

Andrzej SOWA

Politechnika Białostocka, 15-353 Białystok, ul. Wiejska 45D, e-mail: andrzejsowa@ochrona.net.pl

Jarosław WIATER

Politechnika Białostocka, 15-353 Białystok, ul. Wiejska 45D, e-mail: jaroslawwiater@vela.pb.bialystok.pl

ZAKŁÓCENIA IMPULSOWE W TORACH SYGNAŁOWYCH UŁOŻONYCH NA TERENIE STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ 110/15KV

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki komputerowych symulacji oddziaływania prądów udarowych rozprzyskających się w systemie uziomowym stacji elektroenergetycznej 110/15kV na linie przesyłu sygnałów ułożone na terenie tej stacji. Rozpatrywano prądy udarowe występujące podczas procesów łączeniowych oraz doziemnych wyładowań piorunowych w elementy (zwody, lub konstrukcje) na terenie stacji.

1. WPROWADZENIE

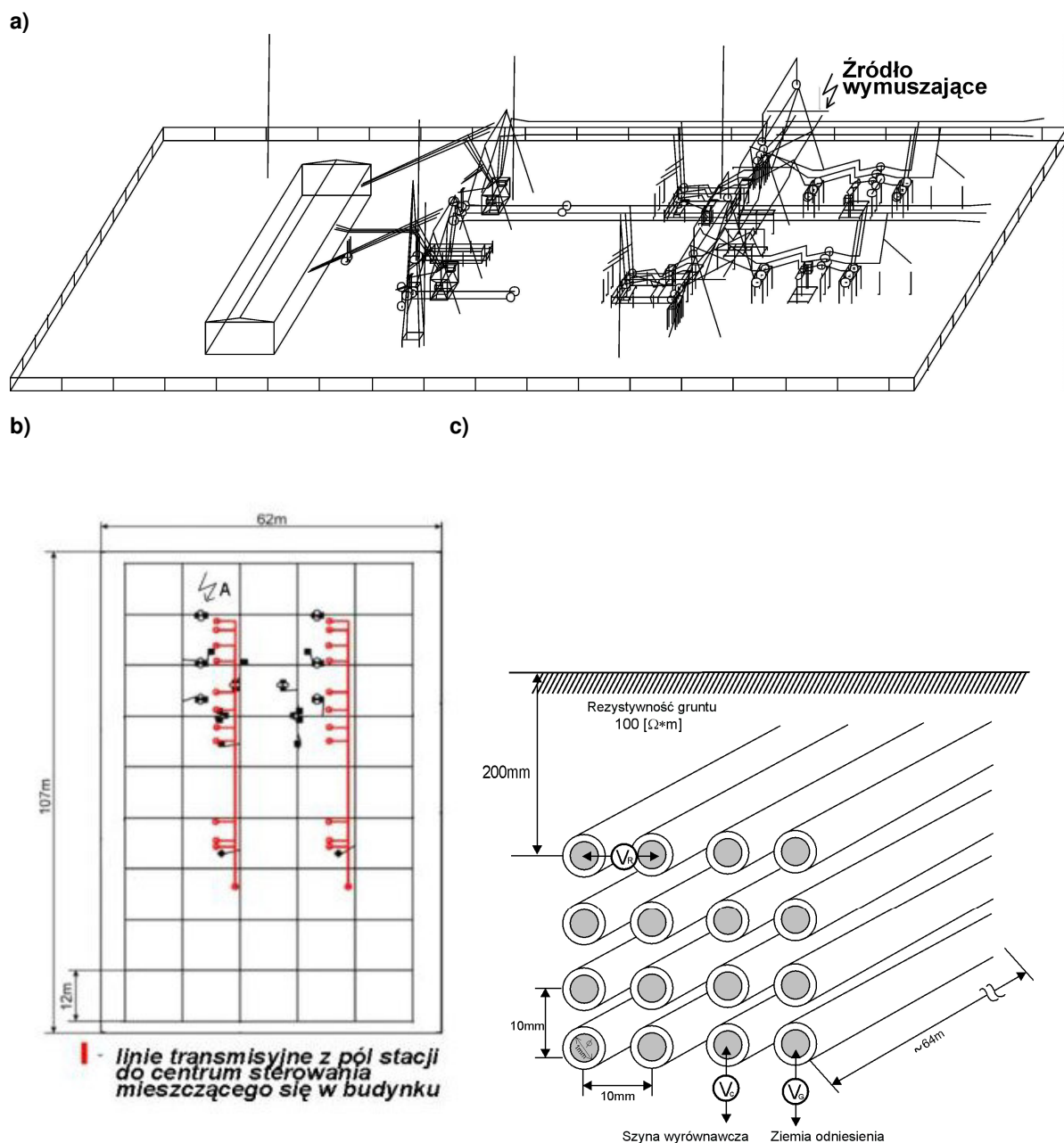
Stworzenie warunków do pewnego i niezawodnego działania systemów elektronicznych wymaga oceny impulsowych narażeń elektromagnetycznych w miejscu ich zainstalowania. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku stacji elektroenergetycznej, w której na linie przesyłu sygnałów mogą oddziaływać różnorodne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

Załączanie lub odłączanie linii napowietrznych, zadziałanie różnorodnych zabezpieczeń generuje w obwodzie wysokiego napięcia łuk elektryczny i szybką zmianę prądu. Rezultatem tych operacji są powstające stany nieustalone zależne od indukcyjności i pojemności obwodu. Jednocześnie powstaje impulsowe pole elektromagnetyczne, które indukuje przepięcia w różnych nie sprzężonych galwanicznie obwodach.

Znacznie groźniejszym źródłem impulsowego pola elektromagnetycznego, które może powodować powstawanie przepięć w układach przewodów, jest prąd udarowy płynący podczas bezpośrednich wyładowań piorunowych na terenie stacji.

2. CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANEJ STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ

W Polsce stacje elektroenergetyczne 110/15kV są zazwyczaj budowane według typowej dokumentacji KSU-3 [1]. Ewentualne modyfikacje polegają na zmianie umiejscowienia urządzeń i budynków na terenie stacji. Uwzględniając ten fakt zamodelowano typową stację elektroenergetyczną 110/15 kV (rys. 1a).



Rys. 1. Typowa stacja elektroenergetyczna 110/15kV – układ mostkowy H z wyłącznikami w polach liniowych (a), siatka systemu uziomowego stacji elektroenergetycznej 110/15kV z rozmieszczonymi liniami sygnałowymi (b), rozmieszczenie linii transmisyjnych w kanale kablowym stacji (c).

Stacja posiada rozdzielnię 110kV, dwusekcyjną, jednosystemową, szynową, siedmio połową zbudowaną w oparciu o wysokie i niskie żelbetowe konstrukcje wsporcze z oszynowaniem linkowym AFL-6 240mm².

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 z pól stacji są umieszczone wzdłuż nich w kierunku do budynku sterowni. Umieszczone są wielowarstwowo w kanałach kablowych na głębokości 20 cm.

3. CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDEŁ WYMUSZAJĄCYCH

Oceniając zagrożenie piorunowe, przeprowadzono analizę najbardziej niekorzystnego wyładowania w obiekt i wpłynięcia do najwyższej położonej konstrukcji stacji prądu udarowego o wartości szczytowej 200kA i kształcie 10/350μs (prąd pierwszego wyładowania głównego w kanale w przypadku tzw. pierwszego poziomu ochrony). Przebieg prądu piorunowego opisano równaniem:

$$i(t) = \frac{I}{\eta} (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$$

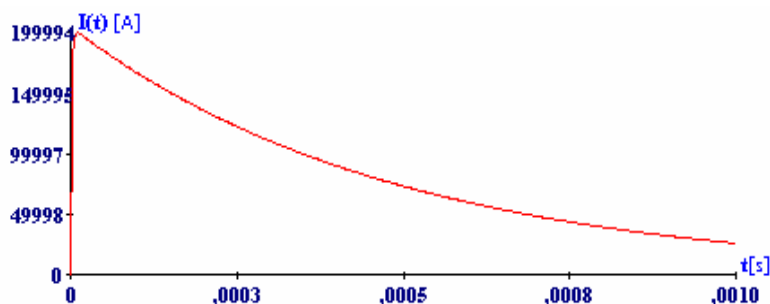
gdzie:

I – wartość szczytowa prądu,

η – współczynnik korekcyjny,

α, β – stałe czasowe.

Opisany przez powyższą zależność kształt prądu piorunowego przedstawiono na rys. 2.



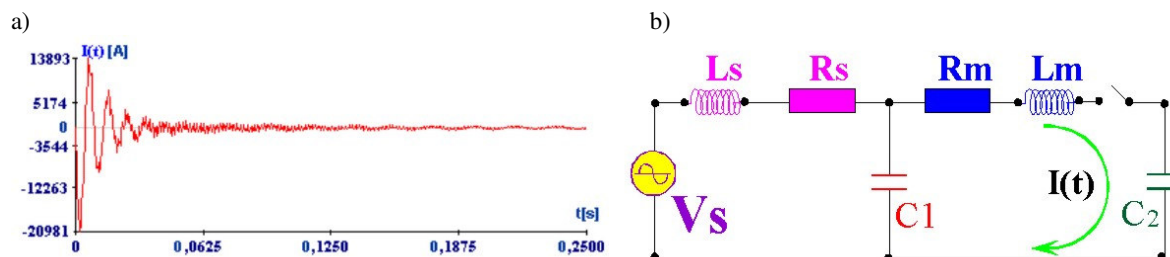
Rys. 2. Przebieg prądu piorunowego 10/350μs 200kA użyty jako źródło zakłóceń.

Źródłem prądu łączeniowego o przebiegu przedstawionym na rys. 3a był układ (rys. 3b), który zawierał:

V_S – fazowe napięcie znamionowe sieci,

R_S, L_S, C_1 – parametry zastępcze sieci elektroenergetycznej widziane w miejscu wystąpienia przebiecia,

R_m, L_m, C_2 – parametry zastępcze sieci elektroenergetycznej dołączone w procesie łączeniowym.



Rys. 3. Przebieg prądu łączeniowego wykorzystanego jako źródło zakłócające (a). Układ zastępczy wytwarzający w/w prąd (b).

4. WYNIKI OBLICZEŃ

Ocena zagrożenia wymaga wyznaczenie rozplywu prądów w systemie przewodzących elementów w analizowanej stacji elektroenergetycznej. Na podstawie oryginalnych planów typowej stacji stworzono trójwymiarowy model tego systemu z uwzględnieniem elementów będących zarówno na powierzchni ziemi jak i pod ziemią.

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). W modelu zastosowano szereg uproszczeń polegających na pominięciu elementów stanowiących dla prądu elektrycznego przerwę np.: wszelkiego rodzaju izolatory, olej transformatorowy itp..

Upraszczając model uwzględniono także sposób rozptywu prądu piorunowego w stacji – pomijając wszelkie elementy, które nie biorą w nim udziału.

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.

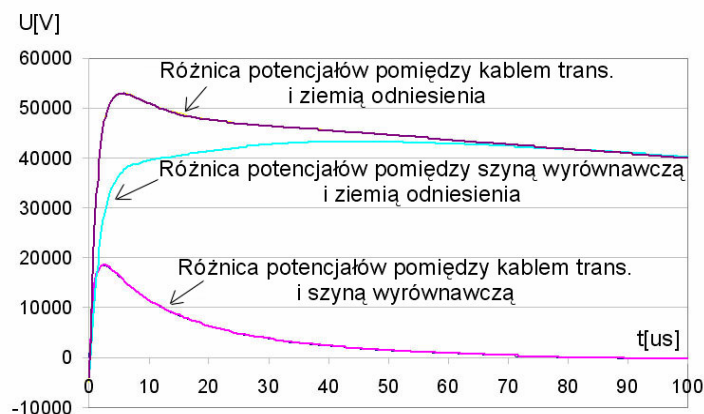
Na podstawie układu 1465 równań wyznaczono odpowiedź układu na wymuszenie w postaci skoku jednostkowego dla szeregu częstotliwości składowych przy pomocy programu komputerowego HIFREQ [2].

Poszczególne prądy wymuszające rozłożono na szereg Fouriera (przy pomocy programu FFTSES [3]) otrzymując szereg częstotliwości składowych. Do obliczeń odpowiedzi układu wybrano dla uderu piorunowego pierwszych 32 oraz dla procesu łączeniowego pierwsze 98 częstotliwości niosących największą energię uderu. Kolejnym krokiem było wyznaczenie rozptywu prądów i rozkładu napięć na terenie stacji.

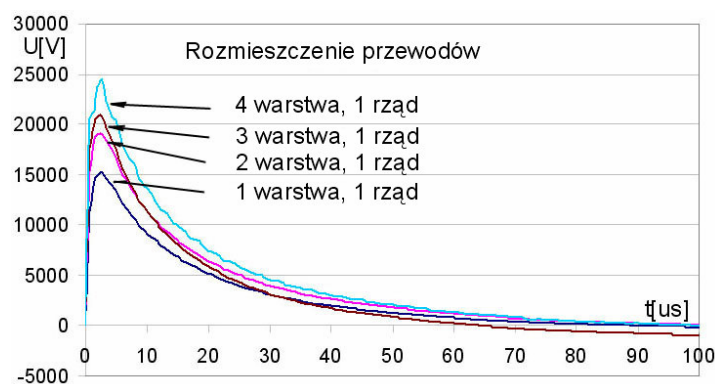
W liniach transmisyjnych ułożonych na terenie stacji wyznaczono w dziedzinie czasu, przebiegi napięć:

- pomiędzy przewodami w zależności od sposobu ich ułożenia oraz głębokości,
- przewodów w odniesieniu do szyny wyrównawczej sterowni,
- przewodów względem ziemi odniesienia.

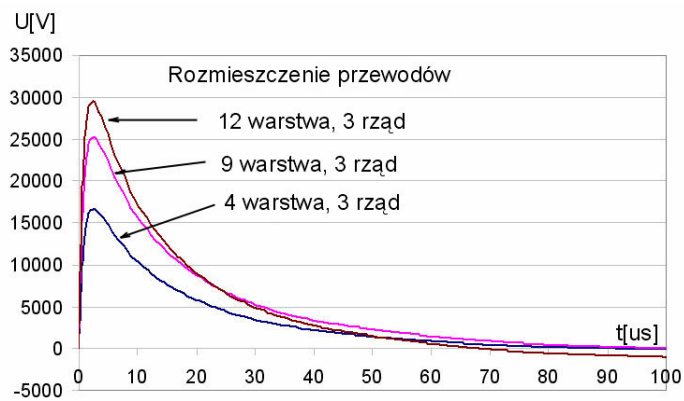
Przykłady otrzymanych wyników, w przypadku zagrożeń stwarzanych przez rozpryskujący się prąd piorunowy podczas wyładowania na terenie stacji, przedstawiono na rys. 4, 5, 6 i 7.



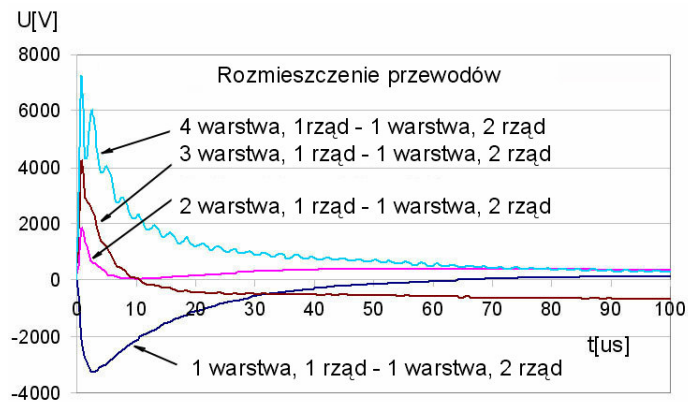
Rys. 4. Różnice potencjałów pomiędzy liniami transmisyjnymi, ziemią odniesienia, szyną wyrównawczą.



Rys. 5. Różnice potencjałów pomiędzy liniami transmisyjnymi a szyną wyrównawczą sterowni stacji dla różnych głębokości ułożenia (V_c).

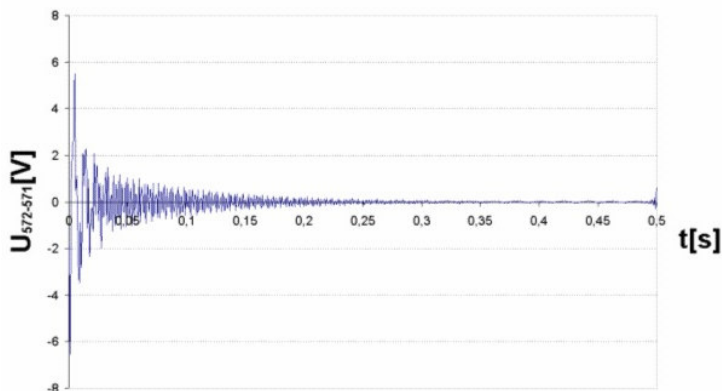


Rys. 6. Różnice potencjałów pomiędzy liniami transmisyjnymi a szyną wyrównawczą sterowni stacji dla różnych głębokości ułożenia (V_c).

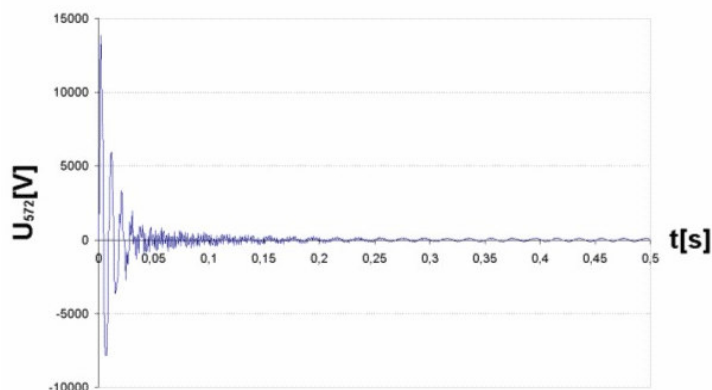


Rys. 7. Różnice potencjałów pomiędzy liniami transmisyjnymi dla różnych głębokości ułożenia (V_R).

Znacznie mniejsze wartości napięć uzyskano przy przepływie prądu łączniowego. Przykłady wyznaczonych różnic potencjałów przedstawiono na rys. 8 i 9.



Rys. 8. Różnica potencjałów pomiędzy sąsiednimi liniami transmisyjnymi (1 warstwa, 1 rząd - 1 warstwa, 2 rząd).



Rys. 9 Różnica potencjałów pomiędzy linią transmisyjną (1 warstwa, 1 rząd) a ziemią odniesienia (V_R).

5. WNIOSKI

Prądy udarowe płynące w systemie uziomowym stacji elektroenergetycznej powodują powstawanie przepięć pomiędzy przewodami przesyłu sygnałów oraz różnice potencjałów na terenie stacji.

Może to spowodować nieprawidłowe funkcjonowanie zabezpieczeń, niestabilną pracę wyłączników zwarciovych, odłączników, a nawet spowodować przerwę w dostawie energii elektrycznej, awaryjne odłączenie generatorów w elektrowni. W najgorszym wypadku znaczna część systemu elektroenergetycznego może ulec wyłączeniu pomimo pełnej sprawności urządzeń i linii energetycznych.

Projektując systemy ochrony przed tego rodzaju zagrożeniem należy posiadać podstawowe informacje o poziomach indukowanych przepięć w liniach przesyłu sygnałów oraz wartościach różnic potencjałów pomiędzy przewodzącymi elementami na terenie stacji. Próbę określenia występującego zagrożenia przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

Obliczenia wykazały, że w stacjach elektroenergetycznych 110/15kV typu KSU-3 jednym z głównych zagrożeń jest skok potencjału systemu uziomowego względem ziemi odniesienia przy jednocześnie nierównomiernym rozkładzie potencjałów na terenie stacji. Wytwarza on znaczne różnice napięć w różnych punktach stacji.

Szczególnie groźne są różnice potencjałów, które mogą powstać wewnątrz urządzeń, do których dochodzi część instalacji połączonych z lokalnym systemem uziomowym oraz instalacje połączone z systemem uziomowym o innym potencjale np. linie telekomunikacyjne, instalacje elektryczne.

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

Przeprowadzona analiza wykazała, że numeryczne określanie przepięć na terenie stacji elektroenergetycznych jest zasadne z ekonomicznego punktu widzenia. Pozwala na wskazanie najbardziej czułych na przepięcia linii transmisyjnych i miejsc.

Wiedza ta pozwala na modyfikację przyszłych projektów pod kątem minimalizacji przepięć w myśl zasady „lepiej zapobiegać niż leczyć”.

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.