

Waldemar Frankiewicz, Lech Szugajew, Dariusz Gibalski
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, Zielonka

MOŻLIWOŚCI BADAWCZO-POMIAROWE LABORATORIUM AKREDYTOWANEGO WOJSKOWEGO INSTYTUTU TECHNICZNEGO UZBROJENIA W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

MILITARY INSTITUTE OF ARMAMENT TECHNOLOGY ACCREDITED LABORATORY RESEARCH AND MEASUREMENT CAPABILITY IN THE AREA OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

Streszczenie: W artykule zamieszczono najważniejsze informacje na temat możliwości prowadzenia w laboratorium akredytowanym Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia (WITU) badań z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej i pomiarów pola elektromagnetycznego. W szczególności zaprezentowane zostały, będące na wyposażeniu laboratorium Instytutu, wyposażenie pomiarowe, niezbędne do realizacji ww. badań, wraz z wyszczególnieniem najistotniejszych parametrów technicznych posiadanej aparatury pomiarowo-badawczej. Omówiono ponadto, zakres badań, jakie mogą być przeprowadzone w laboratorium akredytowanym WITU, na zgodność z cywilnymi i wojskowymi dokumentami normatywnymi dotyczącymi kompatybilności elektromagnetycznej. Dodatkowo, zamieszczono przykład zmierzonych w trakcie prowadzonych badań, emisji zaburzeń radioelektrycznych promieniowanych, pochodzących od silnika komutatorowego.

Abstract: The major purpose of this article is to demonstrate issues connected with EMC and electromagnetic field measurements and current measurement capabilities of WITU accredited laboratory in this area. In particular it was presented what kind of equipment the laboratory has, with its main characteristics and standards they meet. In connection with shown test systems, there were presented laboratory capabilities in the field of electromagnetic compatibility fully compliant standardized tests. In addition, as an example of EMC emission measurements in the frequency range from 30 MHz to 18 GHz, there are also inserted graphs displaying results of radiated emissions from an engine.

Słowa kluczowe: EMC, WITU, emisja, kompatybilność elektromagnetyczna

Keywords: EMC, WITU, emission, electromagnetic compatibility

1. Wstęp

„Nie zakłócaj i nie daj się zakłócić” – krótka i wyczerpująca charakterystyka problematyki kompatybilności elektromagnetycznej (EMC). Oznacza to, że zagadnienia EMC obejmują, zarówno odporność urządzeń na zaburzenia elektromagnetyczne, jak i ograniczanie emitowanej przez nie energii.

Urządzenia oraz podzespoły elektryczne i elektroniczne, będące jednocześnie źródłem i potencjalną ofiarą zakłóceń, są obecnie powszechnie wykorzystywane niemalże we wszystkich dziedzinach życia codziennego.

Sprzyja temu coraz szersza cyfryzacja nowych dziedzin życia i przemysłu, wspierana dynamicznym rozwojem sektora elektroniki użytkowej, telekomunikacji oraz produktów informatycznych – w efekcie projektowane są systemy, w których obok siebie wykorzystuje

się bardzo czułe elementy o różnych właściwościach, np. małej i bardzo dużej mocy, czy pracujące na różnych częstotliwościach.

Ponieważ postępu nie da się i nie powinno hamować, a skutki braku kompatybilności elektromagnetycznej mogą być bardzo poważne (np. awarie samolotów, czy niekontrolowane zadziałanie zapalników), dlatego problematyka EMC jest coraz częściej i coraz szerzej uwzględniana, już na etapie projektowania urządzeń i systemów.

