

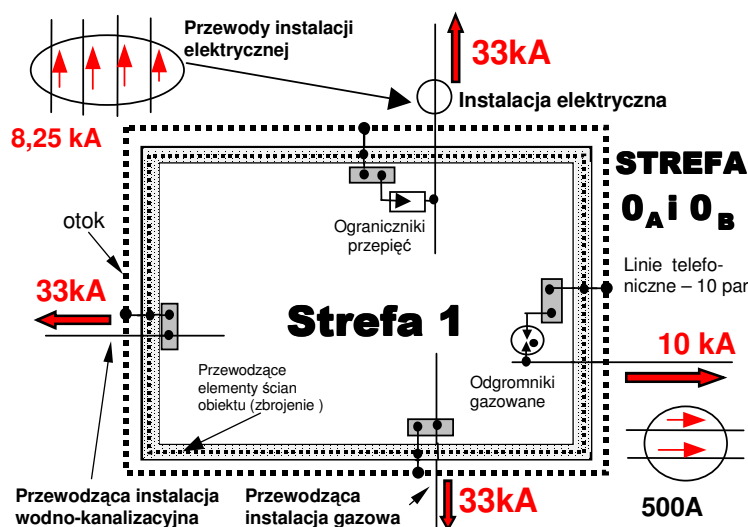
SKUTECZNOŚĆ OCHRONY PRZED PRZEPIĘCIAMI POWSTAJĄCYMI PODCZAS WYŁADOWAŃ PIORUNOWYCH W LINIE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

Ograniczniki przepięć instalowane w liniach średnich i niskich napięć powinny zapewnić ochronę przed bezpośrednim oddziaływaniem części prądu piorunowego oraz przed wszelkiego rodzaju przepięciami. Skuteczność stosowanych układów do ograniczania przepięć przeanalizowano dla przypadków bezpośrednich wyładowań piorunowych w przewody linii średniego napięcia dochodzącej do stacji elektroenergetycznej SN/nn 15/0,4.

1. Wprowadzenie

Oceniając skuteczność ochrony przed przepięciami instalacji elektrycznej oraz zasilanych urządzeń należy przeanalizować wszelkiego rodzaju zagrożenia, jakie mogą wystąpić w analizowanym przypadku. W obiektach posiadających urządzenia piorunochronne największe zagrożenie stwarza prąd piorunowy podczas bezpośredniego wyładowania atmosferycznego w tej obiekt. Od miejsca udaru prąd piorunowy sływa zwodami i przewodami odprowadzającymi do systemu uziomowego oraz do instalacji przewodzących dochodzących do tego obiektu poprzez system uziomowy.

Przykładowy podział prądu piorunowego o wartości szczytowej 200 kA przedstawiono na rys.1.



Rys.1. Przykład podziału prądu piorunowego w instalacjach przewodzących dochodzących do obiektu budowlanego

Przedstawione wyniki otrzymano przy założeniu [7] równomiernego podziału prądu piorunowego pomiędzy system uziomowy obiektu a przewodzące instalacje do niego dochodzące.

Część prądu wpływa bezpośrednio od instalacji elektrycznej. Ochrona przed działaniem tego prądu wymaga zastosowania urządzeń do ograniczania przepięć **SPD** (Surge Protective Devices) spełniających wymagania wynikające z zakresu badań próby klasy I [8].

W uproszczonych rozważaniach można przyjąć, że zastosowanie ograniczników w instalacji elektrycznej i liniach telefonicznych najczęściej tylko w nieznacznym stopniu ogranicza skok potencjału całego obiektu wywołanych przez prąd piorunowy wpływający do systemu uziomowego. Zastosowanie ograniczników klasy I ogranicza różnice napięć pomiędzy poszczególnymi przewodami instalacji, ale każdy z tych przewodów znajduje się na wysokim potencjale względem pozostałych instalacji uziemionych w innym punkcie niż instalacja elektryczna rozpatrywanego obiektu.

