

mgr inż. CZESŁAW GODZISZ

Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów MERA-PIAP

Warszawa

## KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA URZĄDZEŃ SPRZĘŻENIA Z OBIEKTEM

*Na przykładzie urządzeń sprzężenia z obiektem (USO) przedstawiono wymagania techniczne dotyczące urządzeń automatyki i pomiarów w zakresie KEM. Wymagania sformułowano na podstawie międzynarodowych dokumentów normalizacyjnych, doświadczeń MERA PIAP i projektu polskiej normy (PN-86/E-06600 „Automatyka i pomiary przemysłowe. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń, ogólne wymagania i badania).*

*Omówiono metody kontroli tych wymagań, ogólne zalecenia konstruowania urządzeń o podwyższonej odporności.*

### 1. Wstęp

Pod pojęciem kompatybilności elektromagnetycznej (KEM) rozumie się zdolność urządzenia do poprawnej pracy w określonym (przez miejsce zainstalowania) środowisku elektromagnetycznym bez wprowadzania niedopuszczalnych zakłóceń elektromagnetycznych do tego środowiska lub innych urządzeń (systemów) istniejących w tym środowisku.

Osiągnięcie stanu KEM dla USO, stanu niezakłóconego współistnienia USO w środowisku, jest istotnym wymaganiem technicznym. Wymaganie to wynika z następujących faktów:

- a) wzrasta zakres zastosowań USO. Zastosowania wymagają wysokiej niezawodności i pewności eksploatacyjnej urządzeń, ponieważ błędne działanie wiąże się ze stratami ekonomicznymi, często zagrożeniem dla ludzi i otoczenia;
- b) urządzenia USO są instalowane coraz bliżej urządzeń technologicznych, a często są do nich wbudowywane. Urządzenia technologiczne wykorzystują coraz wyższe poziomy sygnałów roboczych, z czym wiąże się wzrost poziomów sygnałów niepożądanych (zakłócających) towarzyszących podczas normalnej pracy tych urządzeń. Wzrasta liczba torów pomiarowych i sterowniczych przyłączanych do USO, co sprzyja rozprzestrzenianiu zakłóceń.  
Urządzenia USO są narażone na oddziaływanie elektromagnetyczne licznych źródeł zakłóceń (tabl. 1) o różnym charakterze i poziomie. Mogą to być źródła pochodzące od urządzeń technologicznych lub zjawisk fizycznych związanych z obsługą (np. wyładowanie ładunku elektryczności statycznej nagromadzonego na ciele operatora), a także źródła pochodzące od zjawisk fizycznych odległych (np. wyładowanie atmosferyczne na system energetyczny, praca stacji nadawczych radiowych i telewizyjnych);
- c) podstawowa baza elementowa stosowana w USO wykorzystuje coraz niższe poziomy sygnałów roboczych i coraz szersze pasmo częstotliwości, wzrasta czułość i dynamika elementów.

Zakłócenia elektromagnetyczne i oddziaływanie zakłóceń na USO

Lp.	Środowisko		Typowe źródło zakłóceń	Oddziaływanie na obwody			Typowe objawy zakłócenia się urządzeń
	Charakter zakłóceń i umowny sygnał zakłócający wg *)	zasilenia i uzziemienia		interfejsowe we/wy	na obwodów		
1	Impulsowe nanosekundowe, pojedyncze impulsy i serie, impulsy o małej energii (0,1J) seria impulsów 9/50 ns 0,25 kV ± 4 kV (50Ω)	Komutacja obwodów iskrazymi zestykami w obwodach sieci i sterowania	N	E N	E	Przekłamanie bitów informacji (danych niekontrolowane przeskoki w realizacji programu, przekłamania w transmisji informacji)	
2	Impulsowe oscylacyjne tłumione pojedyncze impulsy o małej energii (0,1J) impuls 1 MHz/6 μs 0,5 kV ÷ 2,5 kV (50Ω)	i. w. komutacja obwodów z pojemnościami i linii energetycznych	N S	E N	E	Uszkodzenia pojedynczych elementów	
3	Impulsowe dużej energii do 40 J pojedyncze impulsy impuls 1,2/50 μs do 3 kV impuls 8/20 μs do 0,6 kA	Wyładowanie atmosferyczne, krótkotrwałe zwarcia, komutacja obwodów z indukcyjnościami	S N	M S	M	Zmiana i zatarcia danych, uszkodzenia elementów, wyłączenie urządzenia	
4	Impulsowe b. dużej energii powyżej 40 J i. w. lub wg norm przedmiotowych	Bezpośrednie wyładowanie atmosferyczne, wyłączenie obciążień o dużej indukcyjności	S N	M	M	Uszkodzenia elementów i układów oraz j. w.	
5	Zakłócenia ciągłe sinusoidalne wąskopasmowe w zakresie 30 Hz do 1 GHz w tym o częstotliwości sieci i jej harmonicznych 30 Hz do 10 kHz i częstotliwości radiowych powyżej 10 kHz	Sieć energetyczna, nieliniowe obciążenia, niesymetria obciążień faz, sterowniki mocy i przetworniki energii, emisja RTV, radar	S N	S 30 MHz N	E R M 50 kHz	Zmiana danych, wzrost temperatury urządzeń, wyłączenie urządzenia, błędy dodatkowe pomiarów	
6	Zakłócenia ciągłe niesinusoidalne, sygnał umowny ustala norma przedt.	Specjalne źródła	wg indywidualnej analizy			j. w.	
7	Dynamiczne zmiany napięcia zasilania, krótkotrwałe obniżenie napięcia, zanik napięcia, podwyższenie napięcia	Włączenie i wyłączenie obciążień, rozruch silników dużej mocy, zwarcia i wyłączenie zwarć	S	-	-	Zmiana i zatarcia danych, przegrzanie urządzeń, uszkodzenie dysków, wyłączenia urządzenia	
8	Wyładowanie elektryczności statycznej ESD	Gromadzenie ładunku na ciele operators	od prądu wyładowania			E	jak dla poz. 1 oraz utrata programów, uszkodzenia

\*) wg PN-85/E-066600

S, N – zakłócenia przewodzone składowe symetryczne i niesymetryczne; E, M – zakłócenia od bliskich pól elektrycznego (sprzężenie pojemnościowe) i magnetycznego (sprzężenie indukcyjne, magnetyczne); R – zakłócenie od dalekich pól (propagacja fal).

Niepożądanym sygnałem zakłócającym może być sygnał prądu stałego, sygnał wąskopasmowy w zakresie małych lub wielkich częstotliwości, pojedynczy impuls (sygnał szerokopasmowy). Przykładowo poziom tych niepożądanych sygnałów wynika z rozdzielczości przetwornika a/c lub charakterystyk statycznych i dynamicznych stosowanych bramek logicznych.

Niepożądane oddziaływanie zakłóceń EM występuje przy obecności trzech „elementów”

- źródła zakłócenia (środowiska EM) określonego charakterem, poziomem i częstością wytwarzanych zakłóceń EM,
- układu lub obwodu urządzenia wrażliwego na zakłócenia źródła,
- toru przenoszącego zakłócenia od źródła do rozpatrywanego układu (obwodu) urządzenia o takim poziomie, że powoduje on niepożądane (błędne) działanie układu (urządzenia).

Zakłócenia rozprzestrzeniają się przez:

- przewodzenie - bezpośrednie połączenie przewodem lub wspólną impedancją obwodu źródła zakłóceń i obwodu urządzenia;
- promieniowanie rozpatrywane: dla bliskich pól elektrycznych lub magnetycznych jako sprzężenie pojemnościowe lub indukcyjne między obwodami; dla dalekich pól elektromagnetycznych jako propagacja fali elektromagnetycznej;
- oraz przez kombinację wyżej wymienionych.