1.1. Przykłady typowych źródeł zaburzeń elektromagnetycznych

- a) nieliniowe odbiorniki energii elektrycznej:
 - piece łukowe i indukcyjne;
 - urządzenia spawalnicze;
 - urządzenia impulsowe (np. zasilacze);
 - oświetlenie fluorescencyjne;

- prostowniki; transformatory, falowniki;
 - przemienniki częstotliwości;
 - urządzenia gospodarstwa domowego;
- b) urządzenia sterowania i kontroli:
- urządzenia programowalne;
 - systemy sterowane mikroprocesorowo;
 - komputery osobiste;
 - urządzenia peryferyjne do komputerów;
 - telefonia bezprzewodowa (GSM, DCS, UMTS, DECT itd.);
- c) inne źródła zaburzeń:
- napędy mocy o regulowanej prędkości;
 - wyładowania atmosferyczne;
 - wyładowania elektrostatyczne, zwykle pomiędzy człowiekiem, a urządzeniami;
 - awarie obwodów indukcyjnych;
 - załączanie i wyłączanie dużych obciążeń;
 - zwarcia doziemne.

1.2. Podstawowe definicje z zakresu EMC

Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC)

Zdolność aparatu, urządzenia lub systemu do poprawnego działania w określonym środowisku elektromagnetycznym bez równoczesnego generowania zaburzeń przekraczających odporność jakichkolwiek urządzeń, które znajdowałyby się w tym środowisku.

Środowisko elektromagnetyczne

Zespół wszystkich elektromagnetycznych zjawisk, występujących w pewnym obszarze.

Zakłócenie elektromagnetyczne

Niepożądane obniżenie jakości działania urządzenia spowodowane przez zaburzenie elektromagnetyczne.

Zaburzenie elektromagnetyczne

Pole elektromagnetyczne, które może prowadzić do zakłócenia pracy konkretnego urządzenia, systemu, ewentualnie instalacji elektrycznej, elektronicznej, informatycznej, poprzez wytworzenie niepożądanego sygnału lub zmiany właściwości ośrodka, w którym przekazywane są sygnały pożądane.

Odporność na zaburzenia elektromagnetyczne

Zdolność sprzętu, urządzenia lub systemu do działania w obecności elektromagnetycznej wielkości zakłócającej, bez pogarszania ich właściwości funkcjonalnych.

Emisja elektromagnetyczna

Zjawisko, któremu towarzyszy wydostawanie się energii elektromagnetycznej ze źródła.

Urządzenie kompatybilne elektromagnetyczne

Urządzenie jest kompatybilne, jeśli działa w danym środowisku elektromagnetycznym w sposób zadowalający oraz jeżeli nie wprowadza do tego środowiska zaburzeń nietolerowanych przez wszystko, co się w tym środowisku znajduje.

Urządzenie elektromagnetycznie pasywne

Urządzenie, które samo z siebie, bez podjęcia środków szczególnych, takich jak np. filtrowanie lub ekranowanie, nie emituje, ani nie wytwarza żadnych zakłócających wielkości elektromagnetycznych oraz nie wykazuje oznak pogorszenia swoich właściwości funkcjonalnych w obecności zaburzeń elektromagnetycznych.

