

Ochrona przed impulsowymi narażeniami elektromagnetycznymi obwodów niskonapięciowych na stacji elektroenergetycznej

Streszczenie. Urządzenia elektroniczne instalowane na terenie stacji elektroenergetycznych narażone są na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego oraz napięć/prądów udarowych dochodzących do przyłączy sygnałowych i zasilających tych urządzeń. Narażenia udarowe są szczególnie niebezpieczne dla cyfrowych systemów sygnalizacji i sterowania. Mogą one spowodować błędną pracę tych systemów lub uszkodzenie poszczególnych urządzeń. Projektując systemy ochrony przed tego rodzaju zagrożeniem należy posiadać podstawowe informacje o poziomach udarowych narażeń elektromagnetycznych, poziomach odporności udarowej analizowanych urządzeń oraz o sposobach ich ochrony przed występującymi narażeniami.

Abstract. In the HV substation the damages or malfunctions of electronic equipment were very often caused by electromagnetic pulses. These disturbances, which sources are switching operations in primary and secondary circuits, earthing faults or lightning strikes, can cause severe problems in low-voltage control and measurement systems. In this paper the levels of impulse disturbances were compared with surge immunity of electronic equipment and the protection against overvoltages in low-voltage circuits is presented.

Słowa kluczowe: przepięcia, ograniczanie przepięć, stacja elektroenergetyczna.

Keywords: overvoltages, overvoltages protection, high-voltage power stations.

Wstęp

Stworzenie warunków do pewnego i niezawodnego działania urządzeń oraz systemów elektronicznych wymaga oceny impulsowych narażeń elektromagnetycznych w miejscu ich zainstalowania. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku systemów pracujących na terenie stacji elektroenergetycznej. Projektując systemy ochrony przed tego rodzaju zagrożeniem należy posiadać podstawowe informacje o:

- chronionych urządzeniach oraz systemach, w których one pracują,
- charakterze narażeń udarowych występujących na terenie stacji,
- wymaganych poziomach odporności udarowej urządzeń elektronicznych,
- właściwościach i zasadach doboru elementów i układów wykorzystywanych do ochrony przed narażeniami udarowymi.

Poniżej szczegółowo scharakteryzowane zostaną trzy ostatnie punkty. Szczególna uwaga zostanie zwrócona zasady doboru urządzeń ograniczających przepięcia dochodzące do przyłączy sygnałowych urządzeń elektronicznych.

Ocena narażeń udarowych na terenie stacji elektroenergetycznej

W stacji elektroenergetycznej szczególne groźne dla urządzeń elektronicznych są:

- operacje łączeniowe w obwodach wysokonapięciowych oraz obwodach wtórnych,
- wyładowania piorunowe na terenie stacji lub w bliskim jej sąsiedztwie oraz wyładowania piorunowe w linii elektroenergetycznej wysokich i średnich napięć,
- stany awaryjne np. zwarcia, doziemienia,
- działanie ograniczników przepięć,

Są one źródłem impulsowego pola elektromagnetycznego oddziałującego bezpośrednio na urządzenia i okablowanie oraz napięć i prądów udarowych powstających w instalacjach zasilających i liniach sygnałowych.

We współczesnych stacjach wysokich napięć budynki nastawni mogą znajdować się w znacznej odległości od miejsca zainstalowania elementów pomiarowych lub wykonawczych. Stwarza to konieczność stosowania linii

przesyłu sygnałów o długościach dochodzących do kilkuset metrów. W takich systemach, w przypadku przepięć w liniach wysokich napięć, mogą wystąpić również przepięcia o znacznych wartościach, stwarzające zagrożenie dla izolacji urządzeń w nastawni. W przypadku przekładników przepięcia przenoszą się ze strony pierwotnej na wtórną droga sprzężeń magnetycznego, elektrycznego i galwanicznego. Sprzężenia powodują, że w miejscu pomiarów mogą wystąpić napięcia udarowe doziemne oraz różnicowe. Z danych literaturowych [1] wynika, że napięcia doziemne mogą osiągać wartości nawet do kilku kilowoltów, a w przypadku sprzężeń galwanicznych dochodzą nawet do 20 kV. Powstające udary mogą spowodować błędne działanie urządzeń lub ich uszkodzenie oraz stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa personelu.

