Stanowisko do generowania i pomiaru impulsowych pól elektromagnetycznych w komorze TEM

Michał Skwarczyński
4 Wojskowy Ośrodek Metrologii, ul. Sadków 9, 26-600 Radom

Marek Kuchta
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Streszczenie: W artykule przedstawiono stanowisko laboratoryjne do pomiaru impulsowych pól elektromagnetycznych z wykorzystaniem komory typu TEM, będące na wyposażeniu Instytutu Systemów Elektronicznych Wydziału Elektroniki WAT. Dokonano metrologicznej oceny niepewności pomiaru całego toru pomiarowego stanowiska oraz kalibracji do częstotliwości 1 GHz.

Słowa kluczowe: komora TEM, sonda, pole elektromagnetyczne, niepewność pomiaru, kalibracja

1. Wprowadzenie

W środowisku silnych oddziaływań elektromagnetycznych źródła sygnałów mikrofalowych o dużej mocy stanowią relatywnie nowe wyzwanie zarówno dla systemów wojskowych, jak i infrastruktury cywilnej. Stosowanie tego typu urządzeń bywa określane mianem celowego zakłócania elektromagnetycznego. Środowisko HPEM (ang. *High Power Electromagnetic Environment*), które z natury ma charakter szkodliwy, może obejmować zakres częstotliwości sięgający nawet wartości gigaherców.

Postęp technologiczny w dziedzinie mikrofal dużej mocy umożliwił opracowanie coraz bardziej efektywnych źródeł zdolnych do oddziaływania na rozległe obiekty wojskowe. Równolegle dostępne są rozwiązania kompaktowe, pozwalające generować pola o dużym natężeniu przy użyciu urządzeń o niewielkich wymiarach. W efekcie rośnie poziom zagrożenia związanego z technologią HPM (ang. *High Power Microwave*). Dlatego obecnie jednym z kluczowych wyzwań w obszarze metrologii jest systematyczna kontrola poziomu pola elektromagnetycznego [1, 2]. W najbliższych latach stanie się to wręcz niezbędne, co wynika z dynamicznego wzrostu liczby oraz różnorodności urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne w szerokim zakresie częstotliwości [A1, A2].

Szczególnym wyzwaniem pomiarowym pozostają pola impulsowe o charakterze niestacjonarnym, generowane między innymi przez systemy radarowe, systemy rozpoznania oraz urządzenia walki elektronicznej. Opracowanie, budowa oraz testowanie aparatury przeznaczonej do pomiarów impulsowych pól elektromagnetycznych, zwłaszcza o dużej mocy, wymaga stosowania zaawansowanych stanowisk badawczych [3]. Stanowiska te powinny umożliwiać wytworzenie wzorcowego pola w ściśle określonym obszarze komory bezodbiciowej lub komory typu TEM [4]. Konieczne jest także przygotowanie odpowiednich procedur badawczych i kalibracyjnych dla urządzeń służących do pomiarów impulsowych pól EM wysokiej mocy [5].

Autor korespondujący:
Michał Skwarczyński, michal.skwarczynski@wp.pl

Artykuł recenzowany
nadesłany 19.03.2026 r., przyjęty do druku 25.05.2026 r.

Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.