Strefa bliskich i dalekich pól jest określana przez częstotliwość zakłóceń emitowanych przez źródło i wymiar źródła.

Zakłócenia EM środowiska oddziałują na USO i ich wewnętrzne układy przez:

- obwody zasilania,
- obwody uziemienia,
- obwody interfejsowe we/wy,
- obudowę urządzenia.

W wyniku oddziaływania zakłóceń w obwodach zewnętrznych występują sygnały zakłócające, które mogą być rozpatrywane jako składowe symetryczne i niesymetryczne zakłócenia. Układy wewnętrzne są również narażone na zakłócające pole elektromagnetyczne przenikające przez obudowę (tabl. 1). Charakter występujących zakłóceń jest określony przez źródło zakłóceń, zaś ich poziom przez poziom zakłóceń wytwarzanych przez źródło oraz skuteczność toru przenoszącego zakłócenia źródła do zakłócanego obwodu.

Powyższe stwierdzenia wskazują na konieczność przeprowadzania indywidualnych analiz oddziaływania poszczególnych źródeł zakłóceń na obwody urządzenia z uwzględnieniem właściwości toru przenoszącego zakłócenia. Określają one również ogólne zasady osiągania pożądanego stanu KEM (walki z zakłóceniami). W uproszczeniu sprowadzają się do następujących działań:

- redukcja poziomu zakłóceń wytwarzanych przez źródło (działania obejmują urządzenia technologiczne i energetyczne obiektu),
- zmniejszanie przenoszenia zakłóceń od źródła do obwodu urządzenia (działania dotyczą instalacji obiektowej, wyboru miejsca instalowania USO, tras i rodzajów kabla),
- podwyższanie odporności obwodu urządzenia na zakłócenia (działania dotyczą USO).

### 1. 1. Punkty pomiarowe KEM dla USO

Za umowną granicę pomiędzy USO a środowiskiem, dla potrzeb KEM, przyjmuje się zaciski, złącza lub wtyczki kabli wszystkich obwodów zewnętrznych przyłączanych do USO oraz zewnętrzną powierzchnię obudowy lub punkty leżące w określonej odległości od niej. Granica ta jest akceptowana przez producenta i użytkownika USO, jest również stosowana przy podziale systemu na część

Tablica 2

Punkty pomiarowe KEM dla USO

Rodzaj obwodu urządzenia USO	Punkty pomiarowe KEM dla USO
Obwód zasilania	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zaciski i złącza przyłącza obwodu zasilania</li> <li>– wtyki i wtyczki kabla przyłączeniowego, jeżeli producent dostarcza urządzenie z nieodłączalnym kablem zasilania</li> </ul>
Obwód uziemienia	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zacisk uziemiający (ochronny)</li> <li>– przewód uziemiający (ochronny), jeżeli producent dostarcza urządzenie z nieodłączalnym przewodem</li> </ul>
Obwód interfejsowy we/wy	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zaciski i złącza interfejsowe</li> <li>– wtyki i wtyczki kabla interfejsowego, jeżeli producent dostarcza urządzenie z nieodłączalnym kablem interfejsowym</li> <li>– kable i przewody interfejsowe</li> <li>– ekrany kabli interfejsowych</li> </ul>
Urządzenie (jako całość)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– powierzchnie zewnętrzne obudowy</li> <li>– elementy manipulacyjne i części urządzenia dostępne dla obsługi w czasie normalnej eksploatacji lub napraw i konserwacji</li> <li>– punkty umowne w określonej odległości pomiarowej od obudowy urządzenia</li> </ul>

Tablica 3

Wykonania USO

Wykonanie USO			Środowisko	
Symbol wykon.	Poziom odporności	Dopuszczalny poziom emisji	Poziom zakłóceń środowiska	Przykładowe środowisko
W1	normalne	według norm przedmiotowych	bardzo niski	pomieszczenie ośrodków komputerowych
			niski	pomieszczenie dyspozytorskie
W2	podwyższonej odporności		średni	pomieszczenie przemysłowe
W3	wysokiej odporności		wysoki	lokalnie w pomieszczeniu przemysłowym i na zewnątrz pomieszczeń
W4	specjalne uzgodnione między użytkownikiem a producentem		specjalny	lokalnie dla specjalnych procesów technologicznych

obiektem i USO. Fizycznie punkty tej granicy stanowią umowne punkty pomiarowe dla KEM (tabl. 2).

W umownych punktach pomiarowych USO przy zastosowaniu odpowiedniej metody wykonuje się następujące pomiary KEM:

- zakłóceń emitowanych przez USO do środowiska,
- wpływu zakłóceń środowiska na USO przez pomiar poziomów podatności, odporności i wytrzymałości USO na umowne sygnały zakłócające.

## 1. 2. Wykonania USO uwzględniające wymagania KEM

Miejsca użytkowania USO powinny być określone poziomem i charakterem zakłóceń elektromagnetycznych, które mogą tam wystąpić od źródeł zakłóceń.

Do czasu pełnego rozpoznania środowisk w dziedzinie elektromagnetycznej i ich klasyfikacji wprowadza się jakościowy podział środowisk (tabl. 3). Podział jest dokonany przy uwzględnieniu przeciętnych warunków środowiskowych i spotykanych w praktyce wykonaniach instalacji obwodów z wewnętrznych USO i obwodów technologicznych.

Wymagania KEM na USO ustala się przez wprowadzenie wykonawców (tabl. 3) zależnych od poziomu odporności urządzenia na zakłócenia umowne i dopuszczalnego poziomu zakłóceń emitowanych przez USO do środowiska (otoczenia).

## 2. Wymagania

### 2. 1. Dopuszczalne poziomy zakłóceń emitowanych przez USO

Zakłócenia emitowane (wytwarzane) przez USO powinny być ograniczone do poziomów tolerowanych przez środowisko i przez urządzenia współpracujące.

Norma przedmiotowa powinna ustalić dopuszczalne poziomy zakłóceń emitowanych dla poszczególnych punktów pomiarowych, podać oznaczenie metody pomiaru, warunki pracy USO w czasie badań, warunki pomiarów.

Wybrany zakres wymagań z tablicy 4 powinien dotyczyć charakteru zakłóceń istotnych dla środowiska i emitowanych przez USO w miejscu pracy. Zaleca się, aby zakres wymagań, poziomy dopuszczalne, metody i warunki pomiaru były uzgodnione między użytkownikiem i producentem USO.

### 2. 2. Odporność i wytrzymałość USO na zakłócenia

Urządzenie sprzężenie z obiektem powinno być odporne i wytrzymałe na oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych środowiska w miejscu użytkowania. Norma przedmiotowa powinna ustalić zakres wymagań (wg tabl. 5), poziomy odporności i wytrzymałości dla poszczególnych punktów pomiarowych USO i umownych zakłóceń oraz metody i warunki pomiaru.

Wymaganie powinno zawierać:

- wartość poziomu odporności (wytrzymałości),
- oznaczenia umownego sygnału zakłócającego,
- oznaczenie metody symulacji,
- warunki pracy USO w czasie badań,

## Dopuszczalne poziomy zakłóceń emitowanych przez USO

Lp.	Wymagania	Dopuszczalny poziom wg:	Metoda pomiaru <sup>1)</sup>
1	Poziom zakłóceń radioelektrycznych: a) w obwodzie zasilania <sup>*)</sup>	PN-69/E-02031	EN51 ES51
	b) promieniowanych do otoczenia <sup>*)</sup> c) w obwodzie interfejsowym (jeżeli obwody są wprowadzane do stref chronionych)	lub X	ER51 EN51 ES51
2	a) w obwodzie zasilania i uziemienia przy komutacji obwodu zasilania (jeżeli urządzenie pracuje w zestawach o wspólnych obwodach zasilania)	500 V lub X	EN10
	b) emitowanych bliskim polem elektrycznym (jeżeli urządzenie przeznaczone jest do wbudowywania, lub użytkowane blisko urządzenia o niskiej odporności)	X	EE10
3	Przetężenie prądu włączenia zasilania (jeżeli urządzenie pracuje w zestawach o wspólnych obwodach zasilania)	X	X
4	Poziom zakłóceń wąskopasmowych sinusoidalnych emitowanych bliskim polem magnetycznym (jak p. 2b) (od 30 Hz do 50 kHz)	X	EM51

X – dopuszczalny poziom zakłóceń określa norma przedmiotowa

\*) – wymaganie podlega obowiązkowemu sprawdzeniu dla wszystkich USO

1) – oznaczenie metod wg PN-86/E-06600

- kryteria oceny objawów zakłóceń,
- warunki pomiaru.