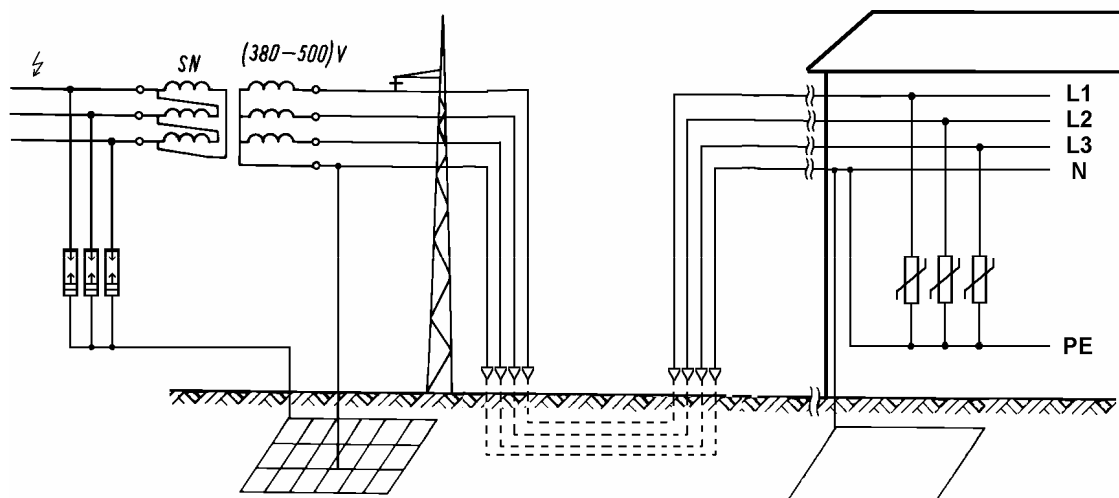
W obiekcie nie wymagającym ochrony przed bezpośrednim uderzeniem piorunu (obiekt bez urządzenia piorunochronnego) największe zagrożenie wystąpi podczas bezpośredniego uderzenia pioruna w przewody napowietrznych linii:

- niskiego napięcia (przy zasilaniu podstacji z linii napowietrznych średniego napięcia),
- średniego napięcia (przy zasilaniu obiektu linią kablową niskiego napięcia).

Poniżej zostanie szczegółowo przeanalizowany drugi z przedstawionych przypadków.

2. Modelowania zagrożenia piorunowego

W analizowanym systemie elektroenergetycznym do stacji SN/nn dochodzi napowietrzna linia średniego napięcia SN, a poszczególni odbiorcy zasilani są z podziemnych linii kablowych (rys.2.). Stacja SN/nn pracuje z punktem neutralnym izolowanym po stronie średniego napięcia i uziemionym po stronie niskonapięciowej (układ połączeń uzwojeń transformatora – Dyn).



Rys.2. Uproszczony schemat stacji SN/nn 15/0.4 kV z przyłączonym odbiorcą energii zasilanym linią kablową

Symulując występujące zagrożenie piorunowe wprowadzano prądy udarowe do:

- pojedynczego przewodu fazowego linii,
- każdego z trzech przewodów fazowych.

Do obliczeń wybrano prądy o wartościach szczytowych 10 kA i kształtach:

- ✓ 10/350 μ s - odpowiadający zagrożeniu stwarzanemu przez prąd piorunowy pierwszego wyładowania piorunowego,
- ✓ 0,25/100 μ s - symulujący prąd udarowy kolejnego wyładowania piorunowego w kanale.

Dodatkowo w prowadzonych obliczeniach przyjęto następujące założenia:

- rezystancyjne obciążenie transformatora po stronie nn (układ rezystorów o wartości 5Ω połączonych w gwiazdę),
- wewnątrz obiektu budowlanego instalacja elektryczna wykonana jest w systemie TN-C-S,
- rezystancję uziomu stacji SN/nn w warunkach dynamicznych wynosi 2Ω ,
- rezystancję dynamiczną uziomu otokowego obiektu budowlanego wynosi 10Ω ,
- wartość impedancji falowe pojedynczego przewodu linii napowietrznej SN przyjęto równą 400Ω .