2. Użycie komory typu TEM w generowaniu i pomiarach impulsowych pól EM

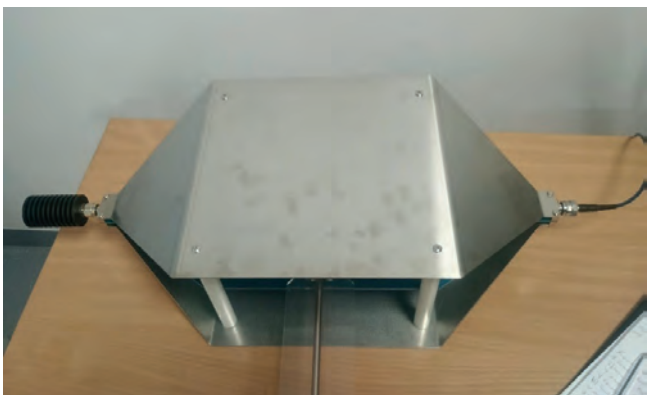
Komora typu TEM (ang. *Transverse Electromagnetic cell*) jest rodzajem komory, służącej do badań kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) oraz zakłóceń elektromagnetycznych (EMI). Za jej pomocą można testować bezprzewodowe urządzenia, odbiorniki, smartfony, urządzenia medyczne oraz kalibrować sondy do pomiaru natężenia pola EM. Komora TEM składa się zazwyczaj z trzech głównych części – dwóch uziemionych płyt zewnętrznych oraz wewnętrznej płyty przewodzącej, zwanej septum. Wyposażona jest również w dwa złącza RF – jedno zakończone jest obciążeniem o wartości 50 Ω, a drugie służy do podłączania urządzenia do pomiaru lub wytworzenia zaburzeń, w zależności od zadania spełnianego przez komorę. Urządzeniem wytwarzającym zaburzenia może być generator mikrofalowy, natomiast urządzeniem do pomiaru zaburzeń – analizator widma. Badane urządzenie umieszcza się między dolną powierzchnią przegrody (septum) a zewnętrzną płytą komory. Komora TEM umożliwia generowanie wzorcowych fal elektromagnetycznych o wysokiej dokładności w szerokim zakresie częstotliwości — od prądu stałego (DC, 0 Hz) do kilku GHz — co pozwala na prowadzenie badań odporności elektromagnetycznej (EMC) testowanego obiektu. Konstrukcja komory zapewnia względnie jednorodny rozkład linii pola elektrycznego pomiędzy przegrodą a zewnętrznymi płytami. Promieniowanie emitowane przez badane urządzenie może być mierzone przy użyciu odbiornika EMI lub analizatora widma podłączonego do złącza RF komory. Badania EMC realizowane w komorze TEM można interpretować jako testy prowadzone w strukturze analogicznej do kabla koncentrycznego, w której badane urządzenie znajduje się pomiędzy przewodnikiem

wewnętrznym a zewnętrznym ekranem. Geometria komory TEM została zaprojektowana w taki sposób, aby wymusić propagację fali w trybie TEM (ang. *Transverse Electromagnetic Mode*). Oznacza to, że fala elektromagnetyczna rozchodząca się w komorze odpowiada warunkom dalekiego pola antenowego i charakteryzuje się impedancją właściwą wolnej przestrzeni (377 Ω) oraz właściwościami zbliżonymi do fali płaskiej. W konsekwencji wyniki pomiarów uzyskane z wykorzystaniem komory TEM stanowią dobre przybliżenie wyników odpowiadających propagacji fali płaskiej w wolnej przestrzeni.

Wyróżnia się dwa podstawowe typy komór TEM: komory otwarte oraz komory zamknięte. Konstrukcja otwartej komory TEM nie ma bocznych ścian ekranujących. Do jej głównych zalet należą: łatwość umieszczania badanego obiektu, niewielka masa, stosunkowo niski koszt wykonania oraz brak konieczności stosowania filtrów dla przewodów wprowadzanych i wyprowadzanych z komory. Podstawową wadą tego rozwiązania jest podatność na zakłócenia pochodzące z otoczenia. Brak pełnego ekranowania powoduje, że pomiary mogą być obarczone wpływem szumów środowiskowych, co ogranicza dokładność badań w warunkach o podwyższonym poziomie zakłóceń elektromagnetycznych. Komora TEM typu zamkniętego wyposażona jest w metalowe ściany boczne, które zapewniają ekranowanie elektromagnetyczne. Zastosowanie takiej konstrukcji pozwala na znaczną redukcję, a w praktyce często eliminację, wpływu zakłóceń zewnętrznych. Komora ma ekranowane drzwi umożliwiające umieszczenie badanego urządzenia wewnątrz przestrzeni pomiarowej. Drzwi mogą być wyposażone w ekranowane okno (np. ze szkła z siatką przewodzącą), co pozwala na obserwację badanego urządzenia podczas testów. Połączenia elektryczne z badanym urządzeniem realizowane są za pomocą przepustów filtrujących, które zapobiegają przenikaniu zakłóceń przez przewody. Do ograniczeń tego rozwiązania należy zaliczyć przede wszystkim maksymalne wymiary testowanego urządzenia, determinowane rozmiarem drzwi oraz przestrzeni roboczej komory. Dodatkowo wyprowadzenie przewodów na zewnątrz wymaga zastosowania specjalizowanych przepustów filtrujących, co zwiększa złożoność konstrukcji i koszty w porównaniu z komorami typu otwartego.

