

Charakterystyka impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych w stacjach elektroenergetycznych wysokiego napięcia

Streszczenie. Stacje elektroenergetyczne WN są podstawową częścią systemu elektroenergetycznego. Występujące w nich zjawiska podczas normalnej pracy oraz stanów awaryjnych są źródłem różnorodnych impulsowych narażeń elektromagnetycznych. W artykule, wykorzystując wyniki prowadzonych badań oraz dostępne dane literaturowe, scharakteryzowano różnego rodzaju potencjalne źródła zaburzeń impulsowych występujących na terenie stacji oraz przedstawiono zagrożenia, jakie one stwarzają. Szczególna uwaga zwrócono na zagrożenia urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Abstract. Electromagnetic impulses in electronic control and measurement systems in HV power station can cause destruction of these system or malfunction in its work. The sources of these impulse disturbances, which appeared during normal and failure conditions of HV systems, are switching operations in primary and secondary circuits, earthing faults or lightning strikes. In this paper some types of disturbances were described. (**Character of impulse electromagnetic disturbances in HV power station**)

Słowa kluczowe: electromagnetic disturbances, high-voltage power stations.

Keywords: zaburzenia elektromagnetyczne, stacja elektroenergetyczna.

Wstęp

Stworzenie warunków do pewnego i niezawodnego działania systemów elektronicznych pracujących na terenach stacji elektroenergetycznych wymaga znajomości źródeł impulsowych narażeń elektromagnetycznych w miejscach ich zainstalowania. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku nowoczesnych systemów sterowania i nadzoru. Projektując obiekty oraz dobierając systemy elektroniczne 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 systemów telemechaniki,
- właściwościach i zasadach doboru elementów i układów wykorzystywanych do ochrony przed narażeniami udarowymi,

Stacje elektroenergetyczne posiadające stałą obsługę winny być rozpatrywane również pod kątem zagrożenia porażeniowego.

Narażenia udarowe na terenie stacji elektroenergetycznej

Dla urządzeń elektronicznych zainstalowanych na terenie stacji elektroenergetycznej szczególnie groźne są:

- operacje łączeniowe wykonywane w obwodach WN/SN w normalnym i awaryjnym stanie pracy stacji,
- bezpośrednie doziemne wyładowania piorunowe na terenie stacji lub w bliskim jej sąsiedztwie,
- wyładowania piorunowe w napowietrzne linie przesyłowe WN/SN,
- skutki działania ograniczników przepięć.

Wymienione źródła mogą spowodować powstanie:

- impulsowego pola elektromagnetycznego działającego bezpośrednio na urządzenia i okablowanie,
- napięć i prądów udarowych w systemach przesyłu sygnałów oraz instalacji elektrycznej,
- lokalnych skoków potencjału oraz wystąpienie różnic potencjałów w różnych punktach rozległego systemu elektroenergetycznego.

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.

Bezpośrednie oddziaływanie na urządzenia impulsowego pola elektromagnetycznego

Urządzenia systemów telemechaniki pracujące na terenie stacji elektroenergetycznej mogą być narażone na bezpośrednie oddziaływanie impulsowych pól elektrycznego i magnetycznego wywołanych przez procesy łączeniowe w systemie elektroenergetycznym oraz wyładowania piorunowe na terenie stacji lub w jej pobliżu. Wyniki dotychczasowych rejestracji wskazują, że na terenie stacji w pobliżu wyłączników wysokonapięciowych mogą wystąpić impulsy elektromagnetyczne o szerokim widmie częstotliwości - od kilkuset kHz do ok. 20 MHz i znacznych wartościach szczytowych (tabela 1.).

Tabela 1. Podstawowe parametry impulsów elektromagnetycznych wytwarzanych w pobliżu wyłączników wysokonapięciowych [2].

Parametry impulsu	Napięcie znamionowe sieci			
	345 kV		500 kV	
	pole elektryczne	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 bliskim sąsiedztwie wyłączników.

Podobne rejestracje prowadzone w stacji 115/14 kV [3] wykazały występowanie impulsowego pola elektrycznego o zestawionych poniżej właściwościach.