2. Aktualne możliwości pomiarowe laboratorium

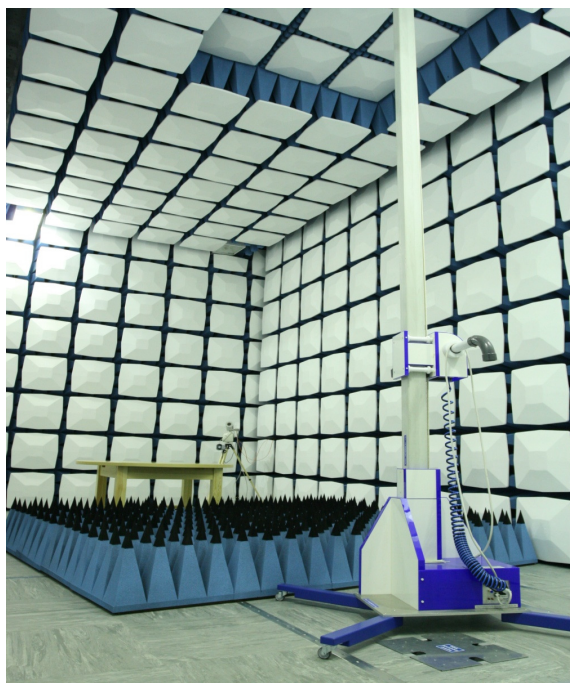
2.1. Aparatura kontrolno-pomiarowa

W wyniku rozpoczętej w 2008 roku modernizacji, znacznie rozszerzona została baza sprzętowa laboratorium Instytutu. W rezultacie, zbudowana została nowa, 3-metrowa komora semibezieczowa (SAC) oraz doposażono laboratorium w najnowszą aparaturę kontrolno-pomiarową, spełniającą wymagania europejskich i krajowych norm z zakresu EMC.

Oddana do użytku w 2009 r. komora SAC (rys. 1, 2), spełnia wymagania następujących norm krajowych i europejskich:

- a) EN 50147-1, MIL-STD-285, NSA 65-5, w zakresie skuteczności ekranowania:
- minimum 100 dB dla pól elektrycznych w przedziale częstotliwości od 30 MHz do 18 GHz;
 - minimum 80 dB dla pól elektrycznych w przedziale częstotliwości od 18 GHz do 40 GHz;
 - minimum 80 dB dla pól magnetycznych o częstotliwości 0,01 MHz;
 - min. 100 dB dla pól magnetycznych o częstotliwościach: 0,1 MHz, 1 MHz i 10 MHz;
- b) EN 50147-2, CISPR-16-1-4:2008-01 oraz ANSI C63.4 w zakresie znormalizowanego tłumienia stanowiska badawczego:
- strefa pomiarowa o średnicy 1,5 m i wysokości 2 m, przy zachowaniu 3 m odległości pomiarowej;
 - NSA w strefie pomiarowej lepszy, niż ± 3 dB w przedziale częstotliwości od 30 MHz do 200 MHz;

- NSA w strefie pomiarowej lepszy, niż $\pm 1,5$ dB w przedziale częstotliwości od 200 MHz do 1 GHz;
- sVSWR w strefie pomiarowej $\leq 4,2$ dB w przedziale częstotliwości od 1 GHz do 6 GHz;
- sVSWR w strefie pomiarowej $\leq 3,0$ dB w przedziale częstotliwości od 6 GHz do 18 GHz;
- Transmission loss (straty sygnału) w przestrzeni pomiarowej $\leq \pm 3$ dB w przedziale częstotliwości od 18 GHz do 40 GHz;



Rys. 1. Komora SAC 3 m

- c) PN-EN 61000-4-3 w zakresie pola jednorodnego, wytwarzanego na odległości pomiarowej 3 m, przy uwzględnieniu 75 % z 16 punktów pomiarowych:
- $\leq 5,5$ dB w przedziale częstotliwości od 26 MHz do 80 MHz;
 - ≤ 6 dB w przedziale częstotliwości od 80 MHz do 1 GHz;
 - ≤ 4 dB w przedziale częstotliwości od 1 GHz do 4,2 GHz;
 - $\leq 4,5$ dB w przedziale częstotliwości od 4,2 GHz do 18 GHz.



Rys. 2. Komora SAC 3 m wraz z zestawem do kalibracji jednorodnego pola elektrycznego

W ramach doposażenia laboratorium, w latach kolejnych pozyskano następującą aparaturę pomiarową i oprogramowanie testowe, umożliwiające zbudowanie znormalizowanych stanowisk pomiarowych do badań EMC:

- a) odbiornik pomiarowy z wbudowanym analizatorem widma i detektorami: PK, QP, AV, RMS, CISPR-AV, CISPR-RMS, umożliwiający wykonywanie pomiarów w przedziale częstotliwości od 20 Hz do 40 GHz;
- b) system do badania odporności na zaburzenia promieniowane w przedziale częstotliwości od 10 kHz do 40 GHz;
- c) zestaw anten do badań emisji i odporności na zaburzenia promieniowane w paśmie częstotliwości od 9 kHz do 40 GHz;
- d) kompaktowy symulator zaburzeń RF, umożliwiający wykonywanie pomiarów w przedziale częstotliwości od 10 kHz do 400 (1000) MHz;
- e) kompaktowy symulator zaburzeń RF częstotliwości radiowych (VLF/LF), umożliwiający wykonywanie pomiarów w przedziale częstotliwości od 10 Hz do 250 kHz;
- f) generator ESD do symulacji wyładowań elektrostatycznych do 30 kV;
- g) kompaktowy symulator zaburzeń typu: BURST, SURGE i zapady napięcia;
- h) analizator harmonicznego prądu fazowego oraz flickerów;
- i) znormalizowana impedancja flickerów;
- j) wielofunkcyjne, stabilizowane źródło sygnału sinusoidalnego AC;
- k) analizator trzasków;

- l) oprogramowanie testowe umożliwiające sterowanie odbiornikiem pomiarowym, systemem do badania odporności na zaburzenia promieniowane, sieciami sztucznymi i wyposażeniem pomocniczym (stół obrotowy, maszt antenowy, pozycjoner do kalibracji pola), umożliwiające wykonanie pomiarów emisji przewodzonej i promieniowanej oraz badania odporności na zaburzenia promieniowane i przewodzone w układzie zautomatyzowanym, lub ręcznym, zgodnie z obowiązującymi normami cywilnymi i wojskowymi;
- m) oprogramowanie testowe umożliwiające sterowanie symulatorami zaburzeń RF;
- n) oprogramowanie testowe umożliwiające sterowanie generatorem ESD;
- o) oprogramowanie testowe umożliwiające sterowanie analizatorem harmonicznego prądu fazowego oraz flickerów;
- p) oprogramowanie testowe umożliwiające sterowanie symulatorem zaburzeń typu: BURST, SURGE i zapady napięcia;
- q) oprogramowanie testowe umożliwiające pomiary trzasków przy wykorzystaniu odbiornika pomiarowego;
- r) stół obrotowy z kontrolerem o dokładności $0,02^{\circ}$, złączem obrotowym do 26 GHz i oprogramowaniem;
- s) miernik mocy umożliwiający pomiar impulsowego pola elektromagnetycznego od 50 ns w paśmie częstotliwości od 50 MHz do 40 GHz;
- t) miernik z sondami pola elektrycznego i magnetycznego, umożliwiający pomiary pola w przedziale częstotliwości od 5 kHz do 40 GHz;
- u) analizator wektorowy, umożliwiający wykonanie pomiarów w przedziale częstotliwości od 10 MHz do 110 GHz, między innymi w zakresie pomiarów elementów macierzy rozproszenia **[S]**:
 - *pomiary odbicia* (S_{11} , S_{22}): tłumienność odbicia, WFS, współczynnik odbicia, impedancja;
 - *pomiary transmisji* (S_{21} , S_{12}): tłumienie wtrącone, współczynnik transmisji, wzmocnienie/tłumienie, opóźnienie grupowe, odchylenie od linii fazy, opóźnienie elektryczne;
- v) wektorowy generator sygnałowy wraz z arbitralnym generatorem funkcji, umożliwiający wykonywanie pomiarów w przedziale częstotliwości od 250 kHz do

6 GHz, z oprogramowaniem pozwalającym na generowanie sygnałów takich standardów jak: GPS (Globalny System Nawigacji), GSM (europejski system telefonii komórkowej), EDGE (transmisja danych w sieciach komórkowych), NADC (sieć komórkowa w USA), PDC (japońska sieć komórkowa), PHS (sieć komórkowa w niektórych państwach azjatyckich), DECT (domowe telefony bezprzewodowe), TETRA (system radiotelefonii dla służb bezpieczeństwa publicznego).