Wymagania powinny dotyczyć charakteru zakłóceń dominujących w miejscu użytkowania USO, których oddziaływanie na punkty pomiarowe USO ma istotny wpływ na jego poprawną pracę. Powinny być one ustalone na podstawie:

- identyfikacji źródeł i pomiarów zakłóceń w miejscu użytkowania przed zaistalowaniem,
- oszacowania poziomu zakłóceń oddziałujących na USO przy uwzględnieniu właściwości źródeł zakłóceń i USO oraz warunków rozprzestrzeniania zakłóceń przez instalację obiektową,
- wymaganej niezawodności eksploatacyjnej, zagrożeń, strat ekonomicznych spowodowanych błędnym działaniem USO z powodu zakłóceń,
- możliwości i kosztów wprowadzenia dodatkowych zewnętrznych środków ochrony,
- zalecanych w tabl. 5 poziomów odpowiednich do wykonania USO i klasyfikacji środowiska (tabl. 3).

Tablica 5

Poziomy odporności i wytrzymałości na zakłócenia

Lp.	Wymaganie	Obwód USO	Wykonanie USO				Metoda symulacji
			W1	W2	W3	W4	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<b>ODPORNOŚĆ</b> na zakłócenia: — impulsowe — nanosekundowe 5/50 ns	Z*) I*) O 1)	1 kV 0,5 kV 1 kV	2 kV 1 kV 2 kV	4 kV 2 kV 4 kV,	X X X	SN10 SE10, SN10 <sup>2)</sup> ES10
2	— impulsowe — oscylacyjne — tłumione 1 MHz/6 μs	Z I O	1 kV - 0,5 kV —	1,5 kV 1 kV —	2,5 kV 1,5 kV —	X X —	SN20, SS20 SE20, SN20 <sup>2)</sup> —
3	— impulsowe — dużej energii 1,2/50 μs energię impulsu określa norma przedm. (0,1 ÷ 40 J)	Z*) I*) O	1 kV 0,5 kV X	2 kV 1 kV X	3 kV 2 kV X	X X X	SN30, SS30 SM30, SS30 <sup>2)</sup> SN30 <sup>2)</sup> SM30
4	Impulsowe bardzo dużej energii; energię i sygnał określa norma przedm. (energia powyżej 40 J)	Z <sup>3)</sup> -	—	X	X	X	SS30, SN30
5	ciągłe sinusoidalne a) o częstotliwości sieci b) o częstotliwości: do 10 kHz, zakres częstotliwości ustala norma przedmiotowa	Z*) I*) O	— 10 A 100 V X	— 20 A 250 V X	— 40 A 500 V X	— X X X	SM50 SN50, SS50 <sup>2)</sup> SM50
							SN51, SS51 SN51, SS51 X

zalecane poziomy 5, 10, 20% napięcia znamionowego sygnału

Ciąg dalszy tablicy 5

1	2	3	4	5	6	7	8
	c) o częstotliwościach powyżej 10 kHz (radiowych), zakres ustala norma przedmiotowa	Z	X	X	X	X	SN51, SS51
		I	X	X	X	X	SN51, SS51
		-0*)	X	X	X	X	SS52 kable w ekranach
		0 <sup>1)</sup>	X	X	X	X	SR51
6	ciągłe niesinusoidalne, sygnał wg normy przedmiotowej	X	-	-	-	X	SN51, SS51
7	dynamiczne zmiany napięcia zasilania a) zanik napięcia zasilania b) obniżenia napięcia zasilania	Z*)	Un/0 0,85 Un/0	20 ms 10 ms	X	X	SS70
		Z	X	X	X	X	SS70
			zalecane wartości: obniżen/0,85; 0,5/Un				
8	odporność urządzenia na wyładowania elektryczności statycznej ESD	Z	X	X	X	X	SS70
		0*)	X	X	X	X	X

zalecane poziomy 2, 4; 8; 15KV zależnie od warunków eksploatacji



Ciąg dalszy tablicy 5

1	2	3	4	5	6	7	8
9	WYTRZYMAŁOŚĆ na zakłócenia: wielo-krotne włączenie i wyłączenie zasilania	Z*)	X	X	X	X	X
			(co najmniej 10 włączeń i 10 wyłączeń)				
10	dynamiczne zmiany napięcia a) zanik napięcia zasilania	Z*)	X	X	X	X	SS70
	b) obniżenie napięcia zasilania	Z	X	X	X	X	SS70
	c) podwyższenie napięcia zasilania	Z	X	X	X	X	SS70
11	zakłócenia impulsowe dużej energii	Z	-	X	X	X	SN30 SS30
		1) 2)	poziom wyższy od poziomu odporności określonego w poz. 3				
12	zakłócenia sinusoidalne o częstotliwości sieci	1) 2)	-	X	X	X	X
			poziom wyższy od poziomu odporności określonego w poz. 5a				

X – poziomy odporności i wytrzymałości podaje norma przedmiotowa

\*) – wymaganie podlega obowiązkowemu sprawdzeniu dla wszystkich USO

1) – wymaganie dotyczy USO przeznaczonych do wbudowania lub użytkowania w bliskiej odległości od urządzeń wytwarzających zakłócenia

2) – wymaganie dotyczy obwodów interfejsowych z wysokim poziomem sygnału i oddzieleniem galwanicznym, przeznaczonych do transmisji informacji na duże odległości

3) – wymaganie dotyczy urządzeń posiadających odpowiednie środki ochrony wewnętrznej.

Zaleca się, aby dla każdego punktu pomiarowego USO norma przedmiotowa ustalała poziomy odporności co najmniej dla dwóch umownych zakłóceń odpowiednich do charakteru zakłóceń występujących w miejscu użytkowania.

Zaleca się, aby poziom odporności dla obwodów interfejsowych był równy lub większy od połowy poziomu odporności ustalonego dla obwodu zasilania i uziemienia.

Zalecane wartości poziomów zakłóceń umownych, a w szczególności amplitudy, wartości skuteczne, wartości względne, energie impulsu należy wybierać z ciągu liczb:

$(1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8) \cdot 10^n$

dla  $n = 0; \pm 1; \pm 2; \pm 3; \pm 4$

Zalecane wartości czasów trwania zaników obniżenia i podwyższenia należy wybierać z ciągu:

$(1; 2; 3; 4; 5; 6; 8) \cdot 10^n$  ms

dla  $n = 0; 1; 2; 3$

może być wyrażony odpowiednią liczbą półokresów lub okresów napięcia sieci.

Oznaczenie metod symulacji jak w uwadze 1 (tabl. 4).

### 3. Metody realizacji wymagań KEM

Stan KEM jest osiągnięty jeżeli:

- poziom zakłóceń środowiska oddziałujący na USO (punkty pomiarowe KEM (tabl. 2) nie przekracza poziomu odporności USO,
- poziomy emitowanych zakłóceń przez USO nie przekraczają poziomu odporności dowolnego urządzenia znajdującego się na obiekcie (w środowisku).

