

Przebiegi w obwodach sygnalizacji i sterowania stacji elektroenergetycznych wysokich napięć

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki komputerowych symulacji oddziaływania procesów łączeniowych na obwody sygnalizacji i sterowania stacji elektroenergetycznych wysokich napięć - 110/15kV. Zaprezentowano model obliczeniowy stacji, przebiegi zakłócających prądów udarowych oraz przykładowe wyniki obliczeń indukowanych napięć w liniach transmisyjnych na terenie stacji.

Abstract. In the HV substation the damages or malfunctions of the electric and electronic equipment were very often caused by switching operations in primary circuits, earthing faults etc. In this paper a theoretical model of transients caused by switching operation on the open air high-voltage HV substation is presented. These transients induced voltage and current surges in low-voltage cables, which can cause severe problems in control, measurement and secondary circuits.

Słowa kluczowe: przebiegi łączeniowe, obwody sterowania, stacja WN/SN, model 3D.

Keywords: switching operations, control circuits, HV/MV substation, 3D modeling.

Wstęp

Stworzenie warunków do pewnego i niezawodnego działania urządzeń i systemów elektronicznych wymaga oceny impulsowych narażeń elektromagnetycznych w miejscu ich zainstalowania. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku stacji elektroenergetycznej, w której na linii przesyłu sygnałów mogą oddziaływać różnorodne źródła zakłóceń impulsowych. Powstające zakłócenia są szczególnie niebezpieczne dla cyfrowych systemów sygnalizacji i sterowania. Mogą one spowodować błędną pracę systemów lub uszkodzenie poszczególnych urządzeń, co może wywołać niestabilne działanie aparatury wysokonapięciowej lub nawet przerwy w pracy stacji.

Załączanie lub odłączanie linii napowietrznych, zwarcia, zadziałanie różnorodnych zabezpieczeń wywołują przebiegi wewnętrzne w sieci elektroenergetycznej. Wśród głównych czynników wpływających na parametry tych przebiegów należy wymienić charakter zachodzących zjawisk oraz wartości indukcyjności i pojemności występujące w danym obwodzie. W takich przypadkach źródłami zagrożeń dla niskonapięciowych obwodów sygnalizacji i sterowania są rozprzyskające się prądy udarowe oraz impulsowe pole elektromagnetyczne.

Projektując systemy ochrony przed tego rodzaju zagrożeniem należy posiadać podstawowe informacje o poziomach indukowanych przebiegów w liniach przesyłu sygnałów oraz określić poziomy różnic potencjałów pomiędzy przewodzącymi elementami na terenie stacji.

Model stacji elektroenergetycznej 110/15 kV

W Polsce stacje elektroenergetyczne 110/15 kV są zazwyczaj budowane według typowej dokumentacji KSU-3 [1]. Ewentualne modyfikacje dostosowawcze polegają na zmianie umiejscowienia urządzeń i budynków na terenie stacji.

Uwzględniając ten fakt zamodelowano typową stację elektroenergetyczną 110/15 kV. Stacja posiada rozdzielnię 110kV, dwusekcyjną, jednosystemową, szynową, siedmio polową. 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.

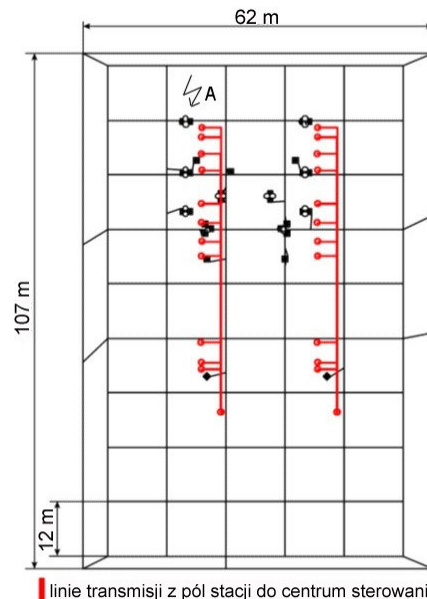
W analizowanym przypadku ocena zagrożenia przepięciowego urządzeń i systemów elektronicznych wymaga wyznaczenia rozprzysku prądów udarowych w nadziemnych i podziemnych elementach przewodzących stacji.

Uwzględniając ten fakt, stworzono, na podstawie oryginalnych planów typowej stacji, trójwymiarowy model z uwzględnieniem elementów będących zarówno na powierzchni ziemi jak i pod ziemią.