Do zalet klasycznej komory TEM możemy zaliczyć:
- niewielkie wymiary konstrukcji;
- relatywnie niski koszt, co czyni ją efektywnym narzędziem do badań wstępnych w zakresie EMC;
- brak konieczności stosowania zewnętrznego układu antenowego — komora pełni funkcję zarówno struktury odbiorczej podczas pomiarów emisji, jak i źródła pola elektromagnetycznego podczas badań odporności;
- prostota instalacji i obsługi.

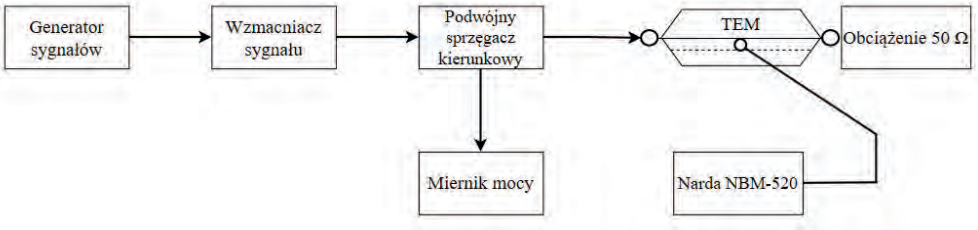
Istotnym ograniczeniem komory TEM jest zakres użytecznej częstotliwości pracy, wynikający z jej geometrii. Po przekroczeniu określonej częstotliwości granicznej (częstotliwości odcięcia) mogą być wzbudzane wyższe mody propagacyjne. Ich obecność zakłóca propagację podstawowego trybu TEM, co bezpośrednio wpływa na wiarygodność wyników pomiarów. Powstawanie wyższych modów związane jest przede wszystkim z nieciągłościami geometrycznymi, w szczególności w obszarach przejścia między częścią prostokątną a częścią zwężaną komory. Dodatkowo zakres użytecznych częstotliwości pracy komory TEM jest ściśle związany z jej wymiarami geometrycznymi. Wymiary komory są odwrotnie proporcjonalne do maksymalnej częstotliwości pracy — im wyższa częstotliwość, tym mniejsze muszą być wymiary konstrukcji. Dla zakresów rzędu kilku GHz komora TEM osiąga bardzo małe wymiary (np. poniżej 15 cm), co znacząco ogranicza możliwość umieszczenia wewnątrz badanego urządzenia. W celu przezwyciężenia tych ograniczeń opracowano komorę GTEM (ang. *Gigahertz Transverse Electromagnetic*). Stanowi ona rozszerzoną częstotliwościowo wersję klasycznej komory TEM. Typowy zakres pracy komory TEM obejmuje przedział od DC do około 6 GHz, natomiast komora GTEM umożliwia prowadzenie badań zazwyczaj w zakresie od DC do około 20 GHz, przy jednoczesnym zachowaniu większej objętości przestrzeni testowej. Ponadto w przypadku pomiarów impulsowych pól elektromagnetycznych realizowanych z wykorzystaniem wspomnianej komory istotnym czynnikiem wpływającym na dokładność wyników są opóźnienia propagacyjne oraz charakterystyki czasowo-częstotliwościowe toru pomiarowego. Problem ten jest szczególnie istotny dla impulsów o bardzo krótkich czasach narastania, rzędu nanosekund. Całkowite opóźnienie sygnału stanowi sumę opóźnień wprowadzanych przez przewody koncentryczne, sondy pomiarowe oraz aparaturę pomiarową. W praktyce wartości te mogą osiągać poziom nawet kilkudziesięciu nanosekund. Przy tak krótkich impulsach prowadzi to do zniekształcenia rejestrowanego przebiegu — wygładzenia zboczy, wydłużenia czasu narastania oraz obniżenia wartości szczytowej sygnału. W rezultacie zarejestrowany sygnał może odbiegać od rzeczywistego pola elektromagnetycznego w komorze TEM, co wpływa na wiarygodność oceny odporności badanego urządzenia. W celu ograniczenia tych efektów zaleca się minimalizację długości toru pomiarowego, zapewnienie dopasowania impedancyjnego (50 Ω), stosowanie aparatury o szerokim paśmie przenoszenia oraz przeprowadzenie kalibracji czasowej toru, umożliwiającej kompensację zniekształceń sygnału.