Powyższe stwierdzenia są obowiązujące dla wszystkich możliwych oddziaływań źródeł zakłóceń obiektu na punkty pomiarowe KEM dla USO oraz oddziaływań zakłóceń emitowanych przez USO (punkty pomiarowe dla USO) do obiektowych urządzeń wrażliwych na emitowane zakłócenia.

Przyjmując prosty model oddziaływania zakłóceń składający się ze źródła o poziomie zakłóceń emitowanych (PEZ) i kanału przenoszącego zakłócenie źródła do wrażliwego obwodu o charakterystyce przenoszenia ( $K_{zu}$ ), to otrzymuje się wartość poziomu zakłóceń oddziałujących na wrażliwy obwód urządzenia:

$$PZU = K_{zu} \cdot PEZ$$

Na podstawie powyższego modelu można wymienić następujące metody realizacji KEM:

- A – metody zmniejszające poziom zakłóceń oddziałujących na USO,
  - A1 – metody redukcji poziomów emitowanych zakłóceń przez źródła lub eliminacji źródeł zakłóceń na obiekcie,
  - A2 – metody redukcji charakterystyk przenoszenia zakłóceń kanałów, źródła zakłóceń – USO,
  - A3 – metody podwyższające poziom odporności USO (p. 5),
- B – metody zmniejszające oddziaływanie zakłóceń USO na obiekt,
  - B1 – metody zmniejszające poziom zakłóceń emitowanych przez USO do środowiska (p. 5),
  - B2 – metody redukcji przenoszenia zakłóceń przez kanały przenoszące zakłócenia z USO do urządzeń obiektowych wrażliwych na zakłócenia,
  - B3 – metody jak w p. A3, lecz dotyczące wrażliwych urządzeń obiektowych.

Metody A3 i B1 dotyczą samego urządzenia USO i powinny być stosowane u producenta USO. Metody A1 i B3 dotyczą części technologicznej obiektu (urządzeń technologicznych, systemów elektrycznych i zjawisk fizycznych zachodzących na obiekcie emitujących zakłócenia elektromagnetyczne) i powinny być uwzględnione przy projektowaniu urządzeń technologicznych. W przypadku wprowadzenia systemu USO na eksploatowany obiekt wykorzystanie tych metod jest minimalne.

Wykorzystanie metod A2 i B2 jest głównym zadaniem projektanta instalacji USO na obiekcie. Od jakości projektu zależą zarówno efekty dotyczące KEM jak i koszty realizacji. Zle zaprojektowana instalacja obiektowa, t.j. okablowanie systemu spowoduje konieczność wprowadzenia dodatkowych środków ochrony na etapie uruchamiania systemu. W wielu przypadkach wprowadzenie dodatkowych środków ochrony jest utrudnione, bardzo kosztowne i czasochłonne.

Następujące informacje są konieczne, aby dobrze zaprojektować instalację obiektową:

- 1) Pełna informacja o procesie technologicznym z uwzględnieniem wymaganej niezawodności systemu USO, dopuszczalnych błędów, możliwości ingerencji obsługi przy wystąpieniu niesprawności, zagrożeń i koniecznych zabezpieczeń w przypadkach awaryjnych.
- 2) Identyfikacja źródeł zakłóceń (poziom, charakter zakłóceń, częstość występowania, lokalizacja źródeł) oraz urządzeń systemów wrażliwych na zakłócenia USO (poziomy wrażliwości i odporności) na poszczególne charakterystyczne zakłócenia, lokalizacja tych urządzeń). W przypadku braku takich informacji zaleca się przeprowadzenie pomiarów zakłóceń na obiekcie rzeczywistym lub obiekcie o podobnym charakterze.
- 3) Informacje o parametrach KEM dla stosowanego zestawu USO, poziomach odporności poszczególnych obwodów USO (zasilania, uziemienia, interfejsowych oraz obudowanego USO), poziomach zakłóceń emitowanych przez te obwody i całe urządzenia oraz zaleceniach instalowania i użytkowania USO wymaganych przez ich producenta.
- 4) Informacje budowlano-montażowe, energetyczne a także dotyczące instalacji odgromowej dane do zaprojektowania tras kabli obiektowych, obwodów zasilania, uziemienia, lokalizacji USO.

Wprowadzenie powyższych metod wymaga działań technicznych i organizacyjnych.

Działania techniczne polegają na racjonalnym wykorzystaniu środków technicznych przeciwzakłóceńowych (ochronnych) i sposobów redukcji zakłóceń na etapach projektowania urządzeń i instalacji obiektowej jak i uruchamiania i eksploatacji na obiekcie. Typowe środki ochrony znajdują się w tablicy 6.

Działania organizacyjne powinny obejmować:

- szkolenie konstruktorów, projektantów urządzeń i systemów w zakresie KEM (z uwzględnieniem zagadnień ekonomicznych i niezawodnościowych),
- opracowanie zaleceń konstrukcyjnych i projektowych KEM dotyczących instalacji obiektowej,
- wdrożenie kontroli jakości urządzeń z uwzględnieniem parametrów KEM,
- produkcję niezbędnej aparatury kontrolno-pomiarowej do badań KEM,
- produkcję środków przeciwzakłóceńowych,
- gromadzenie doświadczeń i ich efektywne wykorzystywanie w nowych opracowaniach.

Przy pełnym rozpoznaniu środowiska są możliwości wykorzystania metod (środków) operacyjnych. Polegają one na zapewnieniu pracy systemu wolnej od zakłóceń; przykładowo można to osiągnąć przez: przesyłanie informacji w określonych przedziałach czasu o niższej intensywności występowania zakłóceń, programowe zabezpieczanie systemu przed zakłóceniami wolnozmiennymi (krótkotrwały zanik napięcia sieci), automatyczne restarty programowe po zakłóceniu, budzik programowy.

Tablica 6

## Wybrane środki techniczne wykorzystywane do realizacji KEM

Lp.	Środek techniczny	Zastosowanie	Ochrona przed zakłóceniami
1	2	3	4
1	Ekranowanie elektromagnetyczne	kable, złącza, układy, urządzenia, pomieszczenia	pola EM, E, M
2	Filtry elektryczne	zasilanie sieciowe, sygnałowe	przewodzonymi (składowe S, N)
3	Ograniczniki przepięć warystory, absorbery	zasilanie, sieć, układy we/wy	przewodzonymi (S, N) o charakterze impulsowym
4	Dławiki, kondensatory	obwody zasilania	przewodzonymi (składowe S,N) (szerokopasmowe)
5	Transformatory separujące i izolujące	obwody sieci	przewodzonymi (składowe N, S)
6	Oddzielenie galwaniczne, transoptory, transformatory, optozłącza, światłowody	linie transmisji informacji	przewodzonymi (składowe N, częściowo S) pola EM, E, M
7	Separacja odległościowa kabli, tras kabli i urządzeń	kable, trasy kablowe, urządzenia	pola E, M, EM
8	Uziemianie ochronne i pomiarowe	obudowy, ekrany, zasilanie	przewodzonymi (składowe N) pola EM
9	Klimatyzacja	pomieszczenia	ochrona przed wyładowaniem elektryczności statycznej personelu
10	Wykładziny antystatyczne	podłogi	
11	Pokrycia przewodzące metalizowane	obudowy urządzeń	
12	Specjalna konstrukcja kabli	linie sygnałowe	pola E i M
13	Symetryzacja toru nadajnika i odbiornika	linie sygnałowe	przewodzonymi (składowe N) pola E i M
14	Urządzenia bezprzewodowego zasilania	zasilanie sieciowe rezerwowe	praktycznie wolne od zakłóceń sieci
15	Układy wykrywania obniżeń i zaników	do zamrażania i restartu programu	zaniki i obniżenia sieci, napięcia zasilania
16	Zasilacze o podwyższonej odporności	urządzenia	odporne na zaniki do 20 ms przewodzone składowe S
17	Wybór przyłącza sieci o niższym poziomie zakłóceń, trasa kabla odseparowana od innych obwodów zasilania lub kabel w ekranie	przyłącze sieci	występującymi w sieci
18	Racjonalny wybór tras kabli i miejsca USO	na obiekcie	niższe poziomy zakłóceń oddziałujących na USO w pełnym zakresie