Modelując system uziomowy przyjęto następujące założenia:

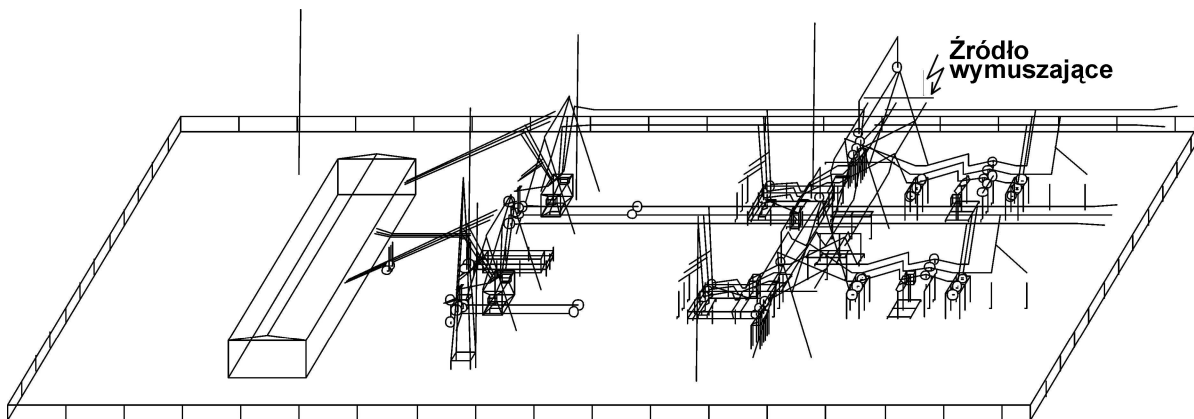
- w stacji elektroenergetycznej zastosowano uziom kratowy (rys.1.),
- uziom wykonano z taśm stalowych o przekroju 80mm² umieszczony w gruncie na głębokości ok. 0,8 m,
- grunt jest jednorodny i jednowarstwowy o rezystywności 100 Ω·m i przenikalności elektrycznej względnej $\epsilon_r=1$.

W tworzonym modelu stacji każdy metalowy element stacji zastąpiono jednym przewodem o zdefiniowanym zastępczym przekroju kołowym, rezystywności względnej (w stosunku do miedzi), przenikalności magnetycznej względnej (w stosunku do próżni).



Rys.1. Siatka systemu uziomowego stacji elektroenergetycznej 110/15kV z rozmieszczonymi liniami sygnałowymi

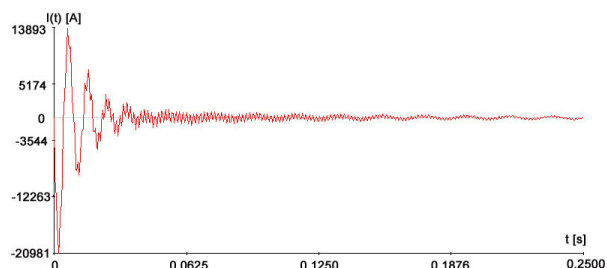
Pominięto wszelkie nieprzewodzące elementy konstrukcyjne stacji, które nie wpływają na rozprzysk prądu udarowego.



Rys.2. Typowa stacja elektroenergetyczna 110/15kV – układ mostkowy H z wyłącznikami w polach liniowych

W wyniku procesu modelowania powstała siatka krzywych rozmieszczonych w przestrzeni zgodnie z projektem stacji. Każda krzywa została opisana równaniem matematycznym opisującym jej lokalizację w przestrzeni za pomocą sześciu współrzędnych $x_1-y_1-z_1$ (początek) i $x_2-y_2-z_2$ (koniec) wraz z uwzględnieniem przekroju i rodzaju materiału.

Do symulacji zagrożeń stwarzanych przez przebiegi łązeniowe w stacji elektroenergetycznej wykorzystano źródło wytwarzające prąd udarowy, którego przebieg (rys.3.) wyznaczono wykorzystując parametry zastępcze sieci elektroenergetycznej [2, 3].