Rys. 1. Komora TEM Tekbox TBCT1 z obciążeniem 50 Ω
Fig. 1. TEM chamber Tekbox TBCT1 with 50 Ω load

3. Stanowisko do generowania i pomiaru impulsowych pól EM

Stanowisko do generowania oraz pomiaru impulsowych pól elektromagnetycznych znajduje się na wyposażeniu Instytutu Systemów Elektronicznych WEL WAT. Stanowisko to zostało zbudowane w oparciu o komorę typu TEM – Tekbox TBCT1 oraz zespół przyrządów laboratoryjnych umożliwiających generację, wzmocnienie i pomiar impulsów elektromagnetycznych – tworząc kompletny tor pomiarowy. Ilościowe pomiary pól elektromagnetycznych wymagają, aby obliczenia bazowały na danych pomiarowych opisujących rzeczywiste własności pola docierającego do końcowego urządzenia [8]. Celem stworzenia tego stanowiska było uzyskanie powtarzalnych warunków generacji i pomiaru oraz możliwość rzetelnej oceny niepewności toru [7]. Dla częstotliwości poniżej 1 GHz, do generacji wzorcowych pól EM wykorzystuje się komory TEM [8]. Stanowisko laboratoryjne składa się z następujących przyrządów pomiarowych (rys. 2):
- generator sygnałów Rigol DSG836A – stanowi źródło sygnału i pozwala na wytwarzanie impulsów o regulowanej amplitudzie oraz czasie narastania; zakres pracy do 3,6 GHz;
- wzmacniacz sygnału Keylink KB0810M47A – wzmacnia impuls do wymaganego poziomu, umożliwiając generację pola EM o dużym natężeniu. Pracuje w zakresie od 80 MHz



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego
Fig. 2. Block diagram of the measurement station

do 1 GHz, a maksymalne wzmocnienie jest na poziomie 47 dB. Charakteryzuje się impedancją wyjściową równą 50 Ω, a maksymalna moc wyjściowa wynosi 50 W, co odpowiada maksymalnej amplitudzie sygnału wyjściowego na poziomie 70 V;
- sprzęgacz kierunkowy RF Werlatone C7311-102 – umożliwia pomiar mocy wyjściowej sygnału na mierniku oraz jednoczesne doprowadzenie tego sygnału do komory. Straty sprzężenia wynoszą do ±0,8 dB;
- miernik mocy Ceyar 2438PB wraz z czujnikiem 81702D do pomiaru mocy szczytowej sygnału EM – umożliwia rejestrację mocy sygnału impulsowych pól EM w zakresie częstotliwości 50 MHz – 18 GHz, zakresem mocy od –20 dBm do +20 dBm;
- komora TEM – Tekbox TBCT1 o wymiarach (390 mm × 200 mm × 108 mm), gwarantuje obszar pod septum o wymiarach (190 mm × 130 mm × 50 mm). Urządzenie umożliwia podanie na wejście sygnału testowego o mocy RF do 25 W w warunkach dopasowania obciążeniem RF 50 Ω i charakteryzuje się współczynnikiem fali stojącej VSWR ≤ 1,2 (ang. *Voltage Standing Wave Ratio*);
- miernik natężenia pola Narda NBM-520 z sondą Narda EF1891 – przyrządy te pozwalają na pomiar natężenia pola elektromagnetycznego [9] w zakresie 0,6–800 V/m dla częstotliwości 3 MHz – 18 GHz.

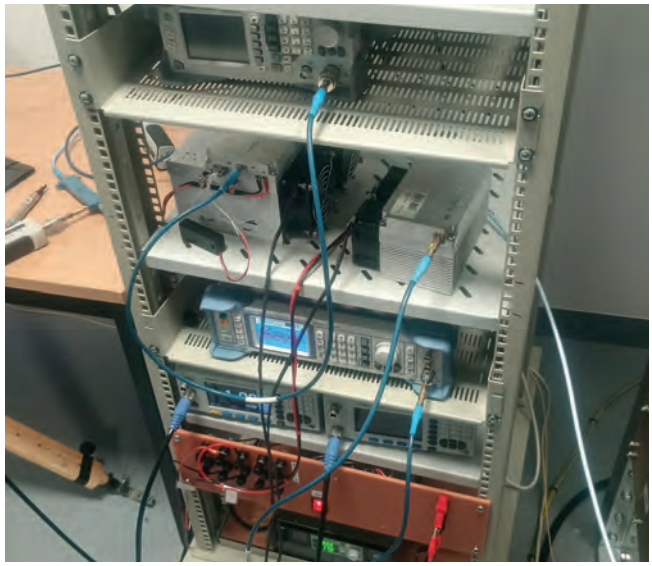
4. Niepewność pomiaru stanowiska laboratoryjnego z komorą TEM