Ciąg dalszy tablicy 6

1	2	3	4
19	Racjonalna konstrukcja USO (poziom sygnału, baza elementowa)	do USO	wyższe odporności
20	Operacyjny, wybór czasu pracy urządzenia USO w przedziałach czasowych wolnych od zakłóceń lub o znacznie niższym poziomie	do całego systemu	wymagane niezakłócone działanie jednostki centralnej
21	Kodowanie sygnału	transmisja informacji	poła EM

wykrzywanie błędów w informacji na podstawie analizy **tendencji zmian**. Wszystkie środki operacyjne wymagają programowego zabezpieczenia jednostki centralnej przy wystąpieniu zakłóceń.

### 3. 1. Ogólne zasady stosowania i wyboru środków ochrony

Zastosowane środki ochrony podczas eksploatacji oraz w przypadku uszkodzenia nie powinny stwarzać zagrożenia dla obsługi i otoczenia. Powinny zapewniać osiągnięcie wskaźników niezawodnościowych i eksploatacyjnych wymaganych przez użytkownika systemu.

Środki ochrony powinny być dobrane odpowiednio do charakteru, poziomu i intensywności występujących zakłóceń z uwzględnieniem mechanizmów sprzężenia źródeł zakłóceń z USO. Środki ochrony powinny być umieszczane bezpośrednio przy źródłach zakłóceń tak, aby tłumiły niepożądane zakłócenia i ograniczały ich rozprzestrzenianie się w sposób kontrolowany. Nie powinny powodować zmniejszenia poziomów sygnałów użytkowych i ograniczania funkcjonalności urządzenia. Środki ochrony stosowane na zewnątrz USO powinny być umieszczone w dokumentacji instalacji obiektowej, zaś stosowane wewnątrz USO – w dokumentacji USO.

Skuteczność wewnętrznych środków ochrony powinna być sprawdzana w badaniach pełnych USO. Wewnętrzne środki ochrony powinny być wprowadzone na możliwie najwcześniejszych etapach opracowania urządzenia lub systemu. Wskazane jest, aby wybór środków przeprowadzać na podstawie pomiarów zakłóceń w konkretnym miejscu pracy USO. Dla urządzeń zainstalowanych dobór środków należy przeprowadzać w trakcie uruchomienia, na podstawie pomiarów zakłóceń w umownych punktach pomiarowych USO dla KEM. Dla urządzeń eksploatowanych dobór środków należy przeprowadzić na podstawie pomiarów zakłóceń i analizy objawów zakłóceń zarejestrowanych przez użytkownika.

Zakres stosowania środków zewnętrznych dla USO powinien być kompromisem między kosztami wprowadzonych środków a wymaganiami użytkownika dotyczącymi niezawodności eksploatacyjnej USO. Szczególnie dotyczy to środków wprowadzanych w końcowych fazach instalowania lub uruchamiania. Doświadczenia z praktyki wskazują, że liczba możliwych do zastosowania środków ochrony maleje, a koszty wprowadzania rosną w końcowych etapach opracowania lub uruchomienia urządzenia.

### 4. Metody kontroli KEM.

Parametry charakteryzujące właściwości KEM są kontrolowane w ramach badań pełnych (ocena nowych konstrukcji, w przypadku wprowadzenia zmian konstrukcyjnych i okresowo co 3 lata) oraz w ramach badań niepełnych (kontrola bieżąca produkcji oraz przy kontroli odbiorczej produkcji).

Zaleca się, aby badania KEM były wykonane po zakończeniu wszystkich innych badań w następującej kolejności:

- badania zakłóceń emitowanych przez USO,
- badania odporności USO na zakłócenia,
- badania wytrzymałości USO na zakłócenia.

Zakres i kolejność sprawdzeń powinna ustalić norma przedmiotowa. Dla zachowania jednoznaczności pomiarów badania powinny być przeprowadzane dla jednego obwodu (punktu pomiarowego) i umownego sygnału zakłócającego. Dopuszcza się jednoczesne badania kilku obwodów tego samego rodzaju.

#### 4. 1. Metody badań

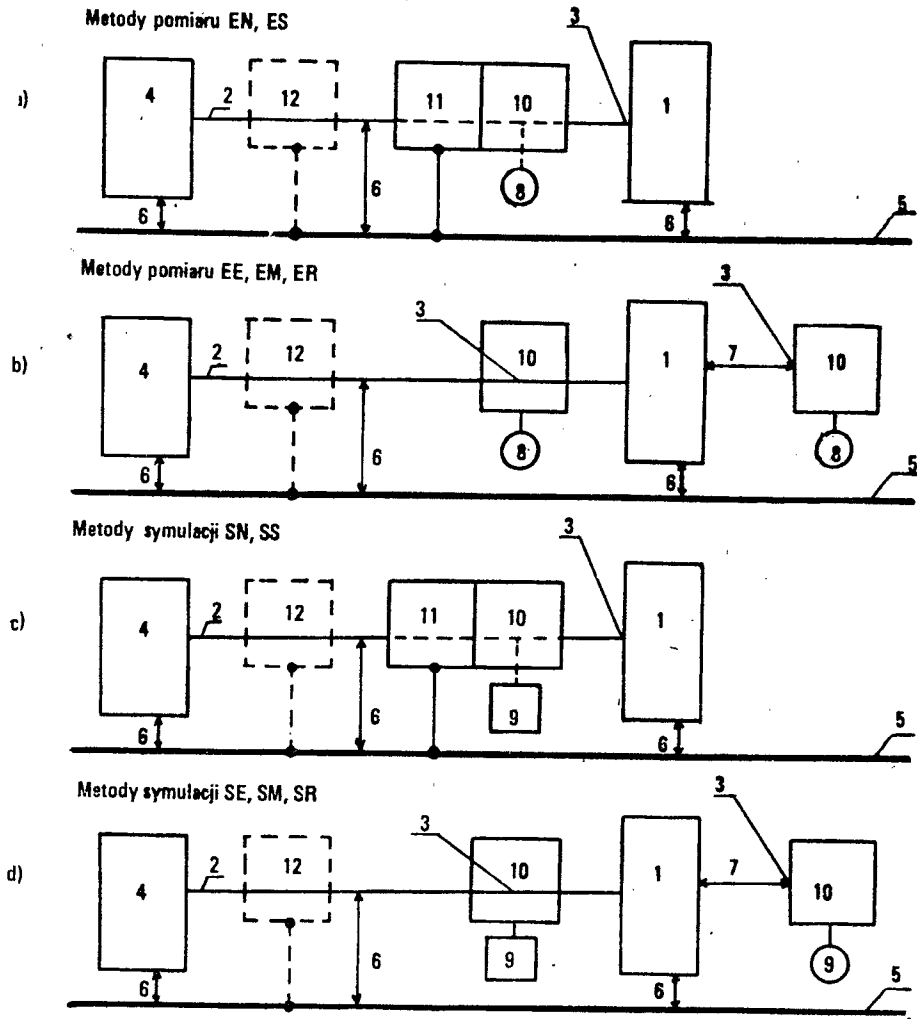
Metoda pomiaru lub symulacji zakłóceń powinna określić układ pomiarowy, parametry urządzeń pomiarowych, warunki pomiaru odpowiednio do charakteru zakłóceń lub umownego sygnału zakłócającego i punktu pomiarowego urządzenia USO. Podstawowe układy pomiarowe dla metod pomiarów i symulacji zakłóceń pokazano na rys. 1. Metody oznaczone EN, ES, EE, EM, ER są przeznaczone do pomiaru zakłóceń emitowanych przez USO.