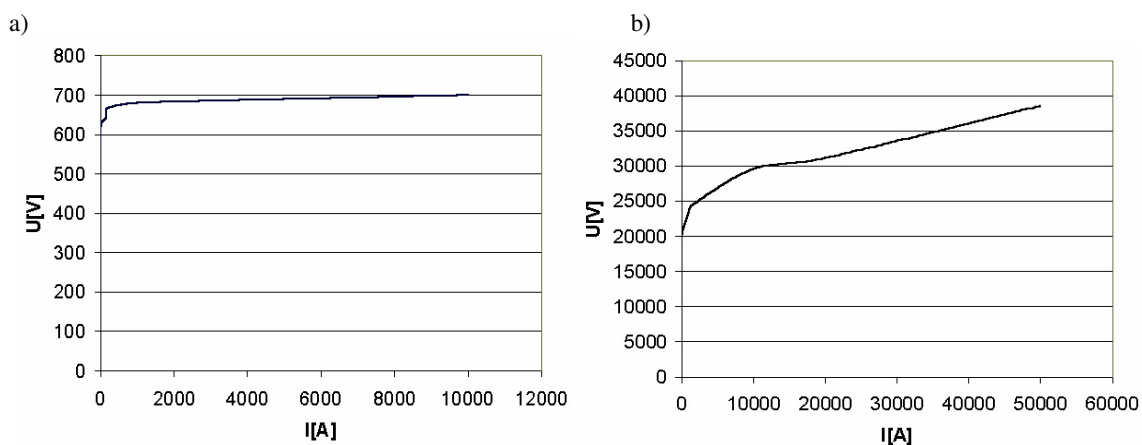
Analizę stanów nieustalonych w dziedzinie czasu przeprowadzono wykorzystując program **ATP-EMTP** (Alternative Transients Program version of Electromagnetic Transients Program). Daje on możliwość modelowania zarówno elementów liniowych jak i nieliniowych. W programie zamodelowano rozważany układ stacji SN/nn 15/0.4kV wraz z instalacją elektryczną po stronie SN i nn. W prowadzonej analizie teoretycznych wykorzystano modele:

- rzeczywistego transformatora firmy ABB typu TNOSCF 1000/15 PN [11] w układzie połączeń Dyn5 o mocy znamionowej 1000kVA,
- typowych ograniczników przepięć w stosowanych liniach SN,
- urządzeń do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej w obiekcie budowlanym.

W przypadku ograniczników przepięć SN wykorzystano charakterystykę typowego odgromnika zaworowego SN (rys.3b). Do odwzorowania charakterystyki napięciowo-prądowej niskonapięciowego urządzenia do ograniczania przepięć zarejestrowano rzeczywisty przebieg napięcia i prądu w typowym SPD (rys.3a.) o następujących parametrach:

- najwyższe napięcie robocze $275V$,
- napięcie obniżone $\text{poniżej } 1500V$,
- znamionowy prąd wyładowczy 20 kA ,
- największy prąd wyładowczy 40 kA .