Wielkością mierzoną jest natężenie impulsowego pola elektrycznego E w punkcie pomiarowym, wytworzone przez tor pomiarowy w komorze TEM. Natężenie tego pola można wyznaczyć analitycznie zgodnie z zależnością [10]:

$$E = \sqrt{\frac{Z_0 \cdot (P_f - P_r)}{h}} \quad [\mathrm{V/m}] \qquad (1)$$

gdzie: Z_0 – impedancja komory (typowo 50 Ω); P_f – moc padająca; P_r – moc odbita; h – odległość między septum a dolną lub górną ścianą komory.

W warunkach laboratoryjnych analizowana zależność realizowana jest za pomocą kompletnego toru pomiarowego, dlatego łączna niepewność wyznaczania impulsowego natężenia pola elektrycznego stanowi wynik sumarycznego wpływu wszystkich jego elementów. Kluczowe znaczenie w procedurze badawczej ma prawidłowa identyfikacja wielkości mierzonych oraz czynników oddziałujących na wynik pomiaru. Budżet niepewności obejmuje zestawienie potencjalnych źródeł błędów wraz z przypisanymi im oszacowaniami niepewności oraz określeniem odpowiednich rozkładów prawdopodobieństwa. Opracowanie takiego zestawienia wymaga szczegółowej znajomości zarówno zastosowanej metody pomiarowej, jak i parametrów technicznych wykorzystywanej aparatury. Przy tworzeniu listy składników zaleca się podejście zachowawcze — lepiej uwzględnić dany czynnik i wykazać



Rys. 3. Przyrządy pomiarowe wykorzystywane na stanowisku pomiarowym
Fig. 3. Measuring instruments used in the measurement station

jego znikomy wpływ, niż pominąć element, który w rzeczywistości może mieć istotne znaczenie dla końcowego wyniku [6]. Dokładność otrzymanego rezultatu jest bezpośrednio związana z poprawnie sporządzonym budżetem niepewności dla analizowanego stanowiska laboratoryjnego. W przypadku składników niepewności wyznaczanych na podstawie danych katalogowych producentów aparatury przyjęto rozkład prostokątny [A3]. Wynika to z faktu, że dokumentacja techniczna określa jedynie graniczne wartości tolerancji, bez informacji o charakterze statystycznym odchyleń. W takiej sytuacji zakłada się jednakowe prawdopodobieństwo wystąpienia dowolnej wartości błędu w zadanym przedziale. Całkowitą niepewność standardową obliczono jako pierwiastek z sumy kwadratów poszczególnych składowych, zgodnie z zależnością:

$$u_c = \sqrt{\sum u_i^2} \qquad (2)$$

gdzie: u_i – niepewność typu B; u_c – niepewność całkowita.

Dla określenia kompletnej niepewności pomiaru wykorzystana zostanie zależność:

$$U = k \cdot u_c \qquad (3)$$

gdzie: u_c – niepewność całkowita; U – niepewność rozszerzona; k – współczynnik rozszerzenia.

W Tabeli 1 przedstawiono kompletne obliczenia rozszerzonej niepewności pomiarowej w postaci budżetu niepewności pomiaru dla przedstawionego powyżej stanowiska laboratoryjnego. Dla pokazanej metody pomiaru impulsowego pola elektrycznego rozszerzoną niepewność pomiaru można określić na ±3,14 dB, przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$ dla poziomu ufności 95 %.