**M e t o d y EN i ES** są przeznaczone do pomiaru zakłóceń przeprowadzonych przez USO do obwodów zewnętrznych. Wielkością mierzoną jest składowa niesymetryczna (w metodzie EN) lub symetryczna (w metodzie ES) napięcia lub prądu zakłóceń. W układach pomiaru składowej niesymetrycznej potencjałem odniesienia powinien być potencjał ziemi odniesienia. Miernik zakłóceń, urządzenia sprzęgające i oddzielające powinny być dobrane odpowiednio do punktu pomiarowego badanego obwodu zewnętrznego USO i charakteru zakłóceń podlegającym pomiarom. Układ pomiarowy w tych metodach jest zwykle galwanicznie połączony z punktami pomiarowymi USO (obwodami zewnętrznymi USO).

**M e t o d y EE i EM** przeznaczone są do pomiaru zakłóceń emitowanych przez USO w postaci bliskiego pola elektrycznego lub magnetycznego. Wielkością mierzoną jest natężenie pola elektrycznego lub magnetycznego, względnie indukowane napięcie lub prąd zakłóceń w określonym urządzeniu sprzęgającym usytuowanym w punkcie pomiarowym w określonej odległości pomiarowej od urządzenia lub kabla obwodu zewnętrznego. Charakterystyka pomiarowa miernika wraz z urządzeniem sprzęgającym powinna być dobrana odpowiednio do charakteru zakłóceń podlegających pomiarom, punktu pomiarowego i odległości pomiarowej. W układach pomiarowych składowej pola elektrycznego potencjałem odniesienia powinien być potencjał ziemi odniesienia. Układ pomiarowy w tych metodach nie jest galwanicznie połączony z obwodami USO.

**M e t o d y ER** są przeznaczone do pomiaru zakłóceń promieniowanych przez USO w postaci pola elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości. Wielkością mierzoną jest natężenie pola elektromagnetycznego (składowa pola elektrycznego lub magnetycznego) w punkcie pomiarowym usytuowanym w określonej odległości pomiarowej od USO. Charakterystyka pomiarowa miernika zakłóceń wraz z urządzeniem sprzęgającym (anteną) powinny być dobrane odpowiednio do mierzonego zakresu częstotliwości i składowej pola. Miejsce pomiaru powinno być wolne od zakłóceń środowiskowych. Metody oznaczone SN, SS, SE, SM, SR są przeznaczone do pomiaru i sprawdzenia poziomu odporności lub wytrzymałości USO na zakłócenia umowne.

**M e t o d y SN i SS** są przeznaczone do symulacji zakłóceń przewodzonych w obwodach zewnętrznych USO. Wielkością symulowaną jest składowa niesymetryczna (w metodzie SN) lub symetryczna (w metodzie SS) napięcia lub prądu zakłócenia umownego. W układach symulacji składowej niesymetrycznej zakłóceń potencjałem odniesienia powinien być potencjał ziemi odniesienia lub zacisk



Rys. 1 Podstawowe układy pomiarowe dla metod pomiarów i symulacji zakłóceń. 1—urządzenie badane; 2—obwód zewnętrzny urządzenia; 3—punkt pomiarowy KEM; 4—urządzenie współpracujące lub źródło zasilania; 5—płaszczyzna ziemi odniesienia; 6—usytuowanie urządzenia i kabli obwodów zewnętrznych względem płaszczyzny ziemi odniesienia; 7—odległość pomiarowa; 8—miernik zakłóceń; 9—generator zakłóceń umownych; 10—urządzenie sprzęgające; 11—urządzenia oddzielające; 12—dodatkowe środki ochrony.

uziemiający (ochronny) USO. Urządzenia sprzęgające i oddzielające powinny być dobrane odpowiednio do punktu pomiarowego i generatora zakłócenia umownego.

W celu zmniejszenia wpływu zakłóceń, emitowanych przez urządzenia współpracujące, na wynik pomiaru oraz ograniczenia poziomu zakłóceń symulowanych oddziałujących na urządzenie współpracujące, w obwodach powinny być stosowane dodatkowe środki przeciwalkłóceniu. Układ

pomiarowy symulacji jest galwanicznie połączony z punktem pomiarowym obwodu zewnętrznego USO.

Metody SE i SM są przeznaczone do symulacji zakłóceń emitowanych przez bliskie pola elektryczne i magnetyczne. Wielkością symulowaną jest natężenie pola elektrycznego lub magnetycznego wytworzone przez urządzenia sprzęgające (anteny) zasilane z generatora zakłócenia umownego. Urządzenie sprzęgające powinno być dobrane odpowiednio do punktu pomiarowego, generatora zakłócenia umownego i wielkości symulowanej i posiadać określoną charakterystykę przetwarzania. Charakterystyka przetwarzania sygnału umownego na wielkość symulowaną jest określona w układzie kalibrującym. Dla określonej konstrukcji urządzenia sprzęgającego wielkość symulowana może być wyrażona parametrami umownego sygnału zakłócającego (amplitudą sygnału). Układy pomiarowe w tych metodach nie są galwanicznie połączone z obwodami badanego USO.

Metody SR są przeznaczone do symulacji zakłóceń zewnętrznych promieniowanych w postaci pola elektromagnetycznego wielkiej częstotliwości. Wielkością symulowaną jest natężenie pola elektromagnetycznego wytworzone z generatora sygnału umownego i usytuowanego w określonej odległości pomiarowej od urządzenia badanego. Urządzenie sprzęgające powinno być dobrane odpowiednio do zakresu częstotliwości sygnału umownego i posiadać określoną charakterystykę przetwarzania sygnału umownego na promieniowane natężenie pola elektromagnetycznego. Układ pomiarowy nie jest galwanicznie połączony z obwodami badanego USO.

#### 4. 2. Warunki badań

Warunki pracy USO w czasie badań powinny odpowiadać przeciętnym warunkom pracy i odwzorowywać warunki normalnej eksploatacji. Badania przeprowadza się dla zestawów użytkowych zawierających urządzenia współpracujące. Urządzenia współpracujące powinny być połączone z USO zgodnie z zaleceniami producenta lub użytkownika. Dopuszcza się badania przy stosowaniu odpowiednich urządzeń kontrolnych zastępujących urządzenia współpracujące.

W czasie badań USO powinno realizować program testowy (producenta lub użytkownika), zbiory programów testowych. Dla każdego programu testowego powinny być ustalone kryteria oceny ich poprawnej realizacji lub objawów i efektów zakłóceń. Zaleca się, aby realizacja programu testowego przebiegała w sposób powtarzalny (cykliczny). Program testowy powinien realizować funkcje oceny poprawności działania USO.

Przy stwierdzeniu zależności wyników pomiarów od czynników związanych z badanym urządzeniem, np. od poziomu sygnałów roboczych, obciążenia, programu testowego, uziemienia, położenia elementów regulacyjnych, typu i liczby urządzeń współpracujących, itp., badania należy przeprowadzić w warunkach najbardziej niekorzystnej kombinacji tych czynników, przy których poziom emitowanych zakłóceń jest najwyższy a poziom odporności lub wytrzymałości jest najniższy. W przypadku stwierdzenia wpływu czynników nie związanych z badanym USO na wynik pomiaru należy w miarę możliwości je wyeliminować lub określić ich wpływ. Zaleca się przeprowadzać badania w warunkach klimatycznych (15 do 30°C, 45 do 75 % wilgotności, 66 do 106 kPa ciśnienia) w kabinach lub pomieszczeniach ekranowych, przy określonym usytuowaniu urządzeń i ich kabli względem ziemi odniesienia. Układ pomiarowy powinien zapewnić pomiar wymaganego poziomu z dokładnością  $\pm 10\%$  lub  $\pm 2$  dB. Czas badania powinien być określony w normie przedmiotowej przy uwzględnieniu właściwości urządzenia badanego i charakteru zakłóceń.