- Wewnątrz obiekty budowlanego na terenie stacji wartości natężenia pola elektrycznego dochodziły do ok. 600 V/m.
- W odległości ok. 120 m od stacji wartości natężenia pola elektrycznego nie przekraczały 10 V/m.
- Zmiany natężenie pola miały charakter oscylacji tłumionych o częstotliwościach dochodzących do ok.

20 – 25 MHz na terenie stacji i ok. 10 – 15 MHz poza terenem stacji.

- Czasy narastania natężenia pola zawierały się w przedziale 0,2 – 0,5 μ s, czasy do półszczytu ok. 1 μ s oraz spadku poniżej 10% wartości szczytowej ok. 3 μ s.

Obserwacje systemów elektronicznych pracujących w stacjach elektroenergetycznych wykazały, że natężenie pola elektrycznego o wartościach 150 – 200 V/m wywołane przez procesy łączeniowe może powodować błędne działanie komputerów w sieciach lokalnych.

Bardziej odporne okazały się sterowniki przemysłowe wytrzymujące (z odpowiednio dobranym okablowaniem) oddziaływanie pola elektrycznego o wartościach dochodzących do 3500 V/m.

W przypadku bezpośredniego wyładowania piorunowego na terenie stacji lub w bliskim sąsiedztwie należy uwzględnić możliwość wystąpienia impulsowego pola elektromagnetycznego, którego kształty i wartości szczytowe charakteryzują wartości zebrane w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Wartości podstawowych parametrów impulsowego pola elektrycznego występującego podczas wyładowań doziemnych

Wyładowanie	Parametry natężenia pola elektrycznego
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.
	2,5 – 4 μ s - czas narastania natężenia pola elektrycznego.
Kolejne doziemne wyładowania główne w kanale	Wartości natężenia pola elektrycznego 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

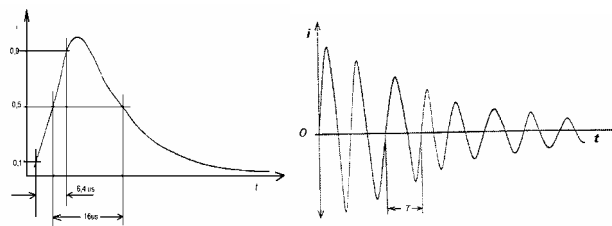
Tablica 3. Wartości podstawowych parametrów impulsowego pola magnetycznego występującego podczas wyładowań doziemnych

Wyładowanie	Parametry natężenia pola i magnetycznego
Główne doziemne wyładowanie piorunowe	Kilka kA/m - w odległości kilku metrów od kanału wyładowania
	Wartości przekraczające 100A/m występują w odległości od kilkudziesięciu do kilkuset metrów,
	Kilka μ s - czas narastania natężenia pola magnetycznego
Kolejne doziemne wyładowania główne w kanale	Wartości natężenia pola magnetycznego wywołanego przez kolejne wyładowania są mniejsze w porównaniu z tymi, jakie powstają podczas pierwszego wyładowania głównego w kanale
	Od dziesiątych części do kilku μ s - czas narastania natężenia pola magnetycznego

Symulację zagrożenia stwarzanego przez wyładowanie piorunowe można przeprowadzić wykorzystując zalecenia zawarte w normach PN-EN 61000-4-9, PN-EN 61000-4-10. Charakter zmian pola magnetycznego wykorzystywanego do badań oraz poziomy stosowanych testów przedstawiono na rys. 1 oraz w tabeli 4.

Przebiegi w obwodach zasilania i przesyłu sygnałów

Wyniki rejestracji prowadzonych w rzeczywistych stacjach elektroenergetycznych podczas procesów łączeniowych wykazują występowanie wykazują występowanie przebiegów o wartościach szczytowych kilka-kilkanaście kilowoltów.



