

Piotr WIŚNIAKOWSKI

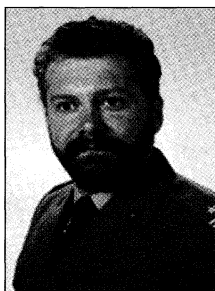
91 REJONOWE PRZEDSTAWICIELSTWO WOJSKOWE

Mirosław WIĘCKIEWICZ

CENTRALNY OŚRODEK METROLOGII WOJSKOWEJ

Analiza możliwości dopasowania złącz pomiarowych w normach IEC i GOST w ramach pomiarów mikrofalowych w technice wojskowej**Mjr mgr inż. Piotr WIŚNIAKOWSKI**

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie z 1981 roku. Ukończył Studia Podyplomowe z metrologii na Wydziale Elektroniki WAT w 1997 roku. Przez wiele lat pełnił funkcję starszego inżyniera laboratorium mikrofalowego w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej w Zielonce. Specjalizował się w kalibracji i problematyce pomiarów przyrządów mikrofalowych, autor wielu instrukcji kalibracji. Obecnie pracuje w 91 Rejonowym Przedstawicielstwie Wojskowym.

**Kpt. mgr inż. Mirosław WIĘCKIEWICZ**

Absolwent Wyższej Oficerskiej Szkoły Radiotechnicznej w Jeleniej Górze oraz Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Pracuje w Centralnym Ośrodku Metrologii Wojskowej w Zielonce od 2000 roku na stanowisku starszego inżyniera laboratorium mikrofalowego. Zajmuje się zagadnieniami metrologii mikrofalowej, głównie problemami zabezpieczenia metrologicznego nowych przyrządów pomiarowych użytkowanych w WP.



mwieckiewicz@comw.com.pl

Streszczenie

W trakcie praktycznej realizacji procesu sprawdzania przyrządów pomiarowych w zakresie mikrofalowym, występują trudności z zestawianiem układów pomiarowych, ponieważ elementy złącz pomiarowych w przyrządach wykonane są w różnych standardach (IEC i GOST), co może istotnie wpływać na wartość błędów pomiarów. Przy szacowaniu niepewności pomiarów mocy realizowanych w zakresie mikrofalowym na ostateczny wynik sprawdzenia metrologicznego bardzo istotny wpływ ma błąd niedopasowania związany z iloczynem strat mocy na elementach złącza pomiarowego. Oszacowanie niepewności wymaga szczegółowej analizy wymiarów geometrycznych i parametrów toru przesyłowego, świadczących o dopasowaniu mechanicznym i elektrycznym dwóch złącz wykonanych w dwóch różnych standardach. W referacie przedstawiony został wynik takiej analizy na przykładzie złącz typu „N” firmy Hewlett-Packard według standardu IEC oraz złącz typu „N” produkcji rosyjskiej według standardu GOST.

Abstract

Due to different IEC and GOST standards of connectors some problems are reported when validating (calibrating) measuring instruments within microwave frequency range. The situation considerably influences measurements accuracy. In the microwave frequency range the measurement value is considerably affected by mismatch error related to power loss product of elements of measuring connectors. For precise error estimation it is necessary to analyse matching of different standards of connectors taking into consideration physical dimensions and parameters of the transmission line. The paper presents results of the above-mentioned analysis for two connectors types: „N” of Hewlett Packard and GOST standards as an example.

Słowa kluczowe: złącze pomiarowe, standard IEC i GOST, pomiary mikrofalowe

Keywords: measuring connector, IEC and GOST standard, microwave measurements

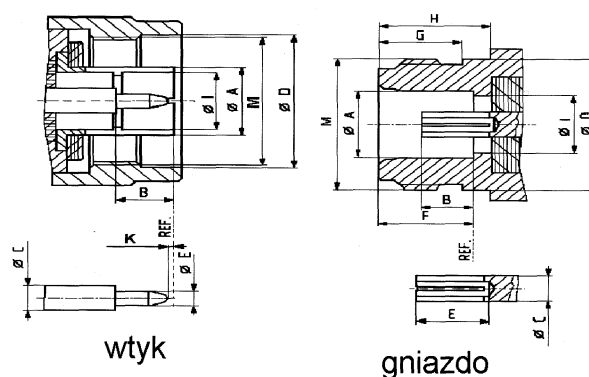
1. Parametry techniczne złącza pomiarowego

W trakcie praktycznej realizacji procesu kontroli metrologicznej - kalibracji przyrządów pomiarowych w zakresie mikrofalowym, w przypadku kiedy złącza pomiarowe przyrządów wykonane są w dwóch różnych standardach (IEC i GOST), napotykamy na trudności z zestawianiem układu pomiarowego. Oprócz fizycznej trudności połączenia elementów układu pomiarowego występowanie dwóch standardów złączy może powodować powstanie dodatkowych błędów pomiaru związanych z nieciągłością połączenia.

Złącze pomiarowe (rys. 1) [2, 7-11] - jest to podzespół stykowy do łączenia (rozłączania) elementów wchodzących w skład zestawu pomiarowego między sobą bezpośrednio lub za pomocą odpowiednich przewodnic falowych (kabli albo falowodów). Złącze

pomiarowe współosiowe (z wyjątkiem złącza czołowego APC-7) składa się z dwóch części nazywanych wtykiem i gniazdem (w katalogach firm zagranicznych spotykamy się z nazwami „plug i jack”, „male i female”). Najpowszechniej stosowana jest grupa połączeń kontaktowych mieszanych gniazdo-wtyk. Połączenie czołowe APC-7 zapewnia precyzyjne połączenie, jest wygodne w użyciu ale skomplikowana i kosztowna produkcja powoduje ich małe zastosowanie.

Złącza pomiarowe mieszane wtyk-gniazdo zostały użyte do badań porównawczych w ramach pracy końcowej na zaocznym studium podyplomowym metrologii „Analiza możliwości dopasowania złącz pomiarowych w normach IEC i GOST w ramach pomiarów mikrofalowych w technice wojskowej”. Przedstawione typy złącz pomiarowych różnią się typem gwintu, według standardu IEC jest to gwint całowy, natomiast w standardzie GOST metryczny (tabela 1, wymiar M), co bardzo często uniemożliwia wykonanie prawidłowego połączenia gniazda z wtykiem. Problem ten jednak można wyeliminować poprzez przegwintowanie, np.: gwintu gniazda „GOST” na gwint całowy.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny gniazda i wtyku złącza pomiarowego typu „N” [6, 11]
Fig. 1. Cross section of N-type female and male measuring connector [6, 11]

Pozostaje pytanie, czy istnieją różnice w wymiarach przekrojów poprzecznych złącz pomiarowych, które mogą powodować występowanie nieciągłości w przewodnicy falowej. Na potrzeby niniejszego artykułu wykorzystano pomiary i obliczenia dla złącza pomiarowego typu „N” wykonanego w standardach IEC i GOST.

Porównując wymiary złącz pomiarowych obu standardów należy szczególną uwagę zwrócić na wymiary dwóch średnic - „I” i „C”, na podstawie których wyznaczamy impedancję charakterystyczną złącza określaną wzorem (1):

$$Z_o = 138 \sqrt{\epsilon_w} \lg \frac{I}{C} \quad (1)$$

gdzie: ϵ_w - względna przenikalność dielektryczna dielektryka.

Tabela 1. Wymiary złącza typu „N” [6, 8, 11]

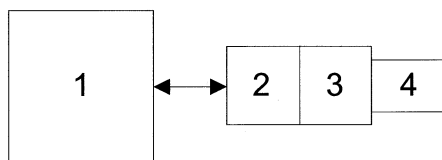
Table 1. N-type measuring connector dimensions [6, 8, 11]

Wy- miar	Norma IEC				Norma GOST			
	Wtyk		Gniazdo		Wtyk		Gniazdo	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
	mm							
A	7,89	8,04	8,03	8,13	8,0	8,04	8,06	8,1
B	5,28	5,36	4,75	5,26	5,28	5,44	5,1	5,26
C	3,04 nom.		3,04 nom.		3,04 nom.		3,04 nom.	
D	16,0	-	-	15,93	16,5 nom.		14,0 nom.	
∅E	1,64	1,66	-	-	1,7 nom.		-	-
E	-	-	9,7	-	-	-	7,0 nom.	
F	-	-	9,07	9,17	-	-	9,0	9,17
G	-	-	6,76	-	-	-	-	-
H	-	-	10,72	-	-	-	11,0	-
I	6,99	7,01	7,06 nom.		7,0 nom.		7,0 nom.	
K	-	1,57	-	-	0,28	0,44	-	-
M	5/8 -24 UNEF-2B-		5/8 -24 UNEF-2A		M16 x 1-7H-		M16 x 1-6g	

W przedstawionym przypadku występujące różnice są minimalne, w granicach od 0 mm do 0,06 mm (tabela 1, wymiary C, D). Możemy wnioskować, że nie ma żadnych przeszkód w mechanicznym łączeniu między sobą poszczególnych elementów złącza pomiarowego tego samego typu, lecz wykonanego w różnych standardach.