Dopuszcza się przeprowadzenie badań KEM w miejscu pracy USO na obiekcie, po jego zainstalowaniu. W takim przypadku należy zwrócić szczególną uwagę na środki ochrony zabezpieczające personel i urządzenia innych systemów technicznych przed zagrożeniem powstającym w wyniku błędnego



działania urządzeń spowodowanego symulowanymi zakłóceniami. Wyniki pomiarów powinny być korygowane w przypadku stwierdzenia dużego poziomu zakłóceń środowiskowych.

#### 4. 3. Urządzenia pomiarowe i symulacyjne

Do wykonania pomiarów KEM konieczna jest następująca aparatura pomiarowa:

- mierniki zakłóceń,
- generatory (symulatory) umownych zakłóceń,
- urządzenia pomiarowe pomocnicze.

##### Mierniki zakłóceń

Parametry aparatury do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych są określone przez międzynarodowe dokumenty normalizacyjne (IEC CISPR, ST SEW) oraz krajowe. Aparatura taka jest produkowana w krajach RWPG. W Polsce głównym producentem są zakłady INCO.

Do pomiaru zakłóceń o charakterze impulsowym (metody EN10, EE10) wymagany jest miernik amplitudy pojedynczych impulsów.

Podstawowe dane techniczne miernika: amplituda impulsu do 1500 V, czas trwania impulsu od 20 ns do kilku ms, impedancja wejściowa 10 M $\Omega$ /15 pF. Miernik we współpracy z odpowiednią anteną umożliwia pomiar natężenia pola elektrycznego o charakterze impulsowym. Miernik taki nie jest produkowany w krajach RWPG. W kombinacie LPO SIGMA (Wilno ZSRR) opracowano miernik zakłóceń impulsowych typu R1. Zastępczo może być stosowany oscyloskop z pamięcią o paśmie ok. 100 MHz. Oscyloskopy takie nie są produkowane w krajach RWPG.

##### Generatory umownych sygnałów zakłócających

Dostępność generatorów zestawiono w tablicy 7. Parametry tych generatorów są określone w roboczym materiale WRG5 dotyczącym KEM dla USO, w ST SEW 4702-84, PN-86/E-06600 i w zaleceniach IEC.

##### Urządzenia pomiarowe pomocnicze

Urządzenia te obejmują sieci sztuczne o odpowiednich zakresach częstotliwości transformatory sprzęgające generatory z badanymi obwodami, klamry pojemnościowe, płaszczyzny ziemi odniesienia, anteny odpowiedniej konstrukcji do zakresu częstotliwości. Parametry tych urządzeń są określone w materiałach roboczych WRG5 i PN-86/E-06600 oraz zaleceniach IEC.

Z wymienionych urządzeń brak jest rozeznania producentów transformatorów sprzęgających i sieci sztucznych dla sygnału impulsowego dużej energii. Stan ten może wynikać z faktu braku uzgodnionych zaleceń w ramach IEC. Pozostałe urządzenia są dostępne w krajach RWPG i zwykle dostarczane razem z odpowiednim generatorem zakłóceń umownych.

### 5. Wymagania konstrukcyjne na USO odporne na zakłócenia

#### 5. 1. Uwagi ogólne

Wymagania będą sformułowane dla zestawu urządzeń sprzężenia z obiektem umieszczonego w jednej obudowie. Ze względu na ograniczone miejsce wymagania będą dotyczyć podstawowych części konstrukcyjnych USO. Przy formułowaniu wymagań wykorzystano praktyczne doświadczenia, wyniki badań KEM i USO oraz urządzeń cyfrowych produkowanych w PRL.

Można sformułować następujące stwierdzenia:

- najpoważniejszym źródłem zakłóceń jest obwód sieciowy,
- najniższą odporność wykazują urządzenia dla impulsów zakłócających nanosekundowych typu serii impulsów 5/50 ns względnie pojedynczych impulsów typu 5/100 ns,

Tablica 7

Lp.	Nazwa sygnału oznaczenie	Producent w krajach RWPG (inni poza RWPG)	Uwagi
1	impulsy nanosekundowe seria impulsów 5/50 ns (IEC-801-4)	IKSAiP Wrocław PRL (1, 2, 3)	wraz z wyposażeniem pomocniczym
2	impulsy oscylacyjne tłumione 1 MHz/6 $\mu$ s	brak (1, 4)	są opracowania mode- lowe w PRL i CSRS
3	impulsowe dużej energii napięcie 1,2/50 $\mu$ s prąd 8/20 $\mu$ s (IEC801-5)	brak (3, 8, 4)	są opracowania mode- lowe w PRL i CSRS
4	impulsowe b. dużej energii	brak (3)	—
5	ciągłe sinusoidalne (30 Hz do 1000 MHz) generatory laboratoryjne i odpowiednie wzmacniacze (IEC801-2)	do zakresu 100 MHz powyżej brak (6, 7)	brak pełnego rozeznania
6	ciągłe niesinusoidalne generatory laboratoryjne	do 1 MHz (6, 7)	
7	dynamiczne zmiany napięcia zasilania (zanik, podwyższenie, obniżenie napięcia)	MERA-PIAP Warszawa (PRL) ŁPO SIGMA Wilno (ZSRR) (1, 3, 5)	typ SZS-2  typ I-4
8	wyładowanie elektryczności statycznej (IEC801-3)	MERA-PIAP Warszawa (PRL) (1, 3, 7, 8)	typ SED-2

Producenci: 1- SCHAFFNER (Szwajcaria), 2- HAEFELY (Szwajcaria), 3- NOISE LABORATORY CO (Japonia), 4- VELONEX (USA), 5- POWER SC (USA), 6- TEKTRONIX (USA), 7- FLUKE (Holandia), 8- MWB MESSWANDLER-BAU AG (RFN).

- istotnym z punktu widzenia odporności jest obwód uziemienia (ochrony),
- niższe poziomy odporności wykazują urządzenia, w których:
  - rozprzestrzeniono wewnątrz obudowy urządzenia obwód sieciowy i nie zastosowano środków w celu zmniejszenia pasożytniczych sprzężeń obwodu sieciowego z zewnętrznymi obwodami urządzenia,
  - konstrukcyjnie stworzono dobre warunki rozprzestrzeniania zakłóceń (wspólne wiązki i trasy kabli obwodów o różnych poziomach sygnałów),
  - nie spełniono podstawowych zaleceń producentów bazy elementowej przez co zmniejszono marginesy statyczne i dynamiczne zakłóceń,
  - wprowadzono układy cechujące się niepoprawnym rozwiązaniem dla stanów dynamicznych (wyścigi i hazardy),
  - zastosowano środki przeciwzakłóceniami lecz w błędnych połączeniach,
  - montaż połączeń wewnętrznych nie jest ściśle określony,
  - stosowano elementy o szerszym paśmie częstotliwości niż wynikało to z potrzeb funkcjonalnych.