Impulsowe pole elektromagnetyczne

Źródłem impulsowych pól elektromagnetycznych są urządzenia elektroenergetyczne oraz linie wysokich napięć. Wyniki prowadzonych rejestracji wskazują, że w pobliżu wyłączników wysokonapięciowych mogą wystąpić impulsy elektromagnetyczne o szerokim widmie częstotliwości - od kilkuset kHz do ok. 200 MHz. Przykładowe wartości podstawowych parametrów charakteryzujących impulsy elektromagnetyczne rejestrowane na terenie stacji zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry impulsów elektromagnetycznych wytwarzanych w pobliżu wyłączników wysokonapięciowych.

Parametry impulsu	Napięcie znamionowe sieci			
	345 kV		500 kV	
	pole elektr.	pole magnet.	pole elektr.	pole magnet.
wartość szczytowa	5 kV/m	1.2 A/m.	50 kV/m	2 A/m
czas narastania	180 ns	60 ns	700 ns	100 ns
czas trwania	1000 ns	2000 ns	1500 ns	5000 ns
częstotliwość	10-20 MHz	5 MHz	1-20 MHz	1-20 MHz

Należy zauważyć, że impulsy pola tak dużych wartościach szczytowych występują tylko w ograniczonym obszarze w bliskim sąsiedztwie wyłączników.

Innym źródłem impulsowego pola elektromagnetycznego są doziemne wyładowania piorunowe na terenie stacji lub w bliskim jej sąsiedztwie. Wyniki rejestracji impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego przez główne wyładowania doziemne zestawiono w tabelcy 2.

Tabela 2. Parametry impulsowego pola elektromagnetycznego powstającego podczas wyładowań atmosferycznych

Rodzaj wyładowania	Parametry natężenia pola elektrycznego i magnetycznego
Główne doziemne wyładowanie piorunowe	Kilkaset kV/m - w pobliżu kanału wyładowania.
	Kilkadziesiąt kV/m - w odległości kilkudziesięciu metrów od miejsca uderzenia piorunu.
	Wartości przekraczające 100 V/m - w odległości kilku-kilkunastu km od miejsca uderzenia piorunu.
	Kilka kA/m - w odległości kilku metrów od kanału wyładowania
	Wartości przekraczające 100A/m występują w odległości od kilkudziesięciu do kilkaset metrów,
	2,5 – 4 μ s - czas narastania natężenia pola elektrycznego.
	Kilka μ s - czas narastania natężenia pola magnetycznego
Kolejne doziemne wyładowania główne w kanale	Wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wywołanego przez kolejne wyładowania są mniejsze w porównaniu z tymi, jakie powstają podczas pierwszego wyładowania głównego w kanale
	1 - 2 μ s - czas narastania natężenia pola elektrycznego
	Od dziesiątych części do kilku μ s - czas narastania natężenia pola magnetycznego

Poziomy odporności udarowej urządzeń

Zakres badań odporności na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego oraz działanie napięć lub prądów udarowych najczęściej określają normy dotyczące danego urządzenia lub grupy urządzeń. Ograniczając zakres rozważań tylko do ochrony przed narażeniami udarowymi należy sprawdzić odporność urządzeń na:

- bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola magnetycznego,
- działanie jednobiegunowych udarów napięciowo-prądowych symulujących przepięcia łączeniowe oraz indukowane przepięcia piorunowe,
- działanie niepowtarzalnych, przebiegów oscylacyjnych tłumionych powstających podczas procesów łączeniowych w liniach zasilających lub sterujących oraz wyładowań atmosferycznych,
- działanie powtarzalnych szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych.

