłowa analiza takiego sygnału nie jest możliwa. Aby zapobiec zniekształceniom należy zastosować filtr o stosunkowo długiej stałej czasowej. Wyduży to jednak czas pomiaru o czas potrzebny na ustabilizowanie się napięcia wyjściowego (naładowanie kondensatora) po każdej zmianie punktu pracy badanego elementu. Rozwiązaniem tego problemu jest kompensacja składowej stałoprądowej w układzie sumatora napięcia, umieszczonego w torze pomiarowym, jak to pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Układ pomiarowy z kompensacją składowej stałoprądowej w sygnale pomiarowym

Fig. 8. Measurement setup with compensation of the DC component in the measurement signal

Przy stosowaniu tej metody wymagane jest odpowiednie ustalenie napięcia kompensacji U_{RTS} , równego co do wartości napięcia składowej stałej sygnału pomiarowego U_{DC} . W tym celu został opracowany układ filtra dolnoprzepustowego o niskiej częstotliwości odcięcia i wzmocnieniu jednostkowym współpracującego z układem sumatora odwracającego [9]. Schemat blokowy modułu kompensacji składowej stałej pokazany jest na rys. 9.



Rys. 9. Moduł kompensacji składowej stałej
Fig. 9. DC component compensation module

Sygnał pomiarowy ze składową stałoprądową U_{DC} i składową zmienną $u(t)$ podany jest na aktywny filtr dolnoprzepustowy, w którym odzyskiwana jest składowa stałoprądowa, podawana następnie do sumatora odwracającego w celu odjęcia od sygnału pomiarowego. Przeprowadzone pomiary testowe potwierdziły prawidłowe działanie opracowanego modułu w szerokim zakresie częstotliwości.

4. Wnioski

Pomiary szumów diod z węgla krzemu wymagają szczególnej staranności w przygotowaniu systemów pomiarowych. Występująca w tych elementach silna zależność kształtu charakterystyki od temperatury pracy złącza wymaga dbałości o zachowanie stałej temperatury pracy elementu, co w przypadku czasochłonnych pomiarów szumów w zakresie małych częstotliwości, ogranicza użyteczny zakres prądów polaryzujących badany element. Przy pomiarach szumów przy polaryzacji w kierunku zaporowym, ważne jest zabezpieczenie systemu pomiarowego przed wysokim napięciem użytym do polaryzacji badanego elementu tak, aby w przypadku jego uszkodzenia (przebiecia) nie został zniszczony układ pomiarowy.

5. Literatura

- [1] Agarwal A., Singh R., Ryu S-H, Richmond J., Capell C., Schwab S., et al.: 600 V, 1- 40 A, Schottky Diodes in SiC and Their Applications. <http://www.cree.com/products/pdf/PWRTechnicalPaper1.pdf>.
- [2] Vemal Raja Manikam and Kuan Yew Cheong: Die attach materials for high temperature applications: A review. IEEE Transactions On Components, Packaging And Manufacturing Technology, Vol. 1, No. 4, 2011.
- [3] Konczakowska A.: Ocena jakości elementów elektronicznych na podstawie szumów 1/f. Elektronizacja nr 6, 2002.
- [4] Cichosz J., Hasse L., Konczakowska A., Smulko J., Spiralski L., Szewczyk A., Zdybel Z.: Pomiary szumów małowartościowych jako narzędzie diagnostyczne jakości obiektów. Zeszyty Naukowe Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej nr 14, 2000.
- [5] Janke W., Hapka A.: The current-voltage characteristics of SiC Schottky barrier diodes with the self-heating included. 16th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC), Barcelona, 2010.
- [6] Konczakowska A.: Szumy z zakresu małych częstotliwości – Metody pomiaru, zastosowanie do oceny jakości przyrządów półprzewodnikowych. Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2006.
- [7] Cichosz J., Szewczyk A., Stawarz-Graczyk B.: Method and measurement system for DC characteristics measurement of power diodes in very wide current range. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 31, Gdańsk 2012.
- [8] Konczakowska A., Cichosz J., Szewczyk A.: A new method for RTS noise of semiconductor devices identification. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol. 57, no 6 (2008).
- [9] Szewczyk A., Babicz S., Dudziak A.: DC Filter in RTS noise measurements. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 31, Gdańsk 2012.

otrzymano / received: 18.02.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.04.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Szanowni Autorzy artykułów publikowanych w PAK

W trosce o jak najwyższy poziom punktacji miesięcznika PAK zwracam się z prośbą o cytowanie artykułów opublikowanych w PAK w innych artykułach, zwłaszcza tych publikowanych w czasopismach z listy filadelfijskiej. Ma to bezpośredni wpływ na współczynnik IF (Impact Factor) miesięcznika PAK.

W algorytmach oceny czasopism współczynnik IF ma największą wagę. Na zwiększenie wartości współczynnika IF redakcja czasopisma nie ma żadnego wpływu, ale wszystko zależy od Autorów cytujących. W przypadku miesięcznika PAK aktualnie każde cytowanie zwiększa IF o około 0,002. Oczywiście cytowanie artykułu tylko wtedy jest uzasadnione, jeżeli jest on tematycznie związany z artykułem cytującym, a autor korzystał z niego przy przygotowaniu pracy.

Aby ułatwić Autorom korzystanie z artykułów opublikowanych w PAK (a także możliwość cytowania) została opracowana przez redakcję PAK „Wyszukiwarka”, umożliwiająca wyszukiwanie artykułów według nazwiska autora, słowa tytułu artykułu, albo frazy kluczowej.

Aby skorzystać z „Wyszukiwarki” należy:

- wejść na stronę: www.pak.info.pl
- w menu „Wyszukiwarka” (po lewej stronie ekranu) wybrać „Artykuły”.

Strona zawiera również szereg innych łatwo dostępnych funkcjonalności, m.in. wykazy artykułów opublikowanych w PAK, a cytowanych w artykułach opublikowanych w czasopismach z listy filadelfijskiej.

Zdaję sobie sprawę, że redakcje niektórych czasopism usuwają cytowania artykułów publikowanych w czasopismach spoza listy filadelfijskiej, np. argumentując, że są one mało dostępne. Taka argumentacja będzie mniej uzasadniona, jeżeli tytuł naszego miesięcznika oraz tytuły artykułów będą podane w cytowaniach w języku angielskim. Proszę zauważyć, że oficjalny tytuł anglojęzyczny miesięcznika PAK (występujący na okładce) ma formę: Measurement, Automation and Monitoring (MA&M), a wszystkie artykuły naukowe publikowane w PAK są napisane albo w języku angielskim, albo mają rozszerzone abstrakty w tym języku.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK