

Piotr JANKOWSKI-MIHUŁOWICZ, Mariusz WĘGLARSKI

POLITECHNIKA RZESZOWSKA, ZAKŁAD SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH I TELEKOMUNIKACYJNYCH,  
ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

## Wyznaczanie czułości chipu identyfikatora przeznaczanego do pracy w propagacyjnych systemach RFID pasma UHF

Dr inż. Piotr JANKOWSKI-MIHUŁOWICZ

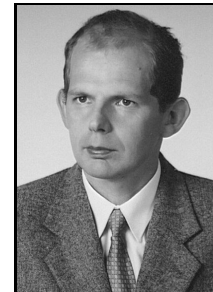
W 1999 r. uzyskał w Politechnice Rzeszowskiej tytuł magistra inżyniera w zakresie specjalności aparatura elektroniczna, a w 2007 – w AGH w Krakowie – stopień doktora w dyscyplinie telekomunikacja. Jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym w Zakładzie Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych PRz. Koordynuje prace badawcze dotyczące zagadnień techniki RFID. W tym zakresie ściśle współpracuje z wieloma instytucjami i przedsiębiorstwami.



e-mail: pjanko@prz.edu.pl

Dr inż. Mariusz WĘGLARSKI

W roku 1996 uzyskał dyplom Politechniki Rzeszowskiej, specjalność aparatura elektroniczna, a w roku 2005 stopień doktora w dyscyplinie elektrotechnika. Jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym w Zakładzie Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych w PRz. W pracy naukowej skupia się na badaniach w zakresie technologii hybrydowych układów i systemów mikroelektronicznych oraz komponentów systemów RFID, a także zagadnień analizy pól temperatury.



e-mail: wmar@prz.edu.pl

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano dwie metody wyznaczania czułości chipu identyfikatora funkcjonującego w propagacyjnych systemach RFID pasma UHF. Czułość jest reprezentowana przez minimalną moc, która zapewnia prawidłowe działanie identyfikatora w systemie. Parametr ten stanowi podstawę dla syntezy trójwymiarowego obszaru poprawnej pracy w wielokrotnych systemach RFID, przy założeniu ich prawidłowego funkcjonowania nie tylko w stanach statycznych, ale także w trudnych warunkach dynamicznych.

**Słowa kluczowe:** RFID, pasmo UHF, identyfikator, czułość chipu.

### Determination of chip sensitivity for transponder working in RFID systems of UHF band

#### Abstract

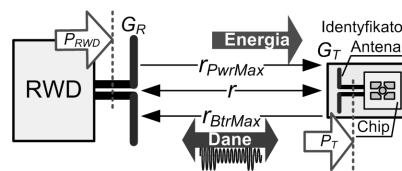
Nowadays there is often a need to implement innovative solutions in Radio Frequency Identification (RFID) which relate to different economic and public activity (in industry, commerce, science, medicine and others) [1-3]. It should be noted that among all factors affecting the operation of RFID systems, the interrogation zone is the most useful parameter at the design stage (Section 1). This parameter defines the possibility of using RFID system applications in automated identification processes [1, 4]. It also comprehensively covers the energy and communication aspects involved with operation of individual devices of the RFID system (Fig. 1). However, the power supply conditions of passive transponders are critical when the interrogation zone is calculated [5]. Two methods for determination of the chip sensitivity of a transponder working in RFID systems of UHF band are presented in this paper (Section 2). The sensitivity is represented by the minimal power (2), which ensures proper operation of the transponder in the RFID system. This parameter is the basis for synthesis of the 3D interrogation zone for anticollision UHF RFID systems operating in static (fixed location and orientation of objects in space) or dynamic state (objects changing their location and orientation in space). The professional test stand for verification of the sensitivity determination has been also constructed (Section 3).

**Keywords:** RFID, UHF band, transponder, chip sensitivity.

### 1. Wstęp

Akronim RFID (*Radio Frequency IDentification*) oznacza nowoczesną technikę radiowej identyfikacji obiektów [1], która już na obecnym etapie jej rozwoju – jest często wykorzystywana w zautomatyzowanych procesach, w różnych obszarach aktywności społeczno-gospodarczej, w obszarze: przemysłu, handlu, nauki, medycyny i wielu innych dziedzin [2, 3]. Mnogość czynników wpływających na działanie systemów RFID pozwala stwierdzić, że obszar poprawnej pracy (*Interrogation Zone - IZ*) jest najbardziej użytecznym parametrem, który warunkuje możliwości szerokiego aplikowania systemów RFID w zautomatyzowanych procesach [1, 4].

W obszarze poprawnej pracy kompleksowo uwzględnione są właściwości energetyczne i komunikacyjne systemu RFID, co stanowi bazę wiedzy o podstawowych parametrach: elektronicznego identyfikatora radiowego – *transponder* – przeznaczanego do znakowania obiektów, a także układu czytnika/programatora – *Read/Write Device (RWD)* i jego anteny. Brak pełnego specyfikowania (przez producentów) parametrów elektrycznych i konstrukcyjnych oraz warunków ich wyznaczania dla oferowanych urządzeń lub ich elementów składowych, jest istotną przyczyną hamującą praktyczną implementację procesu wielokrotnej identyfikacji obiektów (*anticollision identification*), w którym operacje zapisu/odczytu danych z pamięci realizowane są jednocześnie dla wielu przestrzennie rozmieszczonych identyfikatorów. W przypadku chipu, niepełna specyfikacja jego parametrów uniemożliwia prawidłowe projektowanie konstrukcji identyfikatora radiowego (szczególnie jego wewnętrznej anteny) do zadanej aplikacji systemu RFID. Niemożliwe jest także analityczne wyznaczenie nawet podstawowego parametru *IZ*, czyli zasięgu działania systemu RFID, który definiowany jest jako maksymalna odległość identyfikatora od środka anteny układu RWD.



Rys. 1. Układ radiokomunikacyjny RWD - identyfikator  
Fig. 1. Radio communication system of RWD – transponder

W uogólnionym modelu systemu propagacyjnego (rys. 1), maksymalna odległość  $r_{PwrMax}$  pomiędzy osiowo symetrycznymi antenami układu radiokomunikacyjnego, stanowi geometryczną granicę obszaru poprawnej pracy, dla której możliwe jest spełnienie warunku zasilenia pasywnego identyfikatora energią pola elektromagnetycznego, wytworzonego przez antenę układu RWD:

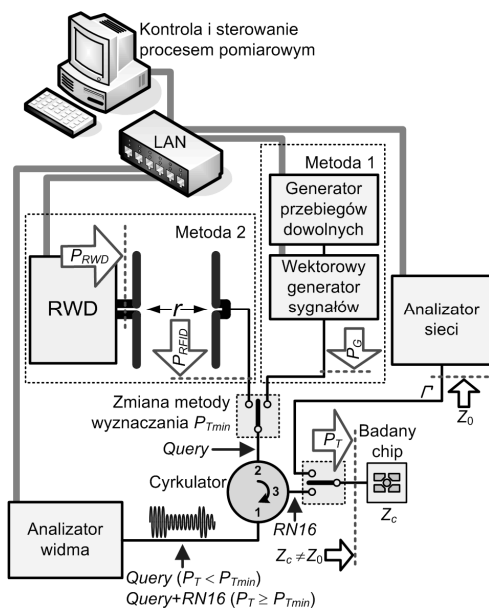
$$r_{PwrMax} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{RWD} G_R G_T \tau \chi}{P_{Tmin}}}, \quad (1)$$

gdzie:  $P_{Tmin}$  oznacza czułość chipu, czyli minimalną moc, która zapewnia prawidłowe działanie identyfikatora w systemie,  $P_{RWD}$  – moc dostarczana do zacisków dopasowanej impedancyjnie anteny czytnika/programatora,  $G_R$  – zysk energetyczny impedancyjnie dopasowanej anteny układu RWD,  $G_T$  – zysk anteny identyfikatora (przy założeniu jej impedancyjnego dopasowania do chipu),  $\tau$  – współczynnik przenoszenia mocy z anteny identyfikatora do jego chipu,  $\chi$  – współczynnik dopasowania polaryzacyjnego anten układu radiokomunikacyjnego,  $\lambda$  – długość fali.

W procesie syntezy obszaru poprawnej pracy wymagane jest porównanie wartości  $r_{P_{wR}Max}$  z parametrem  $r_{BtrMax}$ , który oznacza maksymalną odległość pomiędzy antenami układu radiokomunikacyjnego dla zapewnienia prawidłowej detekcji sygnału przesyłanego – za pomocą zjawiska rozproszenia wstecznego (*backscatter communication*) – w kierunku identyfikator-czytnik/programator. Należy mieć jednak na uwadze fakt, że podczas wyznaczania obszaru poprawnej pracy krytyczne stają się warunki zasilania identyfikatorów pasywnych [5]. Ich istota jest zawarta w czułości chipu (reprezentowanej przez minimalną moc  $P_{Tmin}$ ), od której zależy jego impedancja na granicy obszaru poprawnej pracy, następnie konstrukcja anteny identyfikatora, a w konsekwencji  $IZ$  dla zadanej aplikacji systemu RFID.

## 2. Wyznaczanie czułości chipu identyfikatora

W klasycznych systemach radiokomunikacyjnych, impedancja nadajnika lub odbiornika jest stała (np. 50, 75  $\Omega$ ) i dopasowana do jego anteny dla zadanej częstotliwości pracy. W systemach RFID, impedancja chipu  $Z_c$  jest zmienna podczas pracy identyfikatora. Jej wartość zależy od punktu lokalizacji i orientacji identyfikatora względem anteny układu RWD, czyli od mocy  $P_T$  (Rys. 1) przekazywanej z anteny do chipu [5-6]. Jest to spowodowane działaniem układu prostownika i stabilizatora napięcia, ulokowanych w obwodach wejściowych chipu identyfikatora [7-8]. Zmienna impedancja chipu stanowi więc istotny problem podczas pomiaru mocy minimalnej  $P_{Tmin}$ , której wartość dodatkowo zależy od rodzaju wykonywanej operacji zapisu lub odczytu danych z wewnętrznej pamięci identyfikatora, a także od parametrów protokołu komunikacyjnego, np. ISO/IEC 18000-6c, zgodnego z wymaganiami elektronicznego kodu produktu (*Electronic Product Code*) [9]. Problem ten został rozwiązany za pomocą zestawionego stanowiska pomiarowego, w którego konstrukcji zintegrowano dwie metody wyznaczania czułości chipu identyfikatora przeznaczonego do pracy w systemach RFID pasma UHF (rys. 2).

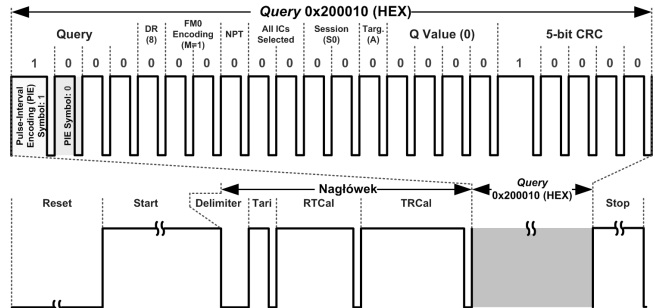


Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego  
Fig. 2. Block diagram of the test stand

Istotą obu metod jest poszukiwanie mocy minimalnej  $P_{min}$ , przy której – dla rozkazu inwentaryzacji *Query* protokołu komunikacyjnego [9] – następuje identyfikacja ciągu RN16 (16 b *Random or Pseudo-Random Number*), stanowiącego odpowiedź identyfikatora w przypadku spełnienia warunku:  $P_T \geq P_{Tmin}$ . Moc  $P_{Tmin}$  jest wyznaczana po uwzględnieniu niedopasowania impedancyjnego chipu ( $Z_c$ ) i 50  $\Omega$  toru pomiarowego ( $Z_0$ ).

W metodzie nr 1 do symulacji ramki z rozkazem *Query* wykorzystano połączenie generatora przebiegów dowolnych (Tektronix

AWG5002B, jako źródło sygnału modulującego) oraz wektorowego generatora sygnałów (R&S SMBV100A, jako źródło nośnej o regulowanej mocy wyjściowej). Źródłem informacji dla generatora przebiegów dowolnych jest opracowany program w środowisku Mathcad, za pomocą którego przygotowywany jest plik źródłowy ramki (rys. 3), przesyłany do przyrządu przez sieć LAN.



Rys. 3. Ramka symulowanego rozkazu *Query*  
Fig. 3. Frame structure of the simulated *Query* command

Po dokonaniu kompilacji pliku źródłowego z sygnałem modulującym, na wyjściu wektorowego generatora sygnałów pojawia się przebieg zmodulowany amplitudowo, w którym możliwa jest regulacja mocy  $P_G$ , przenoszonej z sygnałem niezmodulowanym np. podczas wstępnej sekwencji „Start” zasilania chipu. Ramka wysyłana jest cyklicznie, przy czym proces jej realizacji rozpoczyna wyłączenie zasilania chipu (sekwencja „Reset”) i kończy sekwencja „Stop” (końcowe zasilanie chipu po przesłanym rozkazie *Query*). Nagłówek pełni funkcję synchronizacji parametrów protokołu komunikacyjnego, zgodnie z wymaganiami [9].

W metodzie nr 2 do tego samego celu zaproponowano wykorzystanie czytnika/programatora dalekiego zasięgu, z wbudowaną możliwością konfiguracji parametrów protokołu komunikacyjnego i regulacją mocy wyjściowej  $P_{RWD}$  (układ RWD ID ISC.LRU2000, anteny ID ISC.ANTU250/250, oprogramowanie ISOStart 2011 v. 8.03.01 firmy Feig). Wykorzystanie tych urządzeń umożliwia konfigurację i wysyłanie rozkazu *Query*. Możliwa jest także regulacja mocy  $P_{RFID}$  poprzez konfigurację oprogramowania kontrolno-sterującego i zmianę odległości  $r$  pomiędzy antenami.

Ze względu na przygotowany analityczny model ramki danych w programie Mathcad, pierwsza metoda jest bardziej elastyczna w kontekście konfiguracji procesu pomiarowego. Druga metoda (bardziej czasochłonna i podatna na zewnętrzne zakłócenia falowe) umożliwia wyznaczenie czułości chipu przy wykorzystaniu mniej zaawansowanej i tańszej aparatury kontrolno-pomiarowej.

Przygotowany w obu metodach sygnał z rozkazem *Query* jest przekazywany do chipu za pomocą cyrkulatora ferrytowego (Alcatel Ferrocom 9C34-31). Ze względu na to, że  $Z_c \neq Z_0$ , w analizatorze widma można dokonywać dekodowania przesyłanych informacji (zgodnie z wymaganiami [9]), a także – przy uwzględnieniu strat toru pomiarowego cyrkulatora pomiędzy wejściem analizatora widma i wrotami chipu – pomiaru mocy minimalnej  $P_{min}$ . Czułość chipu jest wyznaczana z zależności:

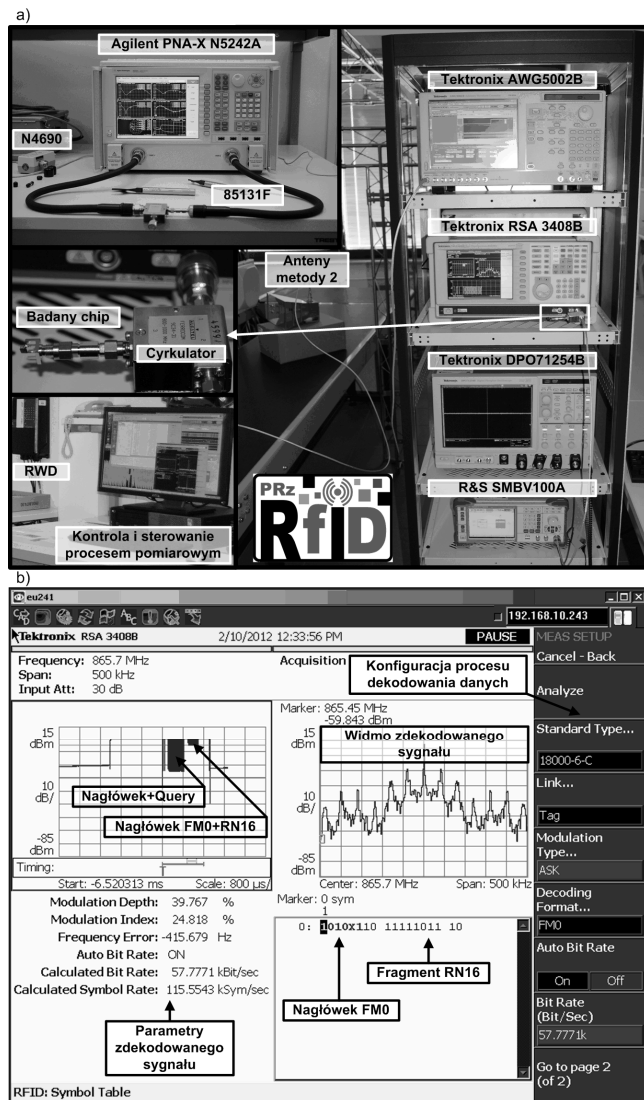
$$P_{Tmin} = P_{min} \left( 1 - |\Gamma|^2 \right), \quad (2)$$

gdzie:  $\Gamma$  oznacza współczynnik odbicia, mierzony za pomocą analizatora sieci (Agilent PNA-X N5242A, przewody testowe 85131F, elektroniczny kalibrator N4690).

Pomiaru współczynnika odbicia dokonuje się dla wcześniej znalezionej wartości mocy  $P_{min}$ , po dokonaniu kalibracji wejścia analizatora sieci dla impedancji  $Z_0 = 50 \Omega$  i przesunięciu płaszczyzny wrót wejściowych (metoda *port extension* [10, 11]) do miejsca łączenia chipu identyfikatora z jego anteną. Automatyzacja procesu pomiarowego jest zapewniona przez sterowanie aparaturą w sieci LAN przy wykorzystaniu protokołu TCP/IP.

### 3. Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne przeprowadzono w laboratorium techniki RFID Zakładu Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych Politechniki Rzeszowskiej (rys. 4).



Rys. 4. Laboratorium RFID: a) stanowisko pomiarowe, b) dekodowanie danych  
Fig. 4. RFID laboratory: a) test stand, b) data decoding

Przykładowemu badaniu poddano partię 10 szt. chipów NXP SL3S1001FFT (umieszczonych w obudowach TSSOP8), które przylutowano do złącz SMA (rys. 4a). Proces wyznaczania ich czułości (identyfikacja odpowiedzi RN16 na rozkaz Query – rysunek 4b) przeprowadzono dla następujących parametrów rozkazu Query (Rys. 3): Delimiter = 12,5  $\mu$ s, Tari = Symbol „0” = 6,25  $\mu$ s, Symbol „1” = 1,5-Tari, RTCal = 2,75-Tari, TRCal = 2-RTCal, głębokość modulacji = 90%. W tabeli 1 zestawiono uśrednione wyniki pomiarów parametrów dla wybranych częstotliwości pracy  $f_0$  z pasma europejskiego i amerykańskiego.

Tab. 1. Wyniki pomiarów  
Tab. 1. Measurement results

$f_0$	$P_{min}$		$Z_C$		$P_{Tmin}$	
	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 1	Metoda 2
MHz	dBm	dBm	$\Omega$	$\Omega$	dBm	dBm
865,7	3,19	3,30	28-j496	29-j498	-13,4	-13,2
915,0	3,16	3,18	24-j462	25-j463	-13,4	-13,3