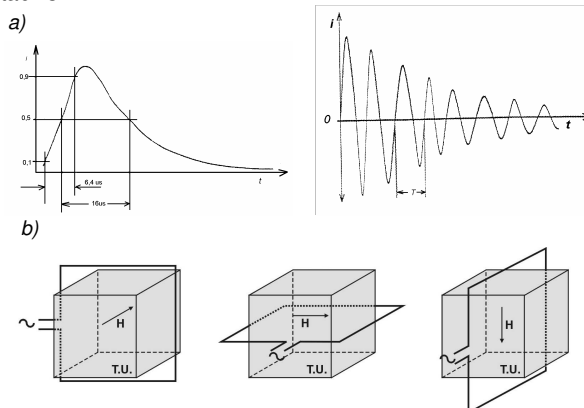
Bezpośrednie oddziaływanie na urządzenia impulsowego pola magnetycznego

Właściwością urządzenia, na którą należy również zwrócić uwagę jest jego odporność na bezpośrednie oddziaływanie impulsowego pola magnetycznego.

Zaproponowany w normach PN-EN 61000-4-9 i PN-EN 61000-4-10 kształt impulsu i jego wartości szczytowe odwzorowują zagrożenie, jakie wywołuje prąd pierwszego i kolejnych wyładowań głównych w kanale lub procesy łączeniowe w stacjach elektroenergetycznych.

W badaniach prowadzonych zgodnie z zaleceniami tych norm urządzenia narażane są na działanie impulsowego natężenia pola magnetycznego wytworzonego przez prądy udarowe o kształtach przedstawionych na rys. 1. Wartości szczytowe

impulsów pola magnetycznego uzależnione są od przyjętej klasy środowiska. W badaniach uwzględniane jest oddziaływanie pola w trzech osiach urządzenia (rys. 1b). Wartości poziomów natężenia impulsowego pola magnetycznego w poszczególnych klasach przedstawiono w tabl. 3.



Rys. 1. Udry prądowe stosowane do generacji impulsowego pola magnetycznego oraz układy połączeń do badania odporności urządzenia na działanie tego pola (wg PN-EN 61000-4-9, PN-EN 61000-4-10)

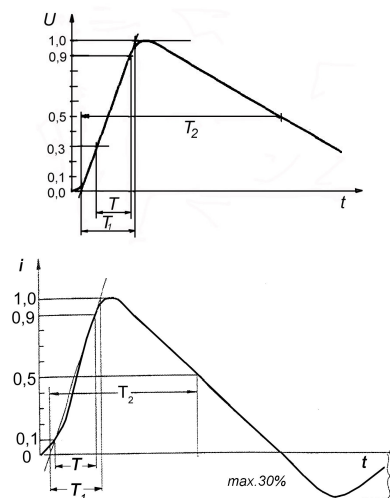
Tabela 3. Poziomy testów impulsowego natężenia pola magnetycznego

Poziom	Impulsowe natężenie pola magnetycznego (A/m.)	
	Udarowe	oscylacyjnie tłumione
1	n.s.	n.s.
2	n.s.	n.s.
3	100	10
4	300	30
5	1000	100
x	specjalny	specjalny

n.s. - nie stosowany

Udry jednobiegunowe

W warunkach laboratoryjnych zagrożenie stwarzane przez przepięcia atmosferyczne oraz przepięcia łączeniowe odwzorowuje się narażając urządzenia na działanie napięć/prądów udarowych o kształcie 1,2/50-8/20 μ s (rys.2).



Rys.2. Przebiegi czasowe udarów napięciowego 1,2/50 i prądowego 8/20

W przypadku stacji elektroenergetycznych do oceny zagrożenia udarowego przyłączy sygnałowych można przyjąć wartości zalecane w klasie IV lub V (Tabela 3.). W tych klasach instalacje są narażone na skoki potencjałów o znacznych wartościach wywołane przez stany nieustalone

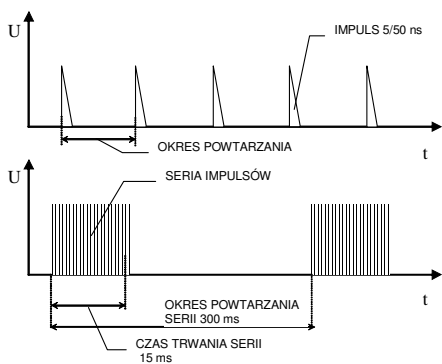
w instalacji elektrycznej, zwarcia oraz przez wyładowania piorunowe. Mogą wystąpić prądy udarowe o wartościach szczytowych rzędu od kilku-kilkudziesięciu kiloamperów.