Rys. 1. Udry prądowe stosowane do generacji impulsowego pola magnetycznego (wg PN-EN 61000-4-9, PN-EN 61000-4-10)

Tabela 4. Poziomy testów impulsowego natężenia pola magnetycznego stosowanego do badań

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

Przykładowe wyniki rejestracji prowadzonych w jednej z japońskich stacji zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Przebiegi rejestrowane podczas operacji łączeniowych na terenie stacji [3]

Udry	Miejsce obserwacji udarów		
	Wejście/wyjście sygnałowe do LSWP	Zasilanie P do LSWP	Zasilanie N do LSWP
Przebiegi szybkozmienne	+ 4,1 kV	+ 4,6 kV	+ 4,6 kV
	- 4,6 kV	- 4,6 kV	- 4,6 kV
Tłumione oscylacje	Ok. 3 kV	Ok. 3 kV	Ok. 3 kV
Udry „prostokątne”	+ 2,7 kV	+ 2,5 kV	+ 2,7 kV
	-2,5 kV	- 2,9 kV	- 2,5 kV

LSWP – Lokalny system wyrównywania potencjałów.

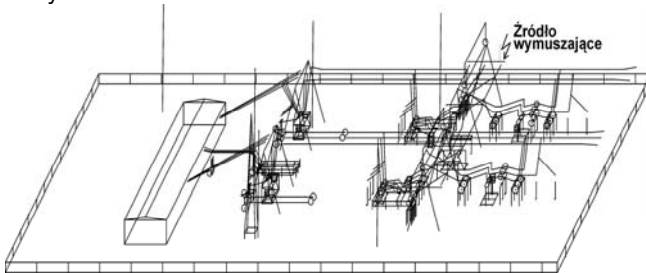
Pojawiają się również zalecenie dokładnie określające zakres badań urządzeń telekomunikacyjnych, do których dochodzą linie ze stacji elektroenergetycznych. Wymagany zakres badań testujących przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Podstawowy zakres badań obwodów telekomunikacyjnych stosowanych na terenie stacji elektro-energetycznej [5]

Rodzaj testu	Podstawowe parametry
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:	
<ul style="list-style-type: none"> • każdy niezależny obwód a obwód uziemienia (końce niezależnych obwodów powinny być połączone), • połączone zakończenia niezależnych grup obwodów (grupy określane przez producenta), • zakończenia obwodów określonych przez producenta. 	

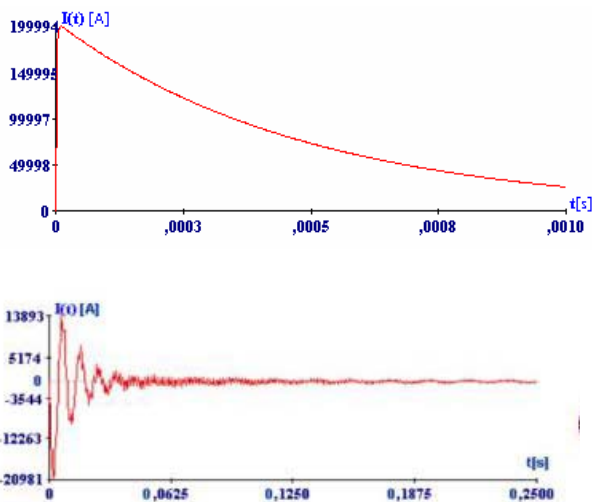
Analiza teoretyczna narażeń impulsowych

Analizę teoretyczną zagrożenia impulsowego przeprowadzono dla typowej stacji 110/15 kV. W skład rozdzielni 110 kV wchodzi dwa pola liniowe, pole łącznika sekcji, dwa pola transformatorowe, dwa stanowiska transformatorów i dwa pola pomiaru napięcia. Układ rozdzielni 110kV jest typu H4. Uziemienie stacji wykonane jest z bednarki ocynkowanej – uziom kratowy i wyrównawczy. Linie transmisyjne sygnałów sterujących i pomiarowych, biegnące z pól stacji do budynku sterowni, umieszczone są wielowarstwowo w kanałach kablowych na głębokości 20 cm. Model obliczeniowy stacji przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Model obliczeniowy typowej stacji elektroenergetycznej 110/15kV rozmieszczenie analizowanych linii sygnałowych

Oceniając zagrożenie wywołane przez doziemne wyładowania piorunowe lub stany łączeniowe wprowadzono w wybrane punkty na terenie stacji prądy o kształtach przedstawionych na rys. 3.