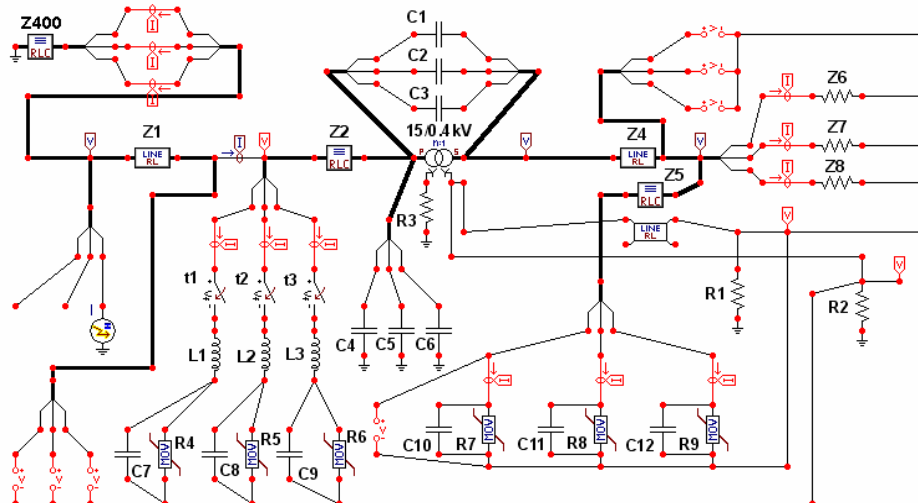
Po zdjęciu charakterystyki wprowadzono współrzędne do programu ATP-EMTP – element typu MOV.



Rys. 3 Charakterystyka napięciowo-prądowa ogranicznika przepięć SN i urządzenia do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej

W modelu transformatora, w celu odwzorowania zjawisk zachodzących przy wystąpieniu przebiegów szybkozmiennych, uwzględniono pojemności pomiędzy uzwojeniami strony pierwotnej i wtórnej.

Schemat analizowanego układu oraz zestawienie wartości podstawowych parametrów elementów w symulowanym systemie przedstawia rys.4. oraz tablica 1.



Rys. 3. Schemat analizowanego układu w programie ATP-EMTP

Tab. 1 Zestawienie wartości elementów użytych do symulacji

Element	Wartość
R ₁	10Ω
R ₂	2Ω
R ₃	10MΩ
R _{4,5,6}	wg ch-styki nieliniowej rys.3a
R _{7,8,9}	wg ch-styki nieliniowej rys. 3b
C _{1,2,3,4,5,6}	100pF
C _{7,8,9,10,11,12}	5000pF
L _{1,2,3}	10μH
t _{1,2,3}	80ns (zwłoka w zadziałaniu)
Z ₁	R _{ABC} =10Ω L _{ABC} =1mH (podejście do stacji SN/nn)
Z ₂	R _{ABC} =2,205Ω L _{ABC} =42μH (parametry transformatora przeliczone na stronę SN)
Z _{3,4}	R _{ABCN} =0,9Ω L _{ABCN} =10μH (typowa linia kablowa niskiego napięcia o długości 300m)
Z ₅	L _{ABC} =1μH
Z _{6,7,8}	R=5Ω
Z ₄₀₀	Z=400Ω (impedancja falowa linii SN)

3. Analiza otrzymanych wyników

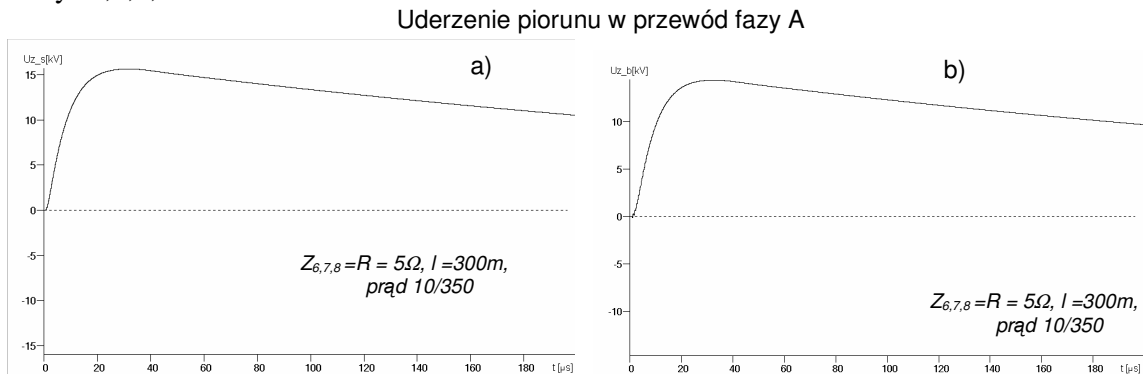
Podczas bezpośredniego wyładowania piorunowego w przewody linii SN od miejsca uderzenia w obu kierunkach linii przesuwają się fale napięciowe wywołane przez rozprzyskujący się prąd piorunowy. Wywołują one przeskoki iskrowe na kolejnych izolatorach. Pomimo tych przeskoków znaczna część prądu piorunowego dochodzi do transformatora i po zadziałaniu ograniczników przepięć SN sływa do systemu uziomowego stacji. Przepływ prądu udarowego wywołuje lokalny skok potencjału. Uziemienie punktu neutralnego strony niskonapięciowej transformatora powoduje przenoszenie tego skoku potencjałów na stronę wtórną transformatora a następnie przewodami instalacji elektrycznej bezpośrednio do odbiorcy energii elektrycznej.

Wartość szczytowa wynoszonego napięcia, uzależniona jest od wzajemnego rozmieszczenia miejsc uziemień transformatora i ograniczników przepięć SN.

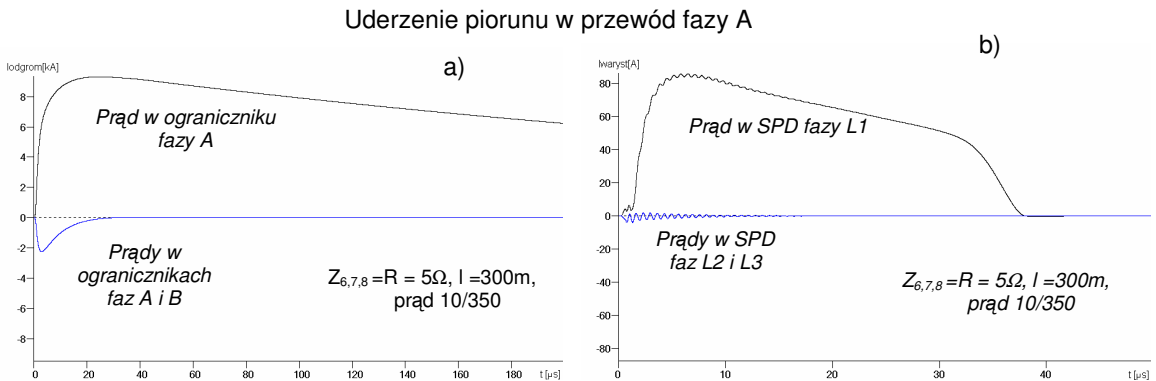
W przypadku wyładowania atmosferycznego napięcie wynoszone w ten sposób nakłada się na występujące w tej chwili napięcie fazowe po stronie niskiego napięcia. Różnica wartości szczytowych napięć fazowych względem przewodu neutralnego nie zmienia się. Powoduje to nieprawidłowe działanie urządzeń do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia, gdyż stosowane obecnie SPD reagują tylko na różnicę potencjału między swoimi wyprowadzeniami. Przykładowe wyniki obliczeń:

- prądów płynących w ogranicznikach średnich i niskich napięć,
- różnic potencjałów pomiędzy uziomami stacji i obiektu a ziemią odniesienia,
- napięć na obciążeniu

przy wyładowaniu piorunowych w jeden z przewodów napowietrznej linii SN przedstawiono na rys.4,5,6, 7 i 8.

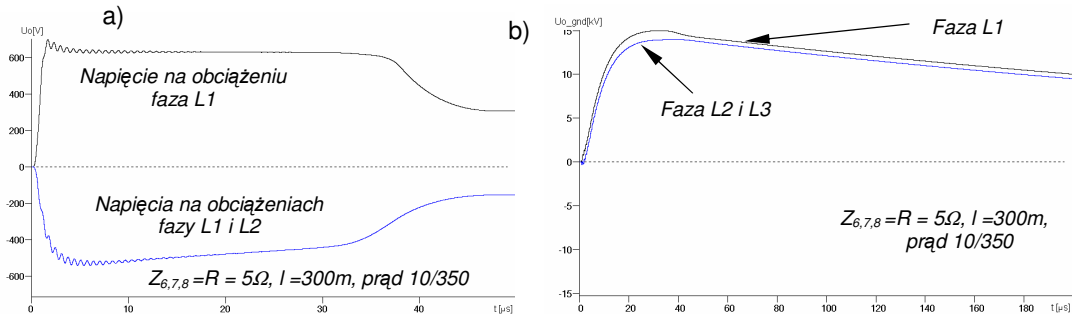


Rys. 4. Napięcia względem ziemi odniesienia; a) na uziomie stacji SN/nn, b) na uziomie obiektu budowlanego



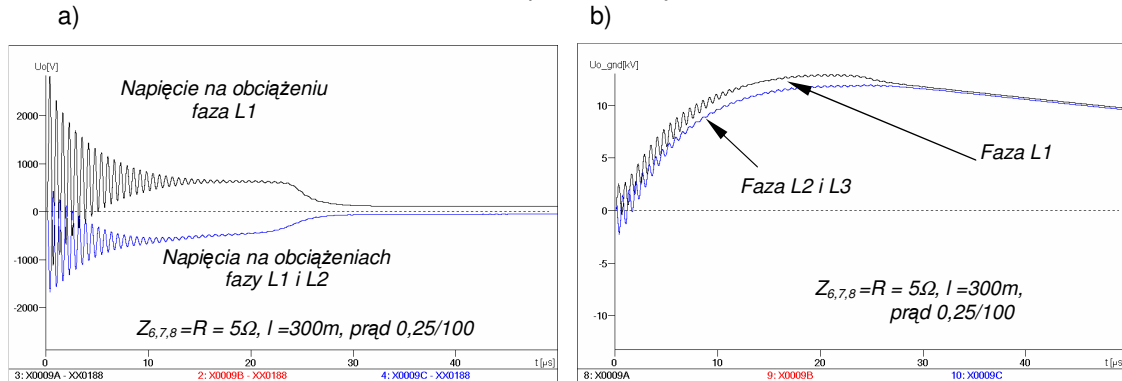
Rys. 5. Prądy płynące w : a) ogranicznikach przepięć SN, b) urządzeniach do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej

Uderzenie w przewód fazy A



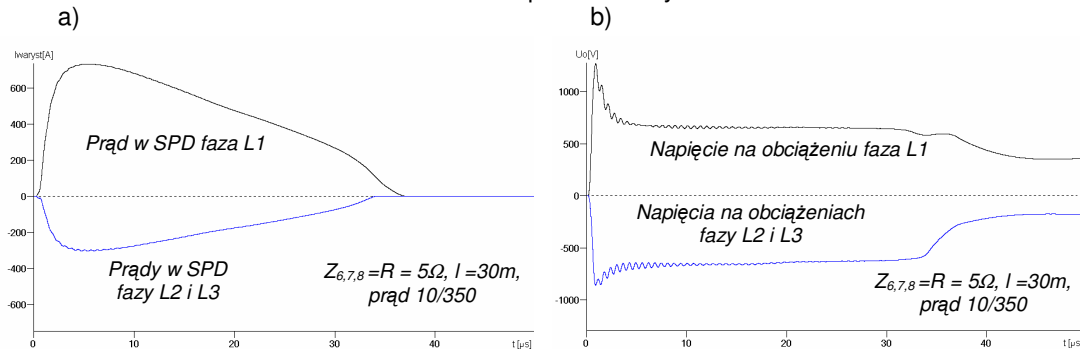
Rys. 6. Spadki napięć na obciążeniu (a) oraz napięcia na zaciskach obciążenia względem ziemi odniesienia (b)

Uderzenie w przewód fazy A



Rys.7. Spadki napięć na obciążeniu (a) oraz napięcia na zaciskach obciążenia względem ziemi odniesienia (b)

Uderzenie w przewód fazy A



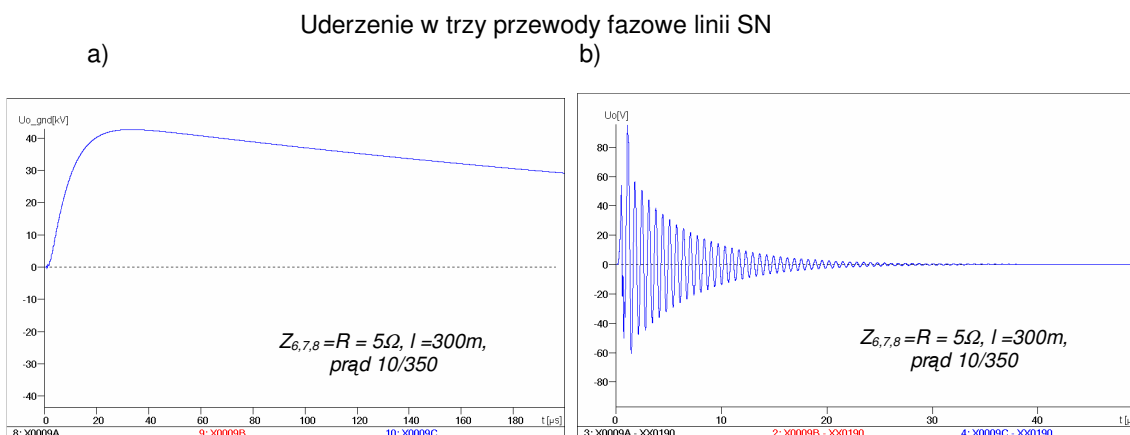
Rys. 8. Prądy płynące w urządzeniach do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej (a) oraz spadki napięć na obciążeniu (b)

Analizując otrzymane wyniki, z punktu widzenia zagrożeń zasilanych urządzeń w obiekcie budowlanym, należy zwrócić uwagę na:

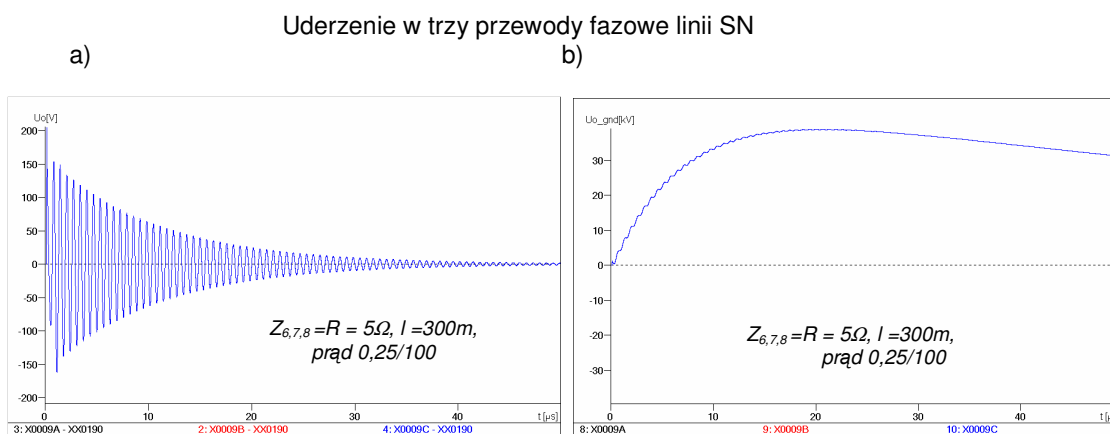
- stosunkowo niewielkie wartości przepięć występujących na obciążeniach symulujących urządzenia,
- wysokoczęstotliwościowe oscylacje nakładające się przebiegi napięć na obciążeniu w przypadkach wprowadzania udarów prądowych o szybko narastających czołach (udary prądowe 0,25/100),