Rys.3. Przebieg prądu wykorzystywanego do symulacji zagrożenia

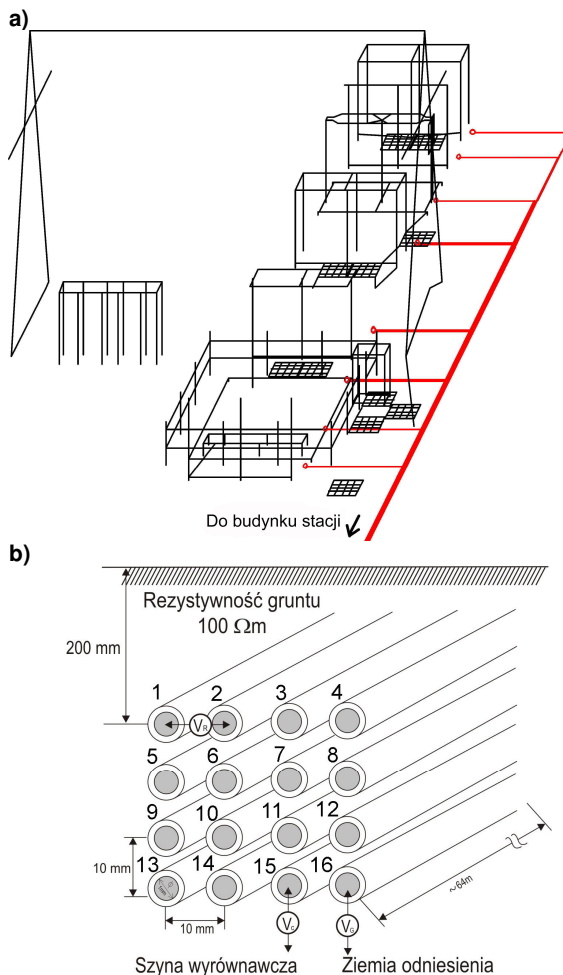
Wyznaczony prąd udarowy rozłożono, wykorzystując program FFTSES [3], na szereg Fouriera. Do obliczeń odpowiedzi układu wybrano pierwsze 98 częstotliwości niosących największą energię udaru. Prąd udarowy wprowadzano do uziemionego elementu konstrukcyjnego na terenie stacji. Wykorzystując otrzymany układ ok. 2000 równań opisujących przestrzenny układ połączeń przewodzących stacji oraz wprowadzając wymuszenie w postaci skoku jednostkowego dla każdej z częstotliwości składowych wyznaczono [2] :

- rozkład prądów i rozkład pól elektromagnetycznych na terenie stacji,
- przebiegi indukowanych w układach przewodów,
- różnice potencjałów pomiędzy przewodami a lokalnym systemem wyrównawczym.

Zakłócanie obwodów przesyłu sygnałów

Na terenie stacji linie przesyłu sygnałów sterujących i pomiarowych umieszczone są wzdłuż pól w kierunku budynku sterowni.

Przewody o długości ok. 62 m umieszczono w czterech warstwach w gruncie na głębokości ponad 0,2 m. Odległość pomiędzy sąsiednimi przewodami wynosiła 10mm (rys.4.).



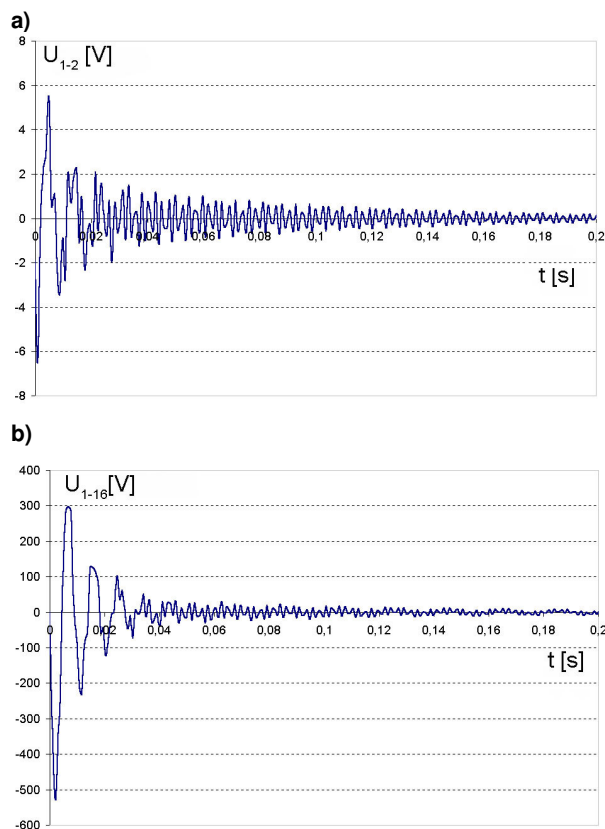
Rys. 4. Rozmieszczenie linii przesyłu sygnałów: a) na terenie stacji elektroenergetycznej, b) w kanale kablowym

Przebiegi w obwodach przesyłu sygnałów

W obwodach przesyłu sygnałów ułożonych na terenie stacji wyznaczono przebiegi napięć pomiędzy:

- przewodami w zależności od miejsca ich ułożenia,
- poszczególnymi przewodami a lokalnym systemem wyrównania potencjałów w sterowni,
- poszczególnymi przewodami a ziemią odniesienia.

Przykłady wyznaczonych przebiegów napięć pomiędzy przewodami przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przepięcia indukowane pomiędzy: a) przewodami ułożonymi obok siebie (przewody 1 i 2), b) przewodami skrajnymi (przewody 1 i 16)

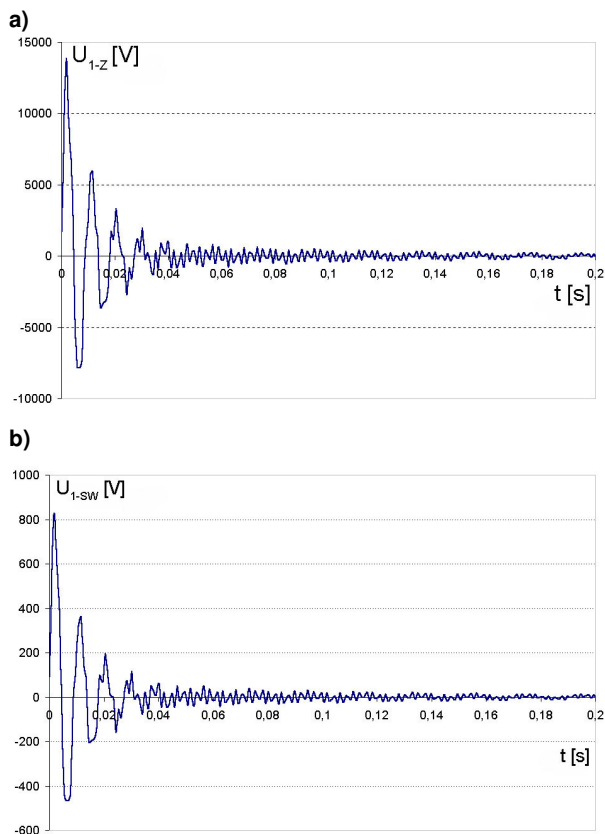
Przepięcia pomiędzy przewodami ułożonymi obok siebie osiągają niewielkie wartości od kilku do kilkunastu woltów. Przepięcia o takich wartościach nie stwarzają zagrożenia dla portów sygnałowych urządzeń, a mogą jedynie zniekształcać przesyłane sygnały i spowodować błędny ich odczyt.

W analizowanym układzie przewodów znacznie większe wartości osiągają przepięcia pomiędzy przewodami skrajnymi (rys.5b.). Powstające przepięcia mogą być groźne jedynie dla urządzeń, do których dochodzi kilka par przewodów.

Różnice potencjałów o wartościach szczytowych od kilkuset woltów do kilku kilowoltów mogą wystąpić pomiędzy przewodami dochodzących do sterowni a lokalnym systemem wyrównywania potencjałów (rys.6b). Różnice potencjałów o takich wartościach mogą spowodować uszkodzenia portów sygnałowych urządzeń.

Szczególnie groźne są różnice potencjałów, jakie występują pomiędzy przewodami a ziemią odniesienia (rys.6a). Na ich działanie mogą być narażone te urządzenia w sterowni, do których dochodzą instalacje połączonych z lokalnym systemem wyrównawczym oraz połączona z odległym systemem uziomowym np. linie telekomunikacyjne. Mogą one stanowić również zagrożenie dla personelu stacji.

W takim przypadku, eliminacja zagrożenia wymaga zastosowania w obu instalacjach urządzeń ograniczających przepięcia i wyrównujących potencjały.



Rys. 6. Różnice potencjałów pomiędzy jednym z przewodów (przewód nr 1) a lokalną szyną wyrównawczą w sterowni (krzywa a) oraz ziemią odniesienia (krzywa b).

Wnioski

Obliczenia wykazały, że w stacjach elektroenergetycznych 110/15 kV jednym z głównych zagrożeń jest skok potencjału systemu uziomowego względem ziemi odniesienia przy jednocześnie nierównomiernym rozkładzie potencjałów na terenie stacji. Powstają znaczne różnice potencjałów pomiędzy przewodami ułożonymi na terenie stacji a lokalnymi systemami wyrównywania potencjałów, co może stwarzać zagrożenie zarówno dla urządzeń elektronicznych połączonych z obwodami sygnalizacji i sterowania, jak i dla obsługi stacji.

Przeprowadzona analiza wykazała, że numeryczne określanie przepięć na terenie stacji elektroenergetycznych pozwala na wstępną ocenę występującego zagrożenia i właściwy dobór elementów oraz układów ograniczających lub eliminujących powstające przepięcia.

LITERATURA

- [1] Projekt stacji elektroenergetycznej 110/15kV typu KSU-3, Energoprojekt Kraków S.A.
- [2] "HIFREQ User's Manual: Frequency Domain Analysis of Buried Conductor Networks" Safe Engineering Services & Technologies Ltd., Montreal Canada.
- [3] "FFTSES User's Manual: Fast Fourier Transform" Safe Engineering Services & Technologies Ltd., Montreal Canada.

Autorzy: dr hab. inż. Andrzej Sowa, Politechnika Białostocka, Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej, ul. Wiejska 45d, 15-351 Białystok, E-mail: andrzejsowa@ochrona.net.pl; mgr inż. Jarosław Wiater, Katedra Telekomunikacji i Aparatury Elektronicznej, ul. Wiejska 45d, 15-351 Białystok, E-mail: jaroslawwiater@vela.pb.bialystok.pl.