

Sławomir SPADŁO, Józef KUŚMIERZ, Krzysztof ŁAKOMIEC, Joanna DUŚ-SPADŁO

WYBRANE ASPEKTY TECHNICZNO-PRAWNE BADAŃ ODPORNOŚCI INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ I ELEKTRONICZNEJ POJAZDÓW MILITARNYCH NA ZAKŁÓCENIA ELEKTROMAGNETYCZNE (EMC)

Streszczenie

W standardach międzynarodowych ustalono warunki dotyczące emisyjności i odporności na zakłócenia elektromagnetyczne produkowanych wyrobów. Produkcja wyrobów o charakterze militarnym wymaga zastosowania znacznie wyższych standardów niż produkcja wyrobów typowych produktów użytkowych. Wyroby elektroniczne przeznaczone do zastosowań militarnych wymagają dostosowania laboratoriów badawczych zgodnie ze standardami NATO i standardami wojskowymi w taki sposób by możliwe było przeprowadzania testów odporności elektromagnetycznej zarówno wyrobów w trakcie procesu produkcyjnego jak również w okresie eksploatacji.

WSTĘP

W dobie szybkiego rozwoju i powszechności stosowania układów elektronicznych i elektrycznych, konieczne staje się zapewnienie ich poprawnego działania w otaczającym środowisku [4]. Zagadnienia te nabierają szczególnie istotnego znaczenia w przypadku wyrobów stosowanych w technice uzbrojenia, w tym w pojazdach o zastosowaniu militarnym. W wyrobach oraz urządzeniach o zastosowaniu militarnym odporność na skutki zakłóceń typu EMC może decydować o bezpieczeństwie użytkownika wyrobu. Powyższe wymagania w sensie praktycznym dotyczą zminimalizowania do niezbędnego poziomu zakłóceń generowanych przez te urządzenia, jak również ich odporności na zakłócenia, które mogą być wywołane między innymi podczas wyładowań atmosferycznych, wybuchu jądrowego silnych pól magnetycznych itp. Wymagana jest zatem tzw. kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), to jest zdolność urządzeń elektrycznych i elektronicznych lub systemu do działania w środowisku elektromagnetycznym w sposób zadawalający i bez jednoczesnego powodowania zaburzeń elektromagnetycznych, które byłyby niedopuszczalne dla innych urządzeń występujących w tym środowisku [1].

Aby sprostać przedstawionym wymaganiom, konieczne jest na etapie projektowania, badań, instalowania i użytkowania uwzględnianie wymagań współczesnych norm dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej.

Na większości rodzajów pojazdów o przeznaczeniu militarnym zabudowane są systemy uzbrojenia zawierające elementy wykonawcze pozwalające na ich efektywne zadziałanie w odpowiednim miejscu i czasie tak by uzyskać optymalną efektywność ich funkcjonowania.

Na etapie projektowania układów elektrycznych i elektronicznych pojazdów należy uwzględnić i spełnić wymagania zawarte w dokumentach normalizacyjnych NATO.

Jedną z istotniejszych grup, współczesnych pojazdów o przeznaczeniu militarnym są transportery z zabudowanymi na nich systemami broni raketowej.

Funkcjonowanie każdego systemu uzbrojenia, od którego wymaga się spełnienia między innymi wymagań: dokładności, czułości i niezawodności działania, oraz z uwagi na fakt, że w stosowana w nich amunicja zawiera materiały wysokoenergetyczne, muszą spełniać wymagania bezpieczeństwa ich użytkowania. Spełnienie tych warunków powinno uniemożliwić niezamierzone zainicjowanie wyrobu eksploatacji.

Aby sprostać tym rygorystycznym wymaganiom należy stosować w praktyce przepisy zawarte w odpowiednich normach oraz wykonywać badania mające na celu określenie czy wyroby je spełniają [6-12].

1. CHARAKTERYSTYKA NORM DOTYCZĄCYCH WYMAGAŃ I BADAŃ ODPORNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ (EMC)

Wojskowe normy EMC

W wielu krajach istnieją oddzielne wojskowe normy EMC, różniące się od norm cywilnych. Prym w tym względzie mają normy USA, a w krajach europejskich normy niemieckie.