Tabela 3. Poziomy udarów zalecanych do badań przyłączy sygnałowych w zależności od klasy instalacji (wg PN-EN 61000-4-5)

Klasa instalacji	Poziom probierczy			
	Niesymetryczne obwody/linie		Symetryczne obwody/linie	
	Rodzaj sprzężenia		Rodzaj sprzężenia	
	Między przewodami linii	Między przewodem a ziemią	Między przewodami linii	Między przewodem a ziemią
0	NA	NA	NA	NA
1	NA	0,5	NA	0,5
2	0,5	1,0	NA	1,0
3	1,0	2,0	NA	2,0
4	2,0	4,0	NA	2,0
5	2,0	4,0	NA	4,0
x				

Serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych

Serie szybkich zakłóceń impulsowych 5/50 ns mają symulować stany łączeniowe w sieci zasilającej przenikające także do przyłączy sterujących i sygnałowych urządzeń elektronicznych. Charakterystyczne dla próby są krótki czas narastania udaru (5 ns), cykle powtarzania oraz mała energia (rys. 3).



Rys.3. Serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych

Podstawowe informacje o poziomach probierczych szybkich elektrycznych stanów przejściowych zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Poziomy odporności zgodne z PN-EN 61000-4-4

Poziom odporności	Linie zasilające	Linie we/wy sygnałowe i kontrolne
1	0,5 kV	0,25 kV
2	1 kV	0,5 kV
3	2 kV	1 kV
4	4 kV	2 kV
X-specjalny	---	---

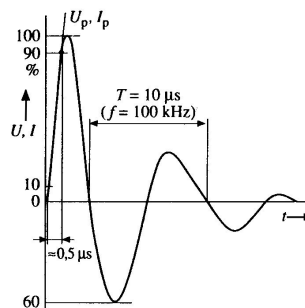
UWAGA: specjalny poziom odporności ustalany przez indywidualne potrzeby odbiorcy

W przypadku stacji elektroenergetycznej należy uwzględnić poziomy probiercze odpowiadające 3 lub 4 klasie instalacji. Poziomy tych klas dotyczą:

- typowych środowisk przemysłowych np. hale przemysłowe, elektrownie, sala przekaźników podstacji napowietrznych linii wysokiego napięcia (poziom 3),
- surowe warunki przemysłowe np. strefy zewnętrzne instalacji przemysłowych i elektrowni, podstacje elektroenergetyczne (poziom 4).

Niepowtarzalne przebiegi oscylacyjne tłumione

Tłumione przebiegi sinusoidalne (rys. 4). powstają w wyniku procesów łączeniowych w liniach zasilających i sterujących oraz podczas wyładowań atmosferycznych. Poziomy odporności przy badaniach niepowtarzalnymi przebiegami oscylacyjnymi tłumionymi są analogiczne jak w przypadku serii szybkich elektrycznych stanów przejściowych



Rys.4. Przebieg oscylacyjny tłumiony (wg PN-IEC 61000-4-12)

Poziomy odporności udarowej przyłączy sygnałowych urządzeń

Projektując systemy ograniczania przepięć liniach przesyłu sygnałów należy uwzględnić informacje o poziomach odporności udarowej przyłączy sygnałowych urządzeń systemów telemechaniki.

Na podstawie dostępnych danych w tabeli 5 zestawiono wymagane wartości poziomów odporności udarowej urządzeń, które mogą być stosowane w takich systemach.