Tabela 1. Budżet niepewności pomiaru dla stanowiska laboratoryjnego
Table 1. Measurement uncertainty budget for the laboratory station

Składnik niepewności	Wartość graniczna [dB]	Rozkład prawdopodobieństwa	[dB]
Generator Rigol DSG836A	±0,9	prostokątny	0,52
Wzmacniacz Keylink KB0810M47A	±1,0	prostokątny	0,58
Sprzęgacz Werlatone C7311-102	±1,0	prostokątny	0,58
Miernik mocy Ceyar 2438PB z sensorem	±1,0	prostokątny	0,58
Komora Tekbox TBCT1	±1,5	prostokątny	0,87
Kable pomiarowe	±0,5	prostokątny	0,29
Miernik natężenia pola Narda NBM-520 z sondą Narda EF1891	±1,0	prostokątny	0,58
		$\sum u_i^2 =$	2,46
		$k =$	2
		Niepewność rozszerzona $U =$	3,14

5. Kalibracja stanowiska z komorą TEM

Kalibrację stanowiska pomiarowego z komorą TEM Tekbox TBCT1 przeprowadzono w celu wyznaczenia zależności między poziomem mocy sygnału na wyjściu generatora mikrofalowego a wartością natężenia pola elektrycznego E w obszarze roboczym komory. Kalibracja obejmowała:

1. charakterystykę częstotliwościową przy stałym natężeniu pola;
2. charakterystykę amplitudową przy stałej częstotliwości.

Dla zastosowanego wzmacniacza sygnału przeprowadzono kalibrację charakterystyki częstotliwościowej w zakresie 100 MHz – 1 GHz, co 100 MHz. Dla stałego natężenia pola w komorze TEM 100 V/m wyznaczano poziom sygnału na wyjściu generatora mikrofalowego wymagany do osiągnięcia tej wartości sygnału. Dla kalibracji charakterystyki amplitudowej dla częstotliwości 1 GHz określono zależność pomiędzy poziomem sygnału na wyjściu generatora a wartością natężenia pola w komorze TEM.

Tabela 2. Kalibracja charakterystyki częstotliwościowej
Table 2. Frequency characteristic calibration

Kalibracja charakterystyki częstotliwościowej dla E = 100 V/m w zakresie 100 MHz – 1 GHz	
f [MHz]	P_{gen} [dBm]
100	–40
200	–40
300	–40
400	–38
500	–40
600	–37
700	–40
800	–45
900	–45
1000	–39

Tabela 3. Kalibracja charakterystyki amplitudowej
Table 3. Amplitude characteristic calibration

Kalibracja charakterystyki amplitudowej dla f = 1 GHz	
P_{gen} [dBm]	E [V/m]
–50	30
–49	31
–48	35
–47	38
–46	43
–45	50
–40	80
–35	140
–30	270
–25	470
–20	860

Zakres pomiarów wynosił 30–860 V/m, co jest maksymalną dopuszczalną wartością dla komory TEM przy rezystorze obciążenia 25 W. W przypadku wzmacniacza mocy KB00810M47A ma on stałą wartość wzmocnienia.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono laboratoryjne stanowisko do generacji i pomiaru impulsowych pól elektromagnetycznych z wykorzystaniem komory typu TEM. Stanowisko umożliwia wytwarzanie pól o kontrolowanym poziomie natężenia oraz ich ilościową ocenę przy użyciu sondy izotropowej. Przeprowadzono szczegółową analizę metrologiczną toru pomiarowego a opracowany budżet niepewności uwzględniał wszystkie istotne elementy toru nadawczego i pomiarowego, przyjmując dla składników katalogowych rozkład prostokątny. Największy wkład do niepewności wnosi komora TEM oraz elementy

toru wzmacniającego, co jest typowe dla stanowisk tego typu. Przeprowadzona kalibracja do częstotliwości 1 GHz potwierdziła zgodność charakterystyk eksperymentalnych z analizą teoretyczną oraz poprawność przyjętego modelu niepewności. Ze względu na zależności metrologiczne, które uwzględniają wszystkie dane parametrów elektrycznych toru pomiarowego, rozszerzona niepewność pomiaru wynosi 3,14 dB dla powyższego stanowiska a otrzymane wyniki wskazują, że stanowisko zapewnia powtarzalne warunki generacji impulsowych pól EM i może być wykorzystywane do badań odporności urządzeń elektronicznych oraz analiz oddziaływań impulsów HPM.