2. Analiza możliwości dopasowania złącz pomiarowych wykonanych w standardach IEC i GOST

Analizę możliwości dopasowania złącz pomiarowych wykonanych w standardach IEC i GOST, [1] zrealizowano poprzez pomiar współczynnika odbicia oraz współczynnika fali stojącej obciążonych dopasowanych przyłączanych poprzez różne kombinacje elementów złącz pomiarowych do analizatora obwodów typu HP 8720C, jak przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Układ pomiarowy do pomiaru wartości współczynnika odbicia gniazda złącza pomiarowego typu „N” 1 - analizator obwodów typu HP 8720C; 2 - gniazdo badanego złącza pomiarowego typu „N” np.: w standardzie IEC; 3 - wtyk wzorcowego złącza pomiarowego typu „N” np.: w standardzie GOST; 4 - obciążenie dopasowane.

Fig. 2. Measuring system for reflection coefficient measurement of N-type female measuring connector. 1 - HP 8720C Vector Network Analyzer; 2 - tested N-type female measuring connector, e.g. IEC standard; 3 - standard N-type male measuring connector, e.g. GOST standard; 4 - matched load.

Na podstawie zmierzonego współczynnika odbicia [1] dla różnych kombinacji standardów wtyku i gniazda, wyznaczono błąd niedopasowania.

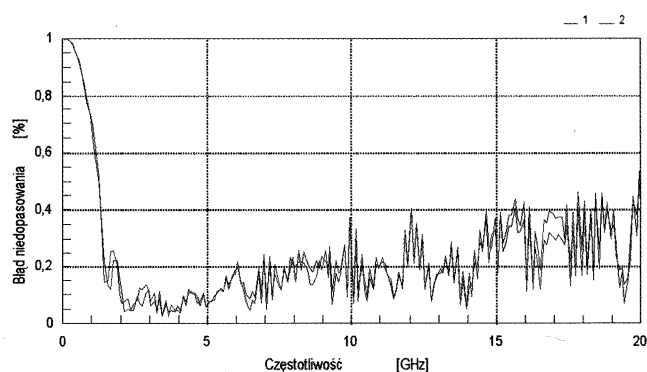
2.1. Wyznaczenie błędu niedopasowania

Przy przesyłaniu mocy w układach pomiarowych od źródła do odbiornika przez przewodnice falowe, w których występują złącza pomiarowe, zawsze występuje zjawisko niedopasowania, tzn. impedancja charakterystyczna „źródła” nie jest równa impedancji charakterystycznej „odbiornika”, co jest przyczyną powstawania błędu niedopasowania [5]. Błąd niedopasowania δ_N - w ogólnym przypadku jest to iloczyn strat mocy na elementach złącza pomiarowego w stosunku do sygnału wtórnie odbitego. Błąd niedopasowania δ_N wyznaczamy z wzoru (2):

$$\delta_N = \left[\frac{(1 - |\Gamma_w|^2)(1 - |\Gamma_g|^2)}{|1 - \Gamma_w \cdot \Gamma_g|^2} - 1 \right] \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

gdzie: $|\Gamma_w|$ - moduł współczynnika odbicia wtyku złącza pomiarowego; $|\Gamma_g|$ - moduł współczynnika odbicia gniazda złącza pomiarowego.

Na podstawie zmierzonych współczynników odbicia złącza pomiarowych typu „N” w różnych konfiguracjach połączeń [1], wyznaczono błędy niedopasowania, które przedstawiono za pomocą wykresów (rys. 3) [1]. Na podstawie otrzymanych wyników widzimy, że błąd niedopasowania nie przekracza granicy $\pm 0,6\%$, co np. w przypadku pomiaru mocy w układach z przyrządami pomiarowymi o całkowitym maksymalnym błędzie pomiaru wynoszącym 4% ma mały wpływ na wynik końcowy pomiaru.



Rys. 3. Graficzne zilustrowanie błędu niedopasowania w funkcji częstotliwości dla złącza pomiarowego typu „N” gdzie: 1 - błąd niedopasowania obliczony dla $|\Gamma_g|$ zmierzonego w układzie gniazdo w standardzie IEC - wtyk w standardzie GOST; 2 - błąd niedopasowania obliczony dla $|\Gamma_g|$ zmierzonego w układzie gniazdo w standardzie GOST - wtyk w standardzie IEC.