- w) akcesoria: sieci sztuczne, sieci sprzęgająco-odsprzęgające, prądowe cęgi wstrzykujące i pomiarowe, cewki indukcyjne, klamry sprzęgające i odsprzęgające, pętle pomiarowe, zestawy kalibracyjne, kable, tłumiki, obciążenia dopasowane, pozycjonery, maszty i statywy antenowe, stoły pomiarowe o wymiarach zgodnych z wymaganiami norm, płaszczyzny ziemi odniesienia, znormalizowane podstawy izolacyjne itd.

2.2. Zakres badań EMC

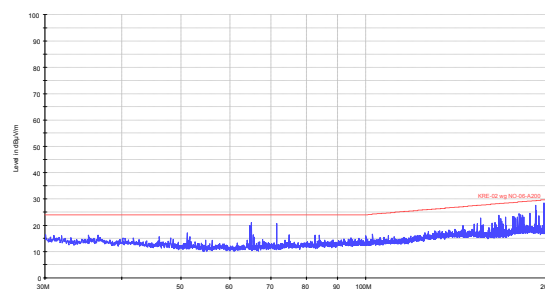
Zakres badań, jakie Laboratorium może przeprowadzić jest stale modyfikowany i rozszerzany w związku ze zmieniającym się zapotrzebowaniem na badania.

W wyniku rozpoczętej w 2008 roku modernizacji, w oparciu o zakupioną nowoczesną aparaturę kontrolno-pomiarową, spełniającą wymagania norm europejskich i krajowych, zbudowano w Laboratorium kilka nowych, znormalizowanych stanowisk pomiarowych do badań EMC.

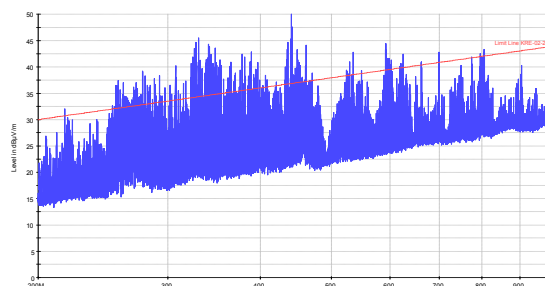
W efekcie, laboratorium jest obecnie przygotowane do przeprowadzenia badań kompatybilności elektromagnetycznej na zgodność z normami cywilnymi oraz wojskowymi, w następującym zakresie:

1. Pomiary emisji zaburzeń przewodzonych:
 - a) harmonicznego prądu zasilającego dla urządzeń jednofazowych i trójfazowych o prądzie maksymalnym do 63 A (75 A);
 - b) napięcia zaburzeń ciągłych:
 - w paśmie od 9 kHz do 30 MHz, dla urządzeń jednofazowych i trójfazowych o prądzie maksymalnym do 32 A / fazę;
 - w paśmie od 9 kHz do 200 MHz, dla urządzeń jednofazowych o prądzie maksymalnym do 100 A;
 - c) zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w sieciach zasilających niskiego