- niewielkie, w porównaniu z prądami udarowymi wprowadzanymi do przewodów, wartości szczytowe prądów płynących przez SPD w instalacji elektrycznej,
- wzrost napięcia na zaciskach obciążenia oraz wzrost prądów płynących przez SPD w przypadku skracania długości podziemnych linii kablowych,
- duże (osiągające kilkanaście kV) różnice potencjałów pomiędzy przewodami instalacji elektrycznej a ziemią odniesienia.

W przypadku wprowadzania prądów udarowych do każdego z trzech przewodów linii SN (symulacja jednoczesnego uderzenia piorunu w trzy przewody fazowe – przeniesienie wyładowania na sąsiednie fazy) wzrasta zagrożenie stwarzane przez różnice potencjałów, których wartości dochodzą 40 kV (rys.9 i 10).



Rys. 9. Uderzenie piorunu w trzy przewody fazowe; a) napięcie na zaciskach obciążenia względem ziemi odniesienia, b) spadki napięć na obciążeniu



Rys. 10. Uderzenie w trzy przewody fazowe: a) spadki napięć na obciążeniu, b) napięcie na zaciskach obciążenia względem ziemi odniesienia

4. Wnioski końcowe

Dokonując porównania wartości szczytowych prądów płynących w ogranicznikach przepięć, skoków potencjału na uziemie zasilanego obiektu budowlanego oraz spadku napięcia na odbiorniku można stwierdzić, iż:

- Podstawowym zagrożeniem piorunowym w instalacji elektrycznej jest skok potencjałów przewodów, który może stanowić zagrożenie, jeśli:
 - ✓ do urządzeń dochodzą instalacje (np. telekomunikacyjne, kontrolno-pomiarowe) połączone z systemem uziomowym o innym potencjale własnym,
 - ✓ w pobliżu znajdują się przewodzące instalacje (np. instalacja wodno-kanalizacyjna, CO, gazowa), które są połączone z innym systemem uziomowym w innym miejscu niż instalacja elektryczna i występująca różnica potencjałów może być niebezpieczna dla użytkownika urządzeń.
- Wprowadzanie prądu udarowego jednocześnie do przewodów trzech faz linii SN zwiększa dwukrotnie wartości szczytowej skoku potencjałów na uziemie budynku w porównaniu z przypadkiem wprowadzania prądu udarowego do jednego przewodu linii.
- Stosowanie urządzeń do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej nie ogranicza różnic potencjałów pomiędzy przewodami instalacji elektrycznej dochodzącymi do uziemienia.
- Używanie rzeczywistych charakterystyk urządzeń do ograniczania przepięć w instalacji elektrycznej do modelowania układów w programie ATP-EMTP w znaczący sposób przybliża wyniki symulacji do warunków występujących w rzeczywistości.

Należy zauważyć, że na konieczność zwrócenia uwagi na przepięcia udarowe między instalacjami niskiego napięcia a liniami telefonicznymi, które są przyłączone do urządzeń wskazuje również norma PN-IEC 61024-1-2 [7].

Występujące różnice potencjałów między instalacjami wprowadzanymi do obiektu budowlanego można wyeliminować stosując izolację galwaniczną urządzeń.

Literatura

- [1] Eugeniusz Jezierski „Transformatory. Podstawy teoretyczne”
- [2] Bassi W., Janiszewski J.M.” Evaluation of Currents and Charges in Low-Voltage Surge Arresters Due to Lightning Strikes” IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 18, No 1, 2003
- [3] Silva J.P., E Araujo A., Paulino J.O. “Calculation of Lightning Induced Voltage in Overhead Power Distribution Lines Protected by Metal Oxide Arresters: EMTP Simulations”. 25th International