Uzyskane wyniki czułości są zbliżone z deklarowaną przez producenta minimalną mocą  $P_{Tmin} = -14$  dBm, specyfikowaną dla struktury półprzewodnikowej chipu (bez obudowy – wafer). Producent nie określa jednak impedancji  $Z_C$  dla przedmiotowego chipu umieszczonego w konkretnej obudowie (np. TSSOP8, XSON3, FCS2). Ten brak jest kluczowy dla celu projektowania odpowiedniej konstrukcji anteny identyfikatora, której impedancja  $Z_A$  powinna być dopasowana do chipu ( $Z_C = Z_A^*$ ), przy założeniu dostarczenia do jego zacisków minimalnej mocy  $P_{Tmin}$ . Oznacza to, że w prawidłowej konstrukcji, zdefiniowany w równaniu (1) współczynnik przenoszenia mocy z anteny identyfikatora do jego chipu ( $\tau$ ) – powinien zbliżyć się do jedności na granicy obszaru poprawnej pracy systemu RFID. Niedopasowanie impedancyjne (nieprawidłowo wykonany projekt anteny) będzie skutkowało zmniejszeniem rozmiarów geometrycznych obszaru poprawnej pracy, co jest zjawiskiem niepożądanym w większości aplikacji systemów RFID.

### 4. Wnioski

W artykule zaprezentowano – zweryfikowane doświadczalnie – dwie metody wyznaczania czułości chipu, który jest lokowany wewnątrz struktury identyfikatora funkcjonującego w propagacyjnych systemach RFID pasma UHF. Parametr ten stanowi podstawę dla prawidłowej syntezy trójwymiarowego obszaru poprawnej pracy w statycznych i dynamicznych, pojedynczych i wielokrotnych, propagacyjnych systemach RFID bliskiego lub dalekiego zasięgu. Mając na uwadze użyteczność obszaru poprawnej pracy w zadanym procesie automatycznej identyfikacji obiektów, konieczne staje się rozszerzenie bazy wiedzy o parametrach urządzeń techniki RFID wprowadzanych na rynek.

W pracach badawczych wykorzystano aparaturę zakupioną w wyniku realizacji projektów: a) „Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej”, nr POPW.01.03.00-18-012/09, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej 2007-2013, Priorytet 1, Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3, Wspieranie Innowacji; b) „Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej”, nr UDA-RPPK.01.03.00-18-003/10-00, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007-2013.

### 5. Literatura

- [1] Finkenzeller K.: RFID Handbook. 3-rd Ed., Wiley, 2010.
- [2] Brown D.: RFID Implementation, McGraw-Hill, 2007.
- [3] Jones E., Chung C.: RFID in Logistics - A Practical Introduction, CRC, 2008.
- [4] Jankowski-M. P.: Kierunki badań w zakresie zwiększania możliwości aplikacyjnego wykorzystania systemów radiowej identyfikacji obiektów RFID. SIGMA NOT, Elektronika, nr 8, s. 63-66, 2010.
- [5] Jankowski-Mihułowicz P., Węglarski M. - Wyznaczenie obszaru poprawnej pracy systemów RFID działających w paśmie UHF, Pomiar Automatyka Kontrola, Vol. 57, No. 12, s. 1469-1472, 2011.
- [6] De Vita G., Iannaccone G.: Design Criteria for the RF Section of UHF and Microwave Passive RFID Transponders. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 53, No. 9, pp. 2978-2990, 2005.
- [7] Yuan Yao, Jie Wu, Yin Shi, Fa Foster Dai - A Fully Integrated 900-MHz Passive RFID Transponder Front End With Novel Zero-Threshold RF-DC Rectifier. IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, N. 7, pp. 2317-2325, 2009.
- [8] Wei P., Che W., Bi Z., Wei C., Na Y., Qiang L., Hao M. - High-Efficiency Differential RF Front-End for a Gen2 RFID Tag, IEEE Trans. Circuits Syst., Vol. 58, Issue 4, pp. 189-194, 2011.
- [9] EPCglobal Inc. – Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860-960 MHz, Ver. 1.2.0, 2008.
- [10] Agilent - In-Fixture Measurements Using Vector Network Analyzers, AN 1287-9, 5968-5329E, Agilent Technologies, 2006.
- [11] Rumiantsev A., Ridler N. - VNA calibration, IEEE Microwave Magazine, Vol. 9, No. 3, pp. 86-99, 2008.

otrzymano / received: 29.08.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.10.2012

artykuł recenzowany / revised paper