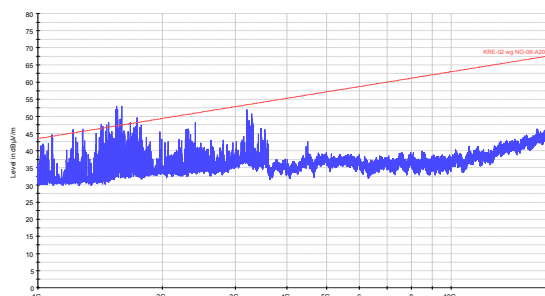
- napięcia (flickerów), dla urządzeń jednofazowych i trójfazowych o prądzie maksymalnym do 32 A / fazę;
- d) zaburzeń nieciągłych (trzasków), dla urządzeń jednofazowych i trójfazowych o prądzie maksymalnym do 32 A / fazę.
 2. Pomiary emisji zaburzeń promieniowanych w przedziale częstotliwości od 9 kHz do 40 GHz, przy odległości do 3 m.
 3. Pomiary mocy zaburzeń w paśmie od 30 MHz do 1000 MHz.
 4. Badania odporności na przewodzone zaburzenia wąskopasmowe RF w paśmie częstotliwości od 10 Hz do 400 MHz.
 5. Badania odporności na przewodzone zaburzenia LF oraz testy magnetycznym polem o niskich częstotliwościach w paśmie częstotliwości od 10 Hz do 250 kHz.
 6. Badania odporności na promieniowane pola elektromagnetyczne o natężeniach w odległości 1 m:
 - minimum 20 V/m (100 V/m w linii paskowej) @ 10 kHz ÷ 2 MHz;
 - minimum 50 V/m (100 V/m w linii paskowej) @ 2 MHz ÷ 26 MHz;
 - minimum 60 V/m @ 26 MHz ÷ 18 GHz;
 - minimum 200 V/m @ 18 ÷ 40 GHz.
 7. Badania odporności na promieniowane, elektromagnetyczne pola jednorodne (wg PN-EN 61000-4-3) o natężeniach:
 - minimum 10 V/m z modulacją AM 80% @ 80 MHz ÷ 6 GHz, na odległości 3 m;
 - minimum 10 V/m z modulacją AM 80% @ 6 GHz ÷ 40 GHz, na odległości 1 m w obszarze 0,5 m x 0,5 m.
 8. Badania odporności na wyładowania elektrostatyczne do 30 kV.
 9. Badania odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych (EFT/BURST) w porcie zasilania i sygnałowych do 5,5 kV.
 10. Badania odporności na udary elektryczne (SURGE) w porcie zasilania i sygnałowych do 5 kV.
 11. Badania odporności na pole magnetyczne do 100 A/m.
 12. Badania odporności na impulsowe pole magnetyczne do 1000 A/m.
 13. Badania odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia w porcie zasilania do 16 A.



Rys. 3. Emisja zaburzeń promieniowanych przez silnik komutatorowy w przedziale częstotliwości od 30 MHz do 200 MHz



Rys. 4. Emisja zaburzeń promieniowanych przez silnik komutatorowy w przedziale częstotliwości od 200 MHz do 1 GHz



Rys. 5. Emisja zaburzeń promieniowanych przez silnik komutatorowy w przedziale częstotliwości od 1 GHz do 18 GHz

3. Plany rozszerzenia zakresu badań

W kolejnych etapach modernizacji Laboratorium planowany jest zakup aparatury, która pozwoli uzupełnić zakres już prowadzonych badań oraz umożliwi:

- wykonywanie testów odporności na wyładowania elektryczności statycznej w obrębie obiektów narażonych na naładowanie wysokim napięciem poprzez zgromadzenie ładunku elektrycznego na ich powierzchni;
- symulowanie zjawisk przejściowych, będących efektem przełączania przekaźników, mogących wywoływać rezonans w wiązkach kablowych;

- symulowanie przebiegów pojawiających się wskutek narażenia przewodów, kabli, wiązek przez zjawiska wyładowań piorunowych, przełączeń, czy też impulsów elektromagnetycznych.

Autorzy

Autorzy referatu są przedstawicielami Laboratorium Badań Radiolokacji, Systemów Dowodzenia, Walki Radioelektronicznej i Techniki Mikrofalowej WITU.

dr inż. Lech Szugajew (30 %)

Kierownik Laboratorium

mgr inż. Dariusz Gibalski (30 %)

Kierownik Pracowni badań EMC i Pomiarów Mikrofalowych Laboratorium

mgr inż. Waldemar Frankiewicz (40 %)

Starszy inżynier w Pracowni badań EMC i Pomiarów Mikrofalowych Laboratorium

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

ul. Prymasa Stefana Wyszyńskiego 7

05-220 Zielonka

Informacje dodatkowe

Pełny zakres akredytacji laboratorium akredytowanego WITU można znaleźć na stronie internetowej Instytutu oraz Polskiego Centrum Akredytacji – nr akredytacji AB 171.