

# Problematyka techniczna i prawna konstrukcji urządzeń automatyki zabezpieczeniowej zgodnych z wymaganiami EMC

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wymagania z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej EMC dotyczące emisyjności i odporności dla urządzeń elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej EAZ. Podano najważniejsze normy oraz zalecenia dotyczące konstruowania urządzeń elektronicznych dla automatyki przemysłowej.

**Abstract.** This paper presents the requirements for electromagnetic compatibility EMC emission and immunity for the power protection units. The most important standards and recommendations for designing electronic devices for industrial automation have been presented. (**Technical and law problems for power protection unit compatible with the requirements EMC**)

**Słowa kluczowe:** kompatybilność elektromagnetyczna EMC, normy, urządzenie zabezpieczające

**Key words:** electromagnetic compatibility EMC, standards, power protection unit

doi:10.12915/pe.2014.07.28

## Wstęp

Elektroenergetyczna Automatyka Zabezpieczeniowa (EAZ) obejmuje zespół urządzeń przeznaczonych do kontroli procesów wytwarzania, przesyłania, rozdzielania i użytkowania energii elektrycznej poprzez sterowanie aparaturą łączeniową i zabezpieczenie elementów systemu elektroenergetycznego, rejestrację stanów pracy obiektów oraz wizualizację podstawowych parametrów elektrycznych obiektów systemu elektroenergetycznego. Urządzenia wchodzące w skład tej automatyki pracują w środowisku przemysłowym, dlatego od nich wymaga się wysokiej niezawodności podczas wykonywania zadań w całym okresie eksploatacji, jak i stabilnej pracy niezależnej od środowiska zewnętrznego. Ważną rzeczą są wybiórczość i czułość działania zabezpieczeń, z wbudowanymi algorytmami automatyki, pozwalające na selektywne wyłączanie odcinków linii lub obiektów elektroenergetycznych. Automatyka ta powinna zapewniać również bezpieczeństwo personelu obsługującego, poprzez odpowiednią swoją konstrukcję zgodną z wymaganiami przepisów prawnych i normatywnych dotyczących bezpieczeństwa, kompatybilności elektromagnetycznej dla tego typu urządzeń. Urządzenia tego typu podlegają ocenie zgodności z dyrektywami niskiego napięcia 2006/95/WE (LVD) i kompatybilności elektromagnetycznej 2004/108/WE (EMC) oraz często z dyrektywą dotyczącą urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem 94/9/WE (ATEX). Odpowiednie poziomy zaburzeń, sposoby prowadzenia badań i oceny wyników zostały określone w odpowiednich normach europejskich zharmonizowanych z tymi dyrektywami. W Polsce dyrektywy te wprowadzono odpowiednimi rozporządzeniami i ogłoszono w Dziennikach Ustaw.

## Kompatybilność elektromagnetyczna

Istotną sprawą kompatybilności elektromagnetycznej jest zdolność urządzeń elektrycznych lub elektronicznych do poprawnej pracy w określonym środowisku elektromagnetycznym przez osiągnięcie odpowiedniego poziomu odporności oraz ograniczenie emisji zaburzeń, które mogą zakłócić inne pracujące urządzenia. Przez zaburzenie elektromagnetyczne należy rozumieć każde zjawisko elektryczne, które może pogorszyć działanie urządzenia. Odporność jest zdolnością urządzenia do prawidłowego działania, bez pogarszania jakości, w obecności zakłócenia elektromagnetycznego. Poziomy emisji zaburzeń, jak i odporności na zaburzenia zostały określone w normach

PN-EN 50263:2004 [1], i PN-EN 60255-26:2014 [2]. Urządzenia EAZ są wyposażone w wejścia: pomiarowe, dwustanowe, zasilające oraz wyjścia przekaźnikowe i obwody transmisji, które nazywane są portami. Szczególną rolę odgrywa obudowa, zwykle metalowa, z zaciskiem uziemiającym zwana portem obudowy. Emisja zaburzeń ma miejsce poprzez obudowę, jak i poprzez port zasilający. Procedura badań i kryteria akceptacji dotyczące emisji zostały podane w normach (PN-EN 60255-25 i PN-EN 55022). Odporność na zaburzenia dotyczy wszystkich portów dostępnych w urządzeniu, łącznie z obudową i przewodem uziemiającym.