Wojskowe normy EMC istnieją już ponad 30 lat. W ustalaniu norm uczestniczą zarówno sekcje wojskowe jak również niezależne firmy i jednostki naukowe.

Normom EMC nadaje się charakter Generic Standards. Wszędzie tam, gdzie nie jest to uwarunkowane specyfiką uzbrojenia stosowane są wymagania nie przeznaczone dla konkretnego rodzaju urządzeń.

Ze względów historycznych mamy do czynienia z normami dla klasycznej EMC oraz dla ochrony przed skutkami NEMP – Nuclear Electromagnetic Pulse.

Środowisko elektromagnetyczne

Cechą charakterystyczną rozróżniającą normy wojskowe od norm cywilnych jest przede wszystkim to, że dotyczą one innych środowisk. Wynikają z tego konsekwencje dotyczące nie tylko dopuszczalnych wartości emisji czy odporności, ale także stosowanych metod pomiarowych.

Definicja odległości pomiarowych

Jedną z różnic, wynikających z rozbieżności norm wojskowych i cywilnych, jest odległość, z jakiej wykonuje się pomiary. Pomiary zakłóceń przeprowadzane są w odległości 1m od urządzeń, w przypadku norm cywilnych w odległości 30 lub 10 m. Opracowane zostały metody zabezpieczenia EMC całych systemów i zestawów, które nie występują w sektorze cywilnym [1,2,3]. Normy wojskowe EMC są wykorzystywane nie tylko w technice uzbrojeniowej w stopniu, w jakim nie są one tajne. Treść wojskowych norm EMC dotyczy następujących zagadnień:

- pojęć i definicji,
- definicji środowiska elektromagnetycznego,
- managementu, programów i metod organizacyjnych (analizy EMC/NEMP),
- oddzielnych metod pomiarowych dla urządzeń i zestawów,
- rozwiązań konstrukcyjnych i środków ochrony,
- postanowień ogólnych i szczegółowych,
- techniki zbrojeniowej (zapalników i urządzeń zapłonowych –Electro Explosive Devices-EED).

Na podstawie ostatnich rozporządzeń dotyczących np. NATO dla urządzeń wojskowych zarówno deklaracja zgodności CE typu, jak i oznaczenie zgodności nie są wymagane.

Zgodnie z dotychczasową praktyką urządzenia konstruowane dla celów wojskowych muszą odpowiadać normom wojskowym EMC takim, jak VG/MIL-STD lub innym wymaganiom NATO.

Wysokoenergetyczne impulsy zakłócające SURGE, wg IEC 1000-4-5

Do najczęściej spotykanych przyczyn uszkodzeń urządzeń elektrycznych i elektronicznych dochodzi wskutek przepięcia, spowodowanego procesami łączeniowymi lub wyładowaniami atmosferycznymi, zwanymi wyładowaniami piorunowymi.