## 5. 2. Moduł na płycie drukowanej

- 1) Należy zapewnić, aby zakłócenia wprowadzane do obwodów logicznych nie przekraczały statycznego marginesu zakłóceń podstawowej bramki. Należy uwzględnić zakłócenia od obwodu zasilania, spadek napięcia na dystrybucje, niedopasowania, przesłuch i zewnętrzne promieniowanie.
- 2) Dystrybucję obwodów zasilania należy zrealizować linią o minimalnej impedancji falowej, stosować kondensatory blokujące i odsprzęgające o krótkich wyprowadzeniach i dobrych charakterystykach dla wielkich częstotliwości.
- 3) Należy wprowadzić magistrale specjalnej konstrukcji do dystrybucji zasilania o rozłożonej pojemności.
- 4) Przy wystąpieniu różnych elementów na płycie należy zwrócić uwagę na sprzężenie wynikające ze wspólnej impedancji obwodów zasilania.
- 5) Należy rozmieścić elementy tak, aby zapewnić najkrótsze połączenia ze złączami i najmniejsze powierzchnie zajmowane przez obwody o wysokim poziomie sygnału (np. obwody obiektowe).
- 6) Należy zapewnić około 10 % pinów złącz na sygnał 0 V, ścieżka zasilania powinna być szersza od 1 mm.
- 7) Niewykorzystane wejścia bramek należy połączyć odpowiednio do 0 V, wyjścia, a przez rezystor do 5 V.

## 5. 3. Magistrala kasyety

Magistrala kasyety jest elementem konstrukcyjnym decydującym o pracy modułów. Jest ona źródłem zakłóceń emitowanych na zewnątrz USO przez promieniowanie. Ogólne zasady projektowania są znane:

- należy zapewnić dystrybucję zasilania liniami o minimalnej impedancji falowej,
- nie można prowadzić równoległych linii na długich odcinkach szczególnie jeżeli liniami tymi są prowadzone sygnały o różnych poziomach,
- elektrycznie długie linie należy odpowiednio dopasować rezystorami do impedancji falowej linii,
- przy stosowaniu miniowijania przewody należy układać na konstrukcji płyty,
- stosować płyty dwustronne z płaszczyzną 0 V po jednej stronie.

## 5. 4. Wewnętrzne przewodowanie

- 1) Dla uniknięcia wewnętrznych sprzężeń między przewodami, kable powinny być podzielone na rodziny i prowadzone oddzielnymi trasami. Dotyczy to obwodu zasilania sieciowego, obwodów zasilania prądu stałego, obwodów z sygnałami cyfrowymi logicznymi, obwodów z sygnałami o niskim poziomie,
- 2) Kable powinny być prowadzone blisko metalowych płaszczyzn konstrukcyjnych.
- 3) Obwody uziemienia i ochronne są obwodami elektrycznymi, które należy projektować z taką samą uwagą jak obwody aktywne.
- 4) Przyłączenie jednego bieguna obwodu zasilania do konstrukcji w jednym punkcie może zapewnić podwyższenie poziomu odporności w zakresie niskich częstotliwości.
- 5) Kable obwodów obiektowych wewnątrz obudowy powinny być jak najkrótsze.

## 5. 5. Obudowa

Obudowa spełnia kilka istotnych funkcji: nie tylko osłania układy wewnętrzne od środowiska technoklimatycznego ale jest też środkiem ochrony układu od promieniowanych zakłóceń zewnętrznych, wyładowania elektryczności statycznej oraz tłumienia zakłóceń emitowanych przez obwody wewnętrzne do otoczenia.

Podstawowym wymaganiem jest szczelność obudowy. Materiał obudowy określa skuteczność i efektywność ekranu. Istotne jest, aby części ruchome obudowy były trwale elektrycznie połączone z ramą. Odległość pomiędzy połączeniami (na krawędzi) powinna być mniejsza od 1 m. Przy wymaganiach dużej skuteczności ekranu dla wielkich częstotliwości należy unikać wszelkich otworów: jeżeli są one konieczne, to należy stosować specjalne osłony z siatki. Krawędzie należy uszczelniać uszczelnkami elektromagnetycznymi. Zewnętrzne i wewnętrzne powierzchnie obudowy mogą być pokrywane specjalnymi materiałami poprawiającymi właściwości ekranujące.

#### 5. 6. Zasilacz

Parametry zasilacza decydują o poziomie odporności urządzenia na krótkotrwałe zaniki i zakłócenia impulsowe z obwodu sieci.

Parametrami podlegającymi kontroli powinny być:

- prąd włączenia zasilacza – decydujący o poziomie zakłóceń emitowanych do sieci i innych obwodów wewnątrz obudowy,
- impedancja wyjściowa zasilacza dla obciążeń dynamicznych w zakresie do kilkudziesięciu MHz,
- poziom zakłóceń emitowanych do obwodu sieciowego podczas normalnej pracy,
- poziom zakłóceń emitowanych do otoczenia – głównie w postaci bliskiego pola elektrycznego i magnetycznego. Pole magnetyczne jest trudne do ekranowania,
- występowanie czujnika obniżenia napięcia sieci z sygnałem wyjściowym ACL (konieczny przy zamrożeniu i restarcie programu przy krótkotrwałym zaniku).

#### 5. 7. Rozmieszczenie układów i modułów

Problem rozmieszczenia urządzeń wewnątrz obudowy jest istotny przy urządzeniach z wysokim polem emitowanym. Dotyczy to zasilaczy z przetwarzaniem oraz układów impulsowych. Racjonalne rozmieszczenie ułatwia poprawne wykonanie wewnętrznych połączeń.

Istotną częścią USO jest część krosowa, do której przyłączane są obwody zewnętrzne wejściowe i wyjściowe. Powinna ona być łatwo dostępna dla celów serwisowych i zaekranowana, aby wysoki poziom zakłóceń oddziałujących z obiektu nie rozprzestrzenił się do obwodów wewnętrznych. Trasy kabli obiektowych powinny być ekranowane i różne dla różnych poziomów sygnałów roboczych. Przy wprowadzeniach kabli obiektowych do obudowy powinny być przewidziane konstrukcje do rozmieszczania dodatkowych środków ochronnych.

#### 5. 8. Przyłącze sieciowe i uziemienie

Są to obwody, którym należy poświęcić szczególną uwagę.

- 1) Filtr sieciowy przeciwzakłóceniu o dużym tłumieniu powinien być usytuowany bezpośrednio przy wprowadzeniu kabla sieciowego do obudowy.
- 2) Przy filtrze powinny być umieszczone elementy ograniczające zakłócenia impulsowe (warystory, absorbery),
- 3) Przyłącze kabla sieciowego powinno zapewnić takie przyłączenie przewodu ochronnego, aby utworzona pętla była minimalnej powierzchni,
- 4) Zacisk ochronny powinien być usytuowany w pobliżu przyłącza sieciowego i trwale połączony z konstrukcją nośną obudowy.
- 5) Całość przyłącza sieciowego i filtr powinny być osłonięte ekranem. Kabel sieciowy wewnątrz obudowy powinien być ekranowany i ułożony na płaszczyznach konstrukcji z dala od innych kabli i wiązek przewodów.
- 6) Należy dążyć do tego, aby obwód sieciowy nie był rozprzestrzeniany różnymi trasami.

- 7) Jeżeli są stosowane wentylatory, to należy zwrócić uwagę na możliwość promieniowania zakłóceń sieciowych przez silniki do bliskich obwodów.
- 8) Wewnętrzne połączenia obwodów uziemienia mogą być poważnym źródłem zakłóceń wewnętrznych. Istotny jest wybór tras tych połączeń przy zachowaniu zasady najkrótszych połączeń i połączenie wszystkich przewodów w jednym wspólnym punkcie. Zwykle ten wspólny punkt powinien być usytuowany na płaszczyźnie (listwie uziemiającej) gdzie umieszczono główny zacisk ochronny i filtr sieciowy.
- 9) Jeżeli wewnątrz obudowy umieszczone są gniazda sieciowe serwisowe, to ich obwody powinny być zaopatrzone w dodatkowe filtry przeciwzakłócenkowe oraz zabezpieczenia prądowe.