Fig. 3. Graphical illustration of mismatch error in the frequency domain for N-type measuring connector, where: 1 - mismatch error computed for $|\Gamma_g|$ measured in the IEC female connector - GOST male connector measuring configuration; 2 - mismatch error $|\Gamma_g|$ measured in the GOST female connector - IEC male connector measuring configuration.

Następnie na podstawie wykonanych pomiarów WFS obciążenia dopasowanego dokonano wyznaczenia błędu metody.

2.2. Wyznaczenie błędu metody

Błąd metody - błąd pomiaru lub błąd odtwarzania spowodowany tym, że zastosowana metoda (pomiaru lub odtwarzania) nie umożliwiła zmierzenia ściśle tej wartości, która miała być zmierzona lub odtworzona [3, 4].

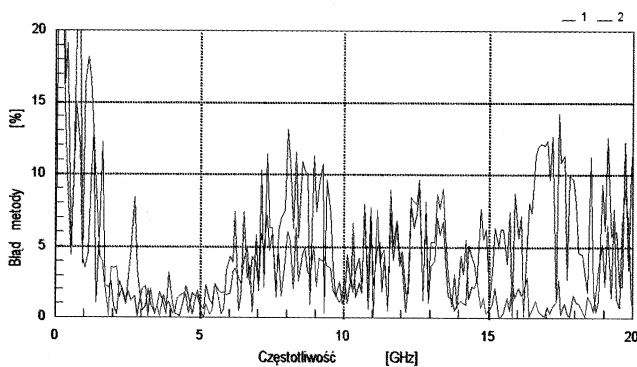
Dla potrzeb niniejszej analizy posłużono się względnym błędem metody δ_M zdefiniowanym w sposób następujący:

$$\delta_M = \left(\frac{v}{w} - 1 \right) \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

gdzie: w - wartość odniesienia (WFS obciążenia dopasowanego dla połączenia w jednym standardzie: GOST); v - wartość mierzona (WFS obciążenia dopasowanego dla połączenia w dwóch standardach: IEC i GOST).

Na podstawie wyników pomiarów [1] i przedstawionego wzoru (3) dokonano wyznaczenia błędu metody (rys. 4).

Jak widać (rys. 4) zilustrowane wyniki obliczonych błędów metody charakteryzują się dużym rozrzutem wartości. Na tej podstawie możemy powiedzieć, że w układach do pomiaru WFS wzajemne łącznie elementów złącza pomiarowego o różnych standardach jest raczej niedopuszczalne.



Rys. 4. Graficzne zilustrowanie błędu metody w funkcji częstotliwości dla obciążenia dopasowanego ze złączem pomiarowym typu „N”, gdzie „v” w układzie pomiarowym: 1 - gniazdo w standardzie IEC - wtyk w standardzie GOST; 2 - gniazdo w standardzie GOST - wtyk w standardzie IEC

Fig. 4. Graphical illustration of method error in the frequency domain for matched load with N-type measuring connector, where: „v” means measuring configuration: 1 - IEC female connector - GOST male connector; 2 - GOST female connector - IEC male connector

2.3. Oszacowanie niepewności pomiaru

Na koniec dokonano oszacowania wpływu złącza pomiarowego na zakres wyników pomiaru w którym zawiera się rzeczywista wartość mierzonej wielkości, w danym przypadku - WFS obciążenia dopasowanego.

Niepewność pomiaru jest parametrem związanym z wynikiem pomiaru charakteryzującym rozrzut wartości, które można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej [4].

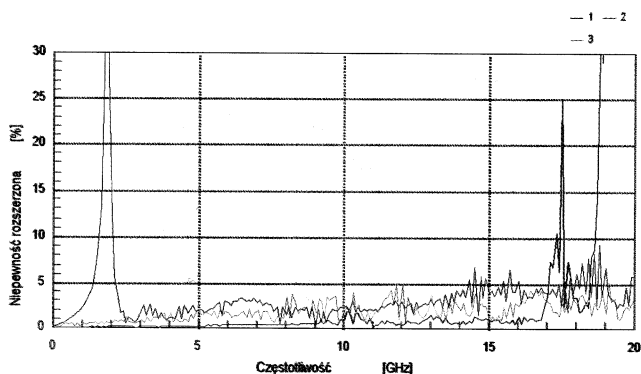
Niepewność pomiaru u_r - szacowana jest na podstawie rozkładu statystycznego wyników serii pomiarów i może być scharakteryzowana przez odchylenie średnie kwadratowe średniej arytmetycznej.

Niepewność rozszerzoną u_r - zaleca się stosować gdy jest potrzeba podania przedziału wartości, wewnątrz którego z dużym prawdopodobieństwem mieści się wartość rzeczywista wielkości mierzonej.