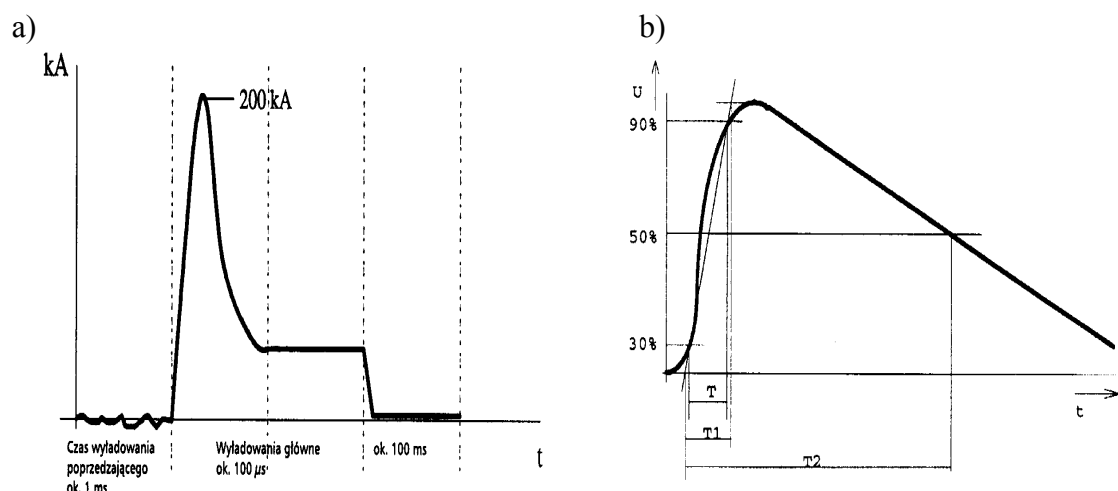
Oddziaływania wyładowań atmosferycznych są względnie rzadkie i krótkotrwałe, ale w wielu przypadkach tak intensywne, że mogą spowodować w układach elektronicznych automatyki nie tylko przejściowe zakłócenia poprawności działania, lecz również uszkodzenia.

Impulsy wysokoenergetyczne powstają nie tylko wskutek wyładowań atmosferycznych, lecz również podczas procesów łączeniowych.

Impulsy zakłócenia pochodzące od wyładowań atmosferycznych oznacza się skrótem LEMP – (*Lighting ElectroMagnetic Pulse*) – impuls elektromagnetyczny wyładowania atmosferycznego.

Impulsy zakłócenia pochodzące od procesów łączeniowych oznacza się skrótem SEMP – (*Switching ElectroMagnetic Pulse*) – impuls elektromagnetyczny pochodzący od łączeń (łączeniowy)

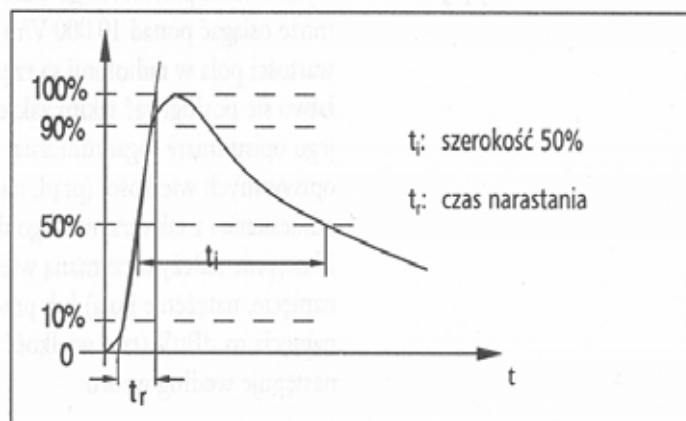
Symulację wysokoenergetycznych impulsów zakłóceń dokonyuje się za pomocą generatorów fali kombinowanej (generatora udarowego). Generator taki może wytwarzać impulsy o złożonych, kombinowanych kształtach; w obwodzie otwartym – napięcie o parametrze: czas narastania czoła/do półszczytu równym $1,2/50 \mu\text{s}$, a w stanie zwarcia prąd o parametrze równym $8/20 \mu\text{s}$. Kształty impulsów napięciowego i prądowego przedstawiono na rysunkach 1a, 1b.



Rys. 1. Kształt impulsu napięciowego w obwodzie otwartym: a), kształt impulsu prądowego w stanie zwarcia, b) amplitudy napięcia impulsu, w zależności od stopnia ostrości badania wynoszą 0,5-4 kV [1].

Charakterystyka czasowa przebiegów impulsowych

Niesinusoidalne przebiegi impulsowe są opisywane przy pomocy ich zależności od czasu, np. czas narastania oraz wartość maksymalna nazywana amplitudą. Czas narastania impulsów probierczych nie jest jednolicie opisany w poszczególnych normach EMC. Bardziej jednoznaczna jest definicja czasu trwania impulsu, szerokość impulsu określa tzw. szerokość 50-procentowa. Odpowiada ona czasowi równemu różnicy między czasem osiągnięcia 50% wartości maksymalnej przy narastaniu, a czasem osiągnięcia tej samej wartości dla zbocza opadającego rys. 2.