Tabela 5. Poziomy odporności na działanie udarów 5/50 ns i 1,2/50-8/20μs przyłączy sygnałowych urządzeń elektrycznych i elektronicznych

Urządzenia	Poziomy odporności udarowej
Urządzenia informatyczne (PN-EN 55024)	Przyłącza sygnałowe i przyłącza teletransmisyjne: udary 5/50 ns - ± 500V, udary 1,2/50-8/20 - 1000 V.
Urządzenia elektryczne i elektroniczne (NAMUR NE 21)	Linie sygnałowe, cyfrowe, pomiarowe oraz sterujące: udary 5/50 ns - ± 500V, udary 1,2/50-8/20 μs - 1 000V/500V
Sprzęt pomiarowy, sterujący i laboratoryjny (PN-EN 61010-1)	Przyrządy pomiarowe, automatyki i urządzenia laboratoryjne: udary 5/50 - 1 000V poziom podwyższony (zastosowanie przemysłowe) udary 5/50 - 1 000V udary 1,2/50-8/20 μs - 1 000V
Przełączniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczające (PN-IEC 60255-22-4)	Przełączniki pomiarowe i urządzenia zabezpieczające do normalnego zastosowania w elektrowniach, stacjach elektroenergetycznych i zakładach przemysłowych. - udary 5/50 ns - 2000 V ± 10%

Pojawiają się również zalecenia dokładnie określające zakres badań urządzeń telekomunikacyjnych, do których dochodzą linie ze stacji elektroenergetycznych (tabela 6).

Podstawowe zasady ochrony przed przepięciami

Przystępując do ochrony przed przepięciami w obwodach przesyłu sygnałów systemów elektronicznych należy uwzględnić przedstawione poniżej sposoby zmniejszania występującego zagrożenia.

- Zmniejszanie przenikania pól elektromagnetycznych do aparatów i okablowania.
- Wyrównywanie potencjałów.
- Ekranowanie kabli obwodów wtórnych.

Tabela 6. Podstawowy zakres badań obwodów telekomunikacyjnych stosowanych w stacjach elektroenergetycznych

Rodzaj testu	Podstawowe parametry
Badanie napięciem przemiennym lub stałym	Napięcia przemiennie 500V dla napięć do 50 V oraz 2000 V -napięcia od 51 V do 250 V Test trwający 1 minutę, można również badać napięciem stałym o wartości 1,4 napięcia przemiennego.
Badania odporności udarowe	Do badań stosowano napięcie udarowe o kształcie 1,2/50 μ s i wartości szczytowej 5 kV. Testy przeprowadzane na nowych, jeszcze nieużywanych urządzeniach.
	Badania napięciami udarowymi oscylacyjnymi, tłumionymi. Czas narastania napięcia udarowego 75 ns, częstotliwości około 1 MHz. Zanik napięcia do połowy wartości szczytowej w czasie pomiędzy 3 i 6 okresem. Wartość szczytowa 2,5 kV. Częstotliwość powtarzania 6 - 10 udarów w czasie 20 ms. Czas trwania badania 2 s.
	Serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych o wartości szczytowej 4 kV.
W czasie badań napięcia są przykładane pomiędzy: - każdy niezależny obwód a obwód uziemienia (końce niezależnych obwodów powinny być połączone), - połączone zakończenia niezależnych grup obwodów (grupy określone przez producenta), - zakończenia obwodów określonych przez producenta.	

- Instalowanie kabli w metalowych kanałach, grupowanie kabli oraz zachowanie odpowiednich odstępów pomiędzy kablami należącymi do systemów o różnej wrażliwości na zakłócenia.
- Stosowanie kabli światłowodowych z odpowiednim wyposażeniem.
- Instalowanie urządzeń lub układów „ucinających” lub ograniczających przepięcia.
- Separowanie obwodów o różnych potencjałach.

Tworząc system chroniący przed przepięciami należy rozważyć możliwości stosowania każdego z powyższych sposobów i wybrać optymalne rozwiązanie dla analizowanego przypadku.