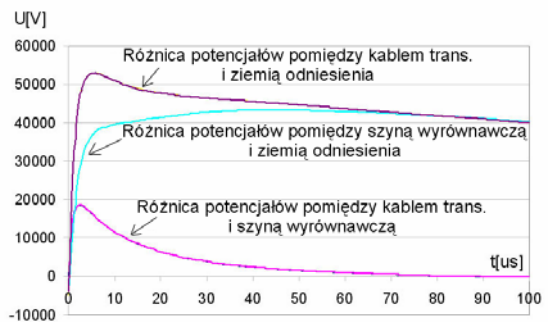
Rys. 3. Przebieg prądów wykorzystywanych do obliczeń przepięć w obwodach przesyłu sygnałów.

Obliczenie wykazuje, że przepięcia pomiędzy przewodami ułożonymi obok siebie osiągają niewielkie wartości od kilku do kilkunastu woltów. Przepięcia o takich wartościach nie stwarzają zagrożenia dla portów sygnałowych urządzeń, a mogą jedynie zniekształcać przesyłane sygnały i spowodować błędny ich odczyt.

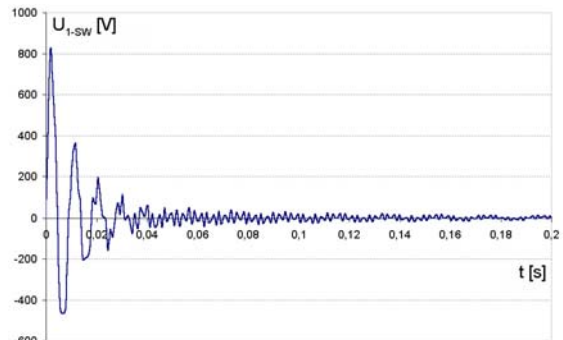
Znacznie groźniejsze są różnice potencjałów pomiędzy przewodami dochodzących do sterowni a lokalnym systemem wyrównywania potencjałów. Mogą one osiągnąć wartości szczytowe:

- od kilkuset woltów do kilku kilowoltów w przypadku stanów łączeniowych,
- dochodzące do 20 kV podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego na terenie stacji.

Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 4 i 5.



Rys. 4. Różnice potencjałów pomiędzy liniami transmisyjnymi, ziemią odniesienia, szyną wyrównawczą podczas wyładowania piorunowego na terenie stacji elektroenergetycznej



Rys. 5. Różnica potencjałów pomiędzy przewodem przesyłu sygnałów a lokalną szyną wyrównawczą w sterowni podczas operacji łączeniowych

Zakończenie

Stosowanie coraz doskonalszych urządzeń w systemach sterowania i nadzoru pracujących w stacjach elektroenergetycznych wymaga określenia poziomów ich narażeń impulsowych. Wyniki pomiarów prowadzonych w stacjach i przeprowadzonych obliczeń wykazały, że głównym zagrożeniem dla takich urządzeń jest skok potencjału systemu uziomowego względem ziemi odniesienia przy jednoczesnym nierównomiernym rozkładzie potencjałów na terenie stacji. Komputerowa analiza zachodzących zjawisk umożliwiła określenie poziomów przepięć oraz wskazanie optymalnych tras ułożenia linii przesyłu sygnałów na terenie stacji.

LITERATURA

- [1] Nowicz R.: Przekładniki napięciowe. Klasyczne, specjalne i niekonwencjonalne. Monografie Politechniki Łódzkiej, 2003,
- [2] Harley S.M., Wong P.S., Balma P.M.: Radio interference and transient field from gas insulated substation. IEEE Tran. On Power Delivery, Vol. 10, No. 1, January 1995.
- [3] Sakakibara T. i inni: Reliability verification of system applying a microprocessor In high-voltage GAS insulated substation. IEEE Tran. On Power Delivery, Vol. 13, No. 4, October 1998.
- [4] NAMUR NE 21:1998, Elektromagnetische Vertraglichkeit von Betriebsmitteln der Prozess- und Labortechnik.
- [5] IEEE Std 4487-2000, IEEE Recommended Practice for Protection of Wire-Line Communication Facilities Serving Electrical Supply Location.
- [6] 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@we.pb.bialystok.pl