Rys. 2. Objaśnienie definicji opisujących charakterystykę czasową impulsowych wielkości zakłócających [1]

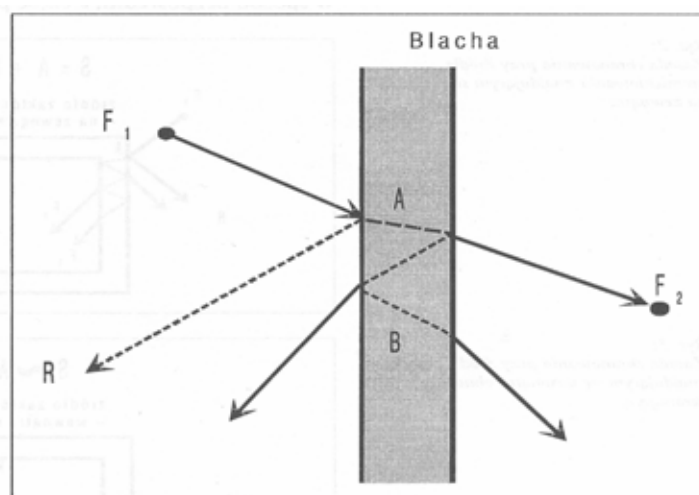
Badania wpływu pól o częstotliwościach radiowych od 9 kHz do 80 MHz, wg IEC 1000-4-6. Badania wpływu pola elektromagnetyczne, wg IEC 1000-4-3 (IEC 801-3). Pola magnetyczne, WG IEC 1000-4-8-9-10 scharakteryzowane zostały w artykule [5]

2. METODY ZABEZPIECZANIA EMC

Ekranowanie

Działanie ekranów elektromagnetycznych (rys.3) polega na współdziałaniu kilku zjawisk fizycznych, fala elektromagnetyczna trafiając na element metalowy ulega częściowemu odbiciu, pozostała część wnika w metal powodując wydrukowanie i przepływ prądów wirowych. W wyniku powyższych zjawisk powstałe w ekranie pola przez wzbudzone prądy wirowe kompensują pola zakłócające.

Energia zakłócająca wypromieniowana z punktu F_1 dzieli się na części: pierwszą, która po napotkaniu ekranu ulegnie odbiciu (R), drugą, która po wnikięciu do wnętrza blachy zostanie przemieniona w ciepło (A, B), oraz trzecią która ostatecznie przenika wskroś przez blachę (F_2).



Rys. 3. Zasada ekranowania fali elektromagnetycznej przy napotkaniu metalu [4].

Zatem na tłumienie ekranu S mają wpływ: współczynnik odbicia (R), współczynnik absorpcji (A) oraz współczynnik korekcyjny, wynikający z wielokrotnego odbicia wewnętrznego w cienkich blachach [4].

3. OCHRONA PRZED NEMP

Podczas wybuchu jądrowego oprócz innych objawów (fala uderzeniowa ciepło itp.) generowany jest również jądrowy impuls elektromagnetyczny (NEMP) o natężeniu rzędu 10000 V/m, (urządzenia elektroniczne wytwarzają pole w zakresie $\mu\text{V/m}$) [1, 4]. Podczas potencjalnych atmosferycznych eksplozji, wytworzone impulsy w wyniku oddziaływania pola magnetycznego Ziemi docierają na jej powierzchnię. Impulsy te swym zasięgiem obejmują duże obszary ze względu na wysokość ekstremalną źródła. Specjalny charakter impulsu może spowodować nie tylko zagłuszanie systemów elektronicznych, ale również może spowodować uszkodzenie podzespołów i urządzeń. Wojskowe systemy muszą być zabezpieczone przed takimi warunkami środowiska.

Metody ochrony to m.in.: ekranowanie oraz montaż odpowiednich układów filtrów elektronicznych na wejściach i wyjściach obwodów elektrycznych. Specjalnie zaprojektowane, trzy etapowe filtry EMI do zastosowań wojskowych, spełniając najwyższe wymagania zapewniając skuteczne tłumienie sygnałów niepożądanych w zakresie od kilku kHz do 5 GHz. Dla EMP NEMP wymagania są spełnione poprzez filtr EMC dodatkowo² z zastosowaniem komór wyładowczych gazowych.

PODSUMOWANIE

Coraz szersze zastosowanie w budowie pojazdów wojskowych oraz technice uzbrojenia podzespołów elektronicznych i elektrycznych wymusza na projektantach zapewnienie poprawnego i bezpiecznego funkcjonowania tych wyrobów.

Jednym z zadań konstruktorów wyrobów do zastosowań militarnych jest zapewnienie poprawnego funkcjonowania wyrobu w warunkach otaczającego środowiska. Działania te sprowadzają się, między innymi, do spełnienia wymagań tzw. kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), tj. zdolności wyrobu elektrycznego lub elektronicznego do działania w środowisku elektromagnetycznym w sposób zadawalający, bez jednoczesnego powodowania zaburzeń elektromagnetycznych, które byłyby niedopuszczalne dla innych urządzeń występujących w tym środowisku.

Wymaga to zminimalizowania do niezbędnego poziomu zakłóceń (spełniających wymogi norm) generowanych przez te urządzenia, jak również ich odporności na zakłócenia, które mogą być wywołane między innymi podczas wyładowań atmosferycznych, wybuchu jądrowego silnych pól magnetycznych itp.

THE TECHNICAL AND LOW ASPECTS OF TESTING OF SUSCEPTIBILITY COMBAT VEHICLE FOR ELECTROMAGNETIC (EMC) INTERFERENCES

Abstract

The military have their own standards that are predictably much more stringent than commercial ones, in part contributing to the vastly inflated cost of military vehicle, equipment and ensuring that the armed forces will never have the cheap and plentiful commercial off-the-shelf equipment they so desperately want. Defense electronics has established and operates Electromagnetic Compatibility (EMC) measurements laboratory, according to NATO and military standards, which provides the capability to test national encryption devices and military electronic equipment designed and manufactured by the company. Services are provided also to other companies that are interested in compliance of their products to the applicable military standards.

BIBLIOGRAFIA

1. PN-T-01030. *Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia.*
2. PN-86/E-06600. *Automatyka i pomiary przemysłowe – Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń. Ogólne wymagania i badania.*
3. PN-IEC 801-4. *Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń do pomiaru i sterowania procesami przemysłowymi. Wymagania dotyczące serii szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych.*
4. Praktyczny Poradnik: *Certyfikat CE w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej.*
5. Spadło S., Łakomicz K., Duś J., *Systemy przeciwlotnicze i obrony powietrznej. Uwarunkowania prawne i techniczne badań odporności urządzeń elektrycznych i elektronicznych na zakłócenia elektromagnetyczne (EMC).* Praca zbiorowa pod red. Cz. Niżankowskiego, Materiały VII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej CRAAS, Olszanica, 2007.
6. STANAG 4157. Development of Safety Test Methods and Procedures for Fuzes for Unguided Tube Launched Projectiles.
7. STANAG 4187. Fuzing systems – Safety Design Requirements.
8. AOP-7. Manual of Tests for the Qualification of Explosive Materials for Military Use.
9. AOP-8. NATO Fuze Characteristics Catalogue.
10. AOP-15. Guidance on the Assessment of the Safety and Suitability for Service of Munitions for NATO Armed Forces.
11. AOP-16. Fuzing Systems – Design Guides.
12. AOAP-110. NATO Quality Assurance Requirements for Design, Development and Production.

Autorzy:

dr hab. inż. **Sławomir Spadło**, prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska

dr hab. inż. **Józef Kuśmierz**, prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska

mgr inż. **Krzysztof Łakomicz**, doktorant – Politechnika Warszawska

mgr **Joanna Duś-Spadło** – Kancelaria Notarialna V. Tomala