Niepewność rozszerzona u_r wyznaczana jest wzorem:

$$u_r = k \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

gdzie: n - liczba pomiarów tej samej wielkości x (WFS); x_i - wynik i -tego pomiaru wielkości x (WFS); \bar{x} - wartość średnia arytmetyczna n -pomiarów wielkości x (WFS); k - współczynnik liczbowy o wartości z przedziału od 2 do 3.



Rys. 5. Graficzne zilustrowanie niepewności pomiaru WFS w funkcji częstotliwości dla obciążenia dopasowanego ze złączem pomiarowym typu „N”, gdzie: 1 - gniazdo w standardzie GOST - wtyk w standardzie GOST; 2 - gniazdo w standardzie GOST - wtyk w standardzie IEC; 3 - gniazdo w standardzie IEC - wtyk w standardzie GOST.

Fig. 5. Graphical illustration of uncertainty of VSWR measurement in the frequency domain for matched load with N-type measuring connector, where: 1 - GOST female connector - GOST male connector; 2 - GOST female connector - IEC male connector; 3 - IEC female connector - GOST male connector.

Przy oszacowaniu niepewności rozszerzonej pomiaru wartości WFS obciążenia dopasowanego przyjęto, że współczynnik $k=2$ (przyjęto 95% poziom ufności).

Niepewność rozszerzona wynosi od około 2% do 5%, co potwierdza tezę o bardzo dużej przypadkowości w trakcie prowadzonych badań. Niepewność pomiaru WFS w układzie pomiarowym ze złączami wykonanymi w jednym standardzie (GOST) (przebieg 1 na rys. 5) jest 2÷3-krotnie mniejsza niż w układach z mieszanymi standardami złącza (GOST-IEC).

3. Wnioski

Wynikiem przeprowadzonej analizy są następujące wnioski dotyczące problemu dopasowania złącz pomiarowych:

- w przypadku występowania wyraźnych trudności w trakcie montażu złącza (ruch skręcający) należy odstąpić od tej czynności. Potrzeba użycia nadmiernej siły świadczy o znacznej rozbieżności wymiarów geometrycznych gwintu elementów złącza.
- przy zakupach narzędzi pomiarowych, szczególnie przeznaczonych do pracy powyżej 12 GHz należy zwracać uwagę na producenta złącz pomiarowych, jego doświadczenie i renomę, parametry oferowanych narzędzi pomiarowych oraz czy producent ten w swoich katalogach określa główne wymiary współpracujących części gniazda i wtyku;
- z analizy otrzymanych wyników obliczeń wynika, że błąd niedopasowania nie przekracza wartości $\pm 0,6\%$ dlatego straty mocy na badanych złączach pomiarowych są minimalne;
- w procesie wzorcowania kontrolnych absorpcyjnych mierników mocy, czy tłumików kontrolnych wystarczy uwzględnić błąd niedopasowania wprowadzany przez złącze pomiarowe zgodnie z instrukcją GUM, a w przypadku przyrządów pomiarowych użytkowych można go pominąć;
- wyniki pomiaru współczynnika odbicia, obliczeń błędów metody i niedopasowania, a także wyniki oszacowania niepewności [1] wykazały, że w przypadku pomiarów wartości Γ obciążenia dopasowanego konieczne jest precyzyjne łączenie elementów złącza pomiarowego wykonanych w jednym standardzie.

Literatura

- [1] P. Wiśniakowski, „Analiza możliwości dopasowania złącz pomiarowych w normach IEC i GOST w ramach pomiarów mikrofalowych w technice wojskowej”, praca końcowa, zaoczne studium podyplomowe metrologii, W-wa 1997, WAT.
- [2] R. Litwin, „Technika mikrofalowa”, W-wa 1972, WMT.
- [3] „Mała encyklopedia metrologii”, W-wa 1989, WNT.
- [4] „Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów w metrologii”, GUM.
- [5] W. Paruszevska, P. Rotkiewicz, „Pomiary mocy w zakresie w.cz. i mikrofal”, GUM.
- [6] Elementy sojediniennija swcz traktow radioizmeritielnych priborow - pri-sojedinitielnyje razmiery, GOST 13 317 - 80.
- [7] Norma IEC 169-11.
- [8] Norma IEC 169-15.
- [9] Norma IEC 169-16.
- [10] Norma IEC 169-23.
- [11] Katalog firmy „HUBER+SUHNER AG”.

Title: Analysis of matching measuring connectors possibilities according to IEC and GOST standards within the field of microwave measurements in military technology