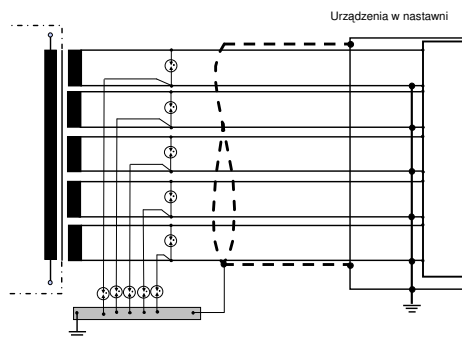
Elementy i układy ochrony przed przepięciami

W przypadku zaburzeń występujących w stacjach elektroenergetycznych stosowanie przedstawionych sposobów ograniczania oddziaływania zakłóceń na obwody niskonapięciowe najczęściej nie eliminuje możliwości powstawania przepięć o wartościach szczytowych przekraczających odporność przyłączy sygnałowych. Do ochrony przed występującym zagrożeniem, w obwodach przesyłu sygnałów należy stosować urządzenia ograniczające przepięcia lub zapewniających separację obwodów. Do takich urządzeń należy zaliczyć:

- elementy gazowyladowcze „ucinające” przepięcia (np. różnego rodzaju iskierniki elektrodami węglowymi lub metalowymi),
- elementy półprzewodnikowe ograniczające przepięcia (np. warystory, diody zabezpieczające, diody Zenera),
- układy ograniczające przepięcia, składające się z odpowiednio dobranych i połączonych elementów gazowyladowczych i półprzewodnikowych,
- elementy izolujące (np. transformatory separujące, optoelementy, wysokonapięciowe przekładniki izolujące, łącza światłowodowe).

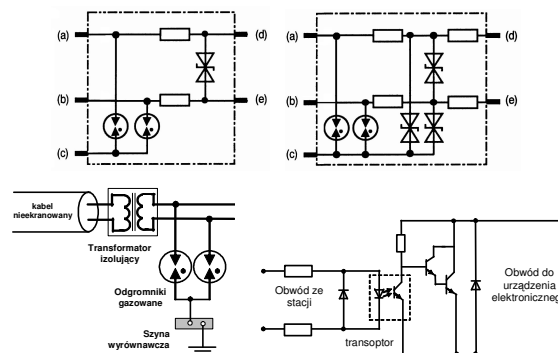
Do ochrony podstawowej najczęściej są stosowane układy elementów gazowyladowczych (rys. 5).

Możliwość występowania znacznych różnic potencjałów na terenie stacji lub pomiędzy stacją a miejscem, do którego są przesyłane informacje stwarza konieczność stosowania podzespołów rozdzielających.



Rys. 5. Przykład zastosowania elementów gazowyladowczych do ograniczania przepięć w układzie z przekładnikiem prądowym

Do izolowania (rozdzielania, separacji) wykorzystywane są transformatory izolujące i transoptory (rys. 6).



Rys. 6. Przykłady układów ograniczających przepięcia oraz rozdzielających obwody w systemach przesyłu sygnałów

Wytrzymałość udarowa izolacji (badania napięciem udarowym 1,2/50 μ s) pomiędzy uzwojeniami transformatora wynosi 25 – 35 kV i dochodzi nawet do 50 kV.

Zakończenie

Stosowanie coraz doskonalszych urządzeń elektronicznych w systemach kontrolno-pomiarowych w stacjach elektroenergetycznych stwarza konieczność przeanalizowania ich zagrożeń udarowych oraz podjęcie odpowiednich środków ochrony. Dodatkowym problemem jest konieczność wyeliminowania wpływu zastosowanych urządzeń ograniczających zakłócenia na pracę chronionych systemów elektronicznych

LITERATURA

- [1] Nowicz R.: Przekładniki napięciowe. Klasyczne, specjalne i niekonwencjonalne. Monografie Politechniki Łódzkiej, 2003,
- [2] NAMUR NE 21:1998, Elektromagnetische Vertraglichkeit von Betriebsmitteln der Prozess- und Labortechnik.
- [3] IEEE Std 4487-2000, IEEE Recommended Practice for Protection of Wire-Line Communication Facilities Serving Electrical Supply Location.
- [4] PN-EN 50174-3:2005, Technika informatyczna. Instalacje okablowania. Część 3: Planowanie i wykonawstwo instalacji na zewnątrz budynku.

Autorzy: dr hab. inż. Andrzej W. Sowa, prof. P.B., Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, Białystok, E-mail: andrzej.sowa@ochrona.net.pl; mgr inż. Jarosław Wiater, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, ul. Wiejska 45D, Białystok, E-mail: jaroslawwiater@vela.pb.bialystok.pl