Bibliografia

1. Przesmycki R., Bugaj J., *Niepewność pomiaru w badaniach impulsowego pola EM w postaci impulsów HPM*, „Przegląd Elektrotechniczny", R. 100, Nr 12, 2024, 227–237, DOI: 10.15199/48.2024.12.50.
2. Giri D.V., *High-Power Electromagnetic* (*HPEM*) *Environments and Effects*, "International Journal of Antennas and Propagation", 2010.
3. Giri D.V., Sabath F., Hoad R., *High-Power Electromagnetic Effects on Electronic Systems*, URSI Radio Science Bulletin, nr 332, 2010.
4. Kuchta M., Paś J., *Terroryzm elektromagnetyczny: zagrożenia w obiektach budowlanych*, „Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej", R. 64, Nr 2, 2015, 135–147, DOI: 10.5604/12345865.1157324.
5. Przesmycki R., Bugaj J., *Pomiar tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora HPM*, „Przegląd Elektrotechniczny", R. 97, Nr 10, 2021, 133–139, DOI: 10.15199/48.2021.10.28.
6. Jakubowski J., Kuchta M., Kubacki R., *Przetwarzanie odpowiedzi sensora D-dot w ocenie własności impulsów HPM*, „Przegląd Elektrotechniczny", R. 97, Nr 1, 2021, 140–143, DOI: 10.15199/48.2021.01.27.
7. Kuchta M., Jakubowski B., *Metody kalibracji stanowisk pomiarowych do badania impulsowych pól EM*, „Przegląd Elektrotechniczny", R. 99, Nr 12, 2023, 315–318, DOI: 10.15199/48.2023.12.60.
8. Białek R., Kuchta M., Kubacki R., *Metody pomiaru wysokomocowych impulsów elektromagnetycznych HPEM*, „Przegląd Elektrotechniczny", R. 93, Nr 1, 2017, 125–128, DOI: 10.15199/48.2017.01.30.
9. Kuchta M., Jakubowski J., Jakubowski B., Kubacki R., Galewicz W., *A concept of an isotropic probe for measuring the parameters of an electromagnetic field emitted by the transmitters of pulsed microwave signals*, „Przegląd Elektrotechniczny", R. 98, Nr 12, 2022, 279–282, DOI: 10.15199/48.2022.12.64.
10. Przesmycki R., Bugaj J., *Niepewność pomiaru w badaniach emisji zaburzeń przewodzonych*, „Przegląd Elektrotechniczny", R. 101, Nr 4, 2025, 247–251, DOI: 10.15199/48.2025.04.46.
11. Jakubowski J., Kuchta M., Kubacki R., *Determinants of HPEM and HMP signal environmental measurements*, „Przegląd Elektrotechniczny", Nr 12, 2020, DOI: 10.15199/48.2020.12.45.
12. Arendarski J., *Niepewność pomiarów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.

Inne źródła

A1. *High Power Microwaves: Threat to Infrastructure and Military Equipment* – Raport techniczny NATO, 2007, [www.sto.nato.int].
A2. *Diehl DEW HPEM Effectors and Technologies*, Raport techniczny NATO, 2024, [www.sto.nato.int].
A3. ISO/IEC Guide 98-3 (GUM) – *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.*

Measurement Station for Pulsed EM Field Measurements in a TEM Chamber

Abstract: The paper presents a laboratory station for the measurement of pulsed electromagnetic fields using a TEM-type chamber, being part of the equipment of the Institute of Electronic Systems, Faculty of Electronics, Military University of Technology. A metrological evaluation of the measurement uncertainty of the entire measurement chain of the station was carried out, as well as calibration up to the frequency of 1 GHz.

Keywords: TEM chamber, probe, electromagnetic field, measurement, uncertainty, calibration

mgr inż. Michał Skwarczyński
michal.skwarczynski@wp.pl
ORCID: 0009-0007-6806-6320

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej na kierunku Elektronika i Telekomunikacja, specjalność: metrologia. Ma bogate doświadczenie w zakresie kalibracji przyrządów pomiarowych stosowanych w Wojsku Polskim.

dr hab. inż. Marek Kuchta, prof. WAT
marek.kuchta@wat.edu.pl
ORCID: 0000-0002-1330-7146

W zakresie działalności badawczej zajmuje się pomiarami parametrów impulsowych pól EM, modelowaniem przenikania fali EM przez wybrane przeszkody oraz pomiarami i modelowaniem wybranych układów biomechanicznych człowieka.