## Środowisko przemysłowe

Środowisko przemysłowe charakteryzuje się występowaniem co najmniej jednego z następujących warunków:

- zlokalizowane są w nim aparaty przemysłowe, naukowe i medyczne;
- występują częste przełączenia obwodów o dużej indukcyjności lub pojemności;
- natężenia prądów i towarzyszących im pól magnetycznych mają duże wartości.

Te najistotniejsze czynniki przemysłowego środowiska elektromagnetycznego odróżniają środowisko przemysłowe od innych środowisk np. mieszkalnego. Stacje elektroenergetyczne i elektrownie stanowią przykłady środowisk przemysłowych. Jednakże dla aparatów stosowanych w stacjach rozdzielczych i elektrowniach mogą być wymagane wyższe poziomy badań odpornościowych niż te określone w normach. Dotyczy to głównie modernizowanych starszych stacji rozdzielczych, gdzie modernizacja polega na wymianie urządzeń EAZ.

## Urządzenia EAZ

Przykładem tego typu urządzeń są urządzenia z rodziny MUPASZ i MIZAS opracowane i wdrożone do elektroenergetyki przemysłowej przez Instytut Tele- i Radiotechniczny. Urządzenia te są przeznaczone do pracy w charakterze wielofunkcyjnych sterowników polowych w sieciach SN z uziemionym lub izolowanym punktem neutralnym oraz w sieciach kompensowanych. Integrują w sobie funkcje: pomiarów, zabezpieczeń, automatyki, rejestratora zdarzeń, rejestratora zakłóceń, analizatora jakości energii, komunikacji i samokontroli.

Urządzenia te przeznaczone są do pracy w polach rozdzielczych: zasilających, łącznika szyn, pomiarowych,

odpływowych, silnikowych, transformatorowych, baterii kondensatorów.

Przedstawione urządzenia EAZ chronią obiekty elektroenergetycznych między innymi: linie kablowe i napowietrzne, stacje transformatorowe, silniki i baterie kondensatorów. Urządzenia te stanowią kompleksowe rozwiązanie dla nowoczesnych rozdzielnic SN zintegrowanych z systemami SCADA. Dzięki swojej uniwersalności pozwalają również na realizację rozwiązań niestandardowych oraz zastosowanie w modernizowanych stacjach energetycznych.

### Źródła zaburzeń EMC dla urządzeń EAZ

Urządzenia elektryczne, nawet podczas normalnej pracy oraz zjawiska naturalne związane np. z wyładowaniami występującymi podczas burz lub związane z wyładowaniami elektrostatycznymi zawsze wytwarzają zaburzenia elektromagnetyczne. Powinno się dążyć do minimalizowania zaburzeń emitowanych przez źródła, aby nie przekraczać poziomu dopuszczonego dla innych urządzeń. Źródłami zaburzeń elektromagnetycznych dla urządzeń EAZ są:

- procesy łączeniowe związane z łączeniem obwodów prądowych, jak i załączeniem napięcia na szyny zbiorcze,
- uloty na liniach i szynach, izolatorach, przepustach,
- rozplwy prądów ziemnozwarciowych o częstotliwości sieciowej,
- wyładowania elektrostatyczne związane z obsługą urządzenia przez operatora,
- zjawiska naturalnych wyładowań elektrycznych występujące podczas burz.

### Rodzaje sprzężeń źródeł zaburzeń z urządzeniami EAZ

Wnikanie zaburzeń elektromagnetycznych do urządzeń EAZ odbywa się wieloma kanałami np. poprzez sprzężenia:

- polowe poprzez obudowę - niskoczęstotliwościowe pola elektryczne i magnetyczne, ,
- pojemnościowe – oddziaływanie pojemnościowe pomiędzy elementami i przewodami,
- indukcyjne,
- związane z przewodzeniem.

### Odporność urządzeń EAZ na zaburzenia

Odporność na zaburzenia dotyczy wszystkich wejść i wyjść dostępnych w urządzeniu łącznie z obudową i przewodem uzimającym. Miejsca wnikania zaburzeń do urządzeń EAZ zostały przedstawione w normie PN-EN 50263:2004 [1]. Aparaty z rodziny urządzeń EAZ przeznaczone do pomiarów, automatyki, sterowania i zabezpieczeń pola rozdzielni SN można opisać za pomocą portów funkcjonalnych przedstawionych na rysunku 1.

Na rysunku 1 i w przytoczonych normach mają zastosowanie następujące definicje:

- Aparatem jest przekaźnik pomiarowy lub urządzenie zabezpieczeniowe przeznaczone dla elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, łącznie z urządzeniami sterowania, nadzoru i sprzężenia z obiektem.
- Portem nazywamy określony interfejs między aparatem, a zewnętrznym środowiskiem elektromagnetycznym .
- Portem komunikacyjnym jest interfejs do telekomunikacji lub systemu sterowania, wykorzystujący sygnały o niskim poziomie energii, podłączony na stałe do aparatu.
- Portem dostępu przez obudowę jest fizyczna granica aparatu, przez którą może promieniować na zewnątrz lub może wnikać pole elektromagnetyczne.
- Portem uzimienia funkcjonalnego jest zacisk aparatu, który jest połączony z ziemią w celu innym niż zapewnienie bezpieczeństwa przeciwporażeniowego.

- Portem wejściowym jest element, poprzez który aparat jest zasilany lub sterowany w celu wykonywania swojej funkcji, np.: przekaźnik prądowy lub napięciowy, wejścia binarne itp.
  - Portem wyjściowym jest element, poprzez który aparat wywołuje określone zmiany, np. zestyk, transoptor, wyjście analogowe itp.
  - Portem zasilania pomocniczego jest wejście służące do doprowadzenia do aparatu zasilania pomocniczego prądu przemiennego (AC) lub prądu stałego (DC).
- Zbiór obowiązujących norm przedstawiono w tabeli 1.

Port zasilania pomocniczego	Aparat (Urządzenie EAZ)	Port wyjściowy
Port dostępu przez obudowę		Port wejściowy
Port uzimienia funkcjonalnego		Port komunikacyjny

Rys. 1. Porty przekaźników pomiarowych i urządzeń zabezpieczeniowych

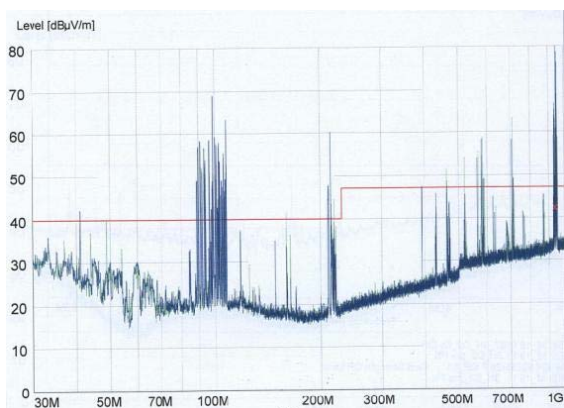
Tabela 1. Zbiór obowiązujących norm dotyczących odporności na zaburzenia dla urządzeń EAZ

Rodzaj zaburzenia	obudowa	Przewód uzimający	Wejście zasilania pomocniczego	Łąca komunikacyjne	Wejścia, wyjścia (w tym tory pomiarowe)
Promieniowane pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej PN-EN 60255-22-3, PN-EN 61000-4-3	X	X			
Wyładowania elektrostatyczne PN-EN 60255-22-2, PN-EN 61000-4-2	X				
Pole magnetyczne o częstotliwości sieciowej PN-EN 61000-4-8	X				
Zaburzenia przewodzone indukowane przez pola o częstotliwości radiowej PN-EN 60255-22-6, PN-EN 61000-4-6		X	X	X	X
Szybkochodne zaburzenia przejściowe, PN-EN 60255-22-4, PN-EN 61000-4-4			X	X	X
Przebieg oscylacyjny 1MHz PN-EN 60255-22-1, PN-EN 61000-4-12			X	X	X
Udar PN-EN 60255-22-5, PN-EN 61000-4-5			X	X	X
Przerwa w zasilaniu napięciem AC i DC PN-EN 60255-11, PN-EN 61000-4-11, PN-EN 61000-4-29			X		
Zaburzenia o częstotliwości sieciowej (dotyczą tylko wejść dwustanowych) PN-EN 60255-22-7, PN-EN 61000-4-16					X

## Emisja zaburzeń przez urządzenia EAZ

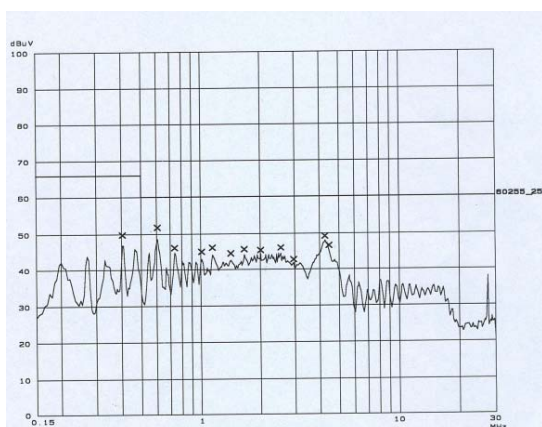
Emisja zaburzeń jest jednym z podstawowych zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej. Wymagania dotyczące emisji przekaźników pomiarowych i urządzeń zabezpieczeniowych przedstawiono w normach [2], [3].

Przedmiotem tych norm są dopuszczalne poziomy i metody badań aparatów pod względem emisji zaburzeń elektromagnetycznych, mogących oddziaływać na inne aparaty. Dopuszczalne poziomy emisji stanowią podstawowe wymagania w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej i są tak dobrane, aby zaburzenia wytwarzane przez urządzenia pracujące w obiektach elektroenergetycznych (typowe środowisko przemysłowe) nie przekroczyły poziomu, który mógłby spowodować niewłaściwe działanie innych urządzeń. Przełączniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczeniowe powinny spełniać wymagania w zakresie dopuszczalnych poziomów emitowanych zaburzeń przewodzonych oraz wymagania w zakresie dopuszczalnych poziomów emitowanych zaburzeń promieniowanych. Wartości mierzone powinny znajdować się poniżej poziomów przedstawionych w normach. Na rysunku 2 przedstawiono przykładową emisję zaburzeń promieniowanych przez obudowę urządzenia EAZ w zakresie 30MHz – 1GHz.



Rys. 2. Przykład emisji zaburzeń promieniowanych przez obudowę

Na rysunku 3 przedstawiono przykładową emisję zaburzeń przewodzonych przez port zasilania pomocniczego dla urządzenia zabezpieczeniowego w zakresie 150kHz – 30MHz.



Rys. 3. Przykład emisji zaburzeń przewodzonych przez wejście zasilania pomocniczego

## Rola EMC instalacji ziemi i masy [4]

Rolą instalacji ziemi jest zamknięcie obwodu dla sygnałów wspólnych, docierających z zewnątrz do pomieszczenia, w którym znajduje się wrażliwa aparatura, a rolą instalacji

masy jest zapewnienie jednakowego potencjału na obudowach metalowych wszystkich urządzeń oraz zamknięcie obwodów dla sygnałów wspólnych powstających w pomieszczeniu. Instalacja masy powinna być wykonana jako:

- połączenie w gwiazdę, zwane także połączeniem równoległym,
- przyłączenie do najbliższego przewodu instalacji masy, zwane także połączeniem szeregowym,
- przyłączenie najkrótsze do masy najbliższej,
- masa oczkowa.

Istnieje ścisły związek między długością połączenia, a zakresem częstotliwości dla którego instalacja spełnia dobrze swoją rolę. Instalacja oczkowa umożliwia minimalizację długości przewodów.

## Bezpieczna i zgodna z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej instalacja urządzeń EAZ

Urządzenie EAZ powinno mieć metalową obudowę z niezależnym i opisanym zaciskiem PE, który połączony jest bezpośrednio poprzez instalację masy do instalacji ziemi zakopanej w gruncie. W przypadku urządzeń EAZ instalacja uziemiająca bezpieczeństwa (earth of protection) i instalacja uziemiająca odciążająca (earth of EMI). EMI – ElectroMagnetic Interference) mają zwykle ten sam zacisk. Instalacja ta składa się z przewodów łączących obudowy metalowe wszystkich urządzeń w danej rozdzielni i wszystkich elementów przewodzących z punktem lub punktami o potencjale zerowym. Taka instalacja masy zapewnia bezpieczeństwo obsługi w przypadku osłabienia lub przebicia izolacji i zamyka obwody zakłóceń wspólnych, znajdujących się w pomieszczeniu, bez sprzężeń pomiędzy urządzeniami. Zapewnia również wyrównanie potencjałów wszystkich urządzeń i sprowadzenie go do jednego potencjału odniesienia instalacji ziemi. Dla sygnałów o częstotliwości powyżej 100 kHz, impedancja uziemiająca wynika z indukcyjności i jedynym sposobem zmniejszenia impedancji przewodów instalacji masy jest zmniejszenie ich długości poprzez stosowanie dodatkowych równoległych przewodów. Przewody dodatkowe powinny być jak najkrótsze i wykonane z płaskich plecionek, gwarantujące dobrą ekwipotencjalność masy dla wszystkich częstotliwości. Instalacja ta:

- zabezpiecza personel obsługujący przed porażeniem w przypadku awarii,
- zabezpiecza przed skutkami wyładowań elektrostatycznych,
- zmniejsza zakłócenia spowodowane sygnałami wspólnymi,
- zabezpiecza przed skutkami zaburzeń piorunowych,
- jest linią powrotną dla filtrów kompatybilnościowych.

## Konstrukcja urządzeń zabezpieczeniowych

Aby spełnić podstawowe wymagania stawiane urządzeniom EAZ urządzenia konstrukcyjnie dzieli się na bloki funkcjonalne zakończone złączami do komunikacji z otoczeniem.

Blok mikroprocesorowy stanowi wewnętrzną część urządzenia i nadzoruje jego pracę. Blok ten nie zawiera żadnych obwodów połączonych galwanicznie z obwodami zewnętrznymi. Wszystkie sygnały elektryczne z innych bloków doprowadzone są za pośrednictwem filtrów RC. Wbudowany przetwornik A/C przetwarza analogowe sygnały pomiarowe na postać cyfrową, z których za pomocą procesora sygnałowego są obliczane poszczególne harmoniczne sygnału, jak i współczynnik zawartości harmonicznych THD.

Wejścia pomiarowe mają separację galwaniczną obwodów zapewnioną za pomocą przekładników. W torze

pomiarowym znajdują się układy elektroniczne dostosowujące sygnały z przekładników prądowych i napięciowych do poziomu wejścia przetwornika A/C.

Układy wejściowe charakteryzują się histerezą przełączania i transoptorową separacją galwaniczną.

Wyjścia przekaźnikowe pozwalają na sterowanie urządzeniami zewnętrznymi zgodnie z wykonywanym programem. Separacja galwaniczna obwodów zapewniona jest za pomocą przekaźników elektromechanicznych.

Zasilacz dostarcza niezbędnej energii elektrycznej potrzebnej do zasilania urządzenia. Izolację galwaniczną między obwodami zewnętrznymi i wewnętrznymi uzyskano poprzez transformator przetwornicy. Odporność na zakłócenia zapewniają odpowiednio wbudowane filtry przeciwzakłóceń.

Każde z urządzeń EAZ może być wyposażone w moduł komunikacyjny współpracujący z systemami nadrzędnymi różnych producentów. Do komunikacji stosuje się modemy światłowodowe lub modemy komunikacyjne z izolacją transoptorową typu RS232 i RS485.

### Zalecenia dotyczące konstruowania urządzeń elektronicznych [5], [6]

Masa obwodów elektronicznych:

- Masa elektroniczna powinna być wykonana w postaci miedzianej płaszczyzny.
- Masa mechaniczna powinna być elektrycznie połączona z instalacją masy i obudową.
- Masa o niskiej impedancji dla w.cz. powinna być wykonana w formie płaszczyzny.
- Połączenie masy układu do zasilania powinno być wykonane jak najbliżej wyjścia bloku zasilania.

Układy analogowo- cyfrowe:

- W przypadku występowania układów analogowych i cyfrowych istnieje konieczność stosowania dwóch mas: analogowej i cyfrowej.
- Masy analogowa i cyfrowa powinny być połączone ze sobą przy przetworniku A/C lub C/A.
- Zasilanie układów powinno być rozwiązane tak, aby część analogowa znajdowała się za częścią cyfrową.
- Część cyfrowa powinna być łączona z masą mechaniczną jak najczęściej, w przypadku urządzeń EAZ to połączenie wykonuje się za pomocą wysokonapięciowych kondensatorów blokujących.
- Część analogowa powinna być połączona z masą mechaniczną w jednym miejscu ew. przy połączeniu z częścią cyfrową.

Układy cyfrowe:

- Masa elektroniczna układu cyfrowego powinna być wykonana w postaci płaszczyzny lub kraty o małych oczkach.
- Połączenia układu z obudową metalową powinny być wykonane poprzez wysokonapięciowe kondensatory blokujące.
- Część cyfrowa powinna mieć dobrze filtrowane zasilanie poprzez kondensator o pojemności rzędu 100µF oraz wiele kondensatorów w.cz. o małej pojemności łączących zasilanie z płaszczyzną masy. Kondensatory te powinny zapewnić filtrowanie wszystkich obwodów układu.

Układy analogowe

- Masa układu analogowego powinna być wykonana jako płaszczyzna miedziana.
- Połączenie masy elektronicznej z obudową zaleca się wykonać w jednym miejscu, najlepiej jak najbliżej

zasilania i miejsca połączenia pierwszego kondensatora poprzez wysokonapięciowy kondensator blokujący.

- Zasilanie powinno być rozłożone od elementów z najmniejszymi sygnałami do elementów z sygnałami największymi i być symetrycznie filtrowane filtrami R-C lub L-C.
- Źródło napięcia referencyjnego będące odniesieniem do mierzonych wielkości w swoim obwodzie musi mieć kondensatory blokujące, aby uniknąć oddziaływania między mierzonymi sygnałami.

### Podsumowanie

Wszystkie urządzenia należące do elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej EAZ powinny, już na etapie projektu, być odpowiednio przystosowane do pracy w określonym środowisku elektromagnetycznym. Od urządzeń tych wymaga się zgodności z dyrektywą kompatybilności elektromagnetycznej, jak również z innymi obowiązującymi dyrektywami. Urządzenia poprzez wejście zasilające oraz inne porty zewnętrzne wprowadzają zaburzenia elektromagnetyczne do sieci i następnie wypromieniowują te zaburzenia poprzez obudowę. Wartość tych zaburzeń powinna być kontrolowana tak, aby nie przekraczały dopuszczalnych przez obowiązujące normy poziomów. Poziom emisji ma bezpośredni związek z czystością środowiska elektromagnetycznego i warunków pracy innych urządzeń elektronicznych. Aby zmniejszyć poziom emisji zaburzeń z urządzenia, jak i zwiększyć jego odporność na zaburzenia z zewnątrz należy projektować i montować urządzenia zgodnie z ustalonymi zasadami. Ważną rolę w kompatybilności elektromagnetycznej odgrywa port uziemienia funkcjonalnego, który powinien być podłączony jak najkrótszym przewodem, najlepiej w formie plecionki do instalacji masy. Dbałość o zasady kompatybilności elektromagnetycznej począwszy od projektu poprzez wykonanie i montaż zapewnia długotrwałą bezawaryjną pracę wielu urządzeń, w tym również urządzeń zabezpieczeniowych EAZ.

### LITERATURA

- [1] PN-EN 60263:2004 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Norma wyrobu dotycząca przekaźników pomiarowych i urządzeń zabezpieczeniowych
- [2] PN-EN 60255-26:2014 Przekładniki energoelektryczne - Część 26: Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej przekaźników pomiarowych i urządzeń zabezpieczeniowych.
- [3] PN-EN 60255-25:2002 Przekładniki energoelektryczne - Część 25: Badanie zaburzeń elektromagnetycznych emitowanych przez przekaźniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczeniowe.
- [4] Chudorliński J., Wlazło P. Badanie i analiza emisyjności urządzeń EAZ w zakresie dyrektywy EMC *Elektronika* (2009) n.7
- [5] Koszmider A. Katedra Elektrotechniki Ogólnej i Przekładników „Kompatybilność Elektromagnetyczna EMC matel.p.lodz.pl/wee/k23/wyklad/w.13-masa.doc
- [6] Charoy A. Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych tom 1-4 WNT Warszawa (2000)

**Autor:** mgr inż. Jerzy Chudorliński Instytut Tele- i Radiotechniczny, Centrum Teleinformatyki i Elektroniki CA Zakład Elektronicznych Systemów Elektroenergetycznych A1, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa. E-mail: jerzy.chudorlinski@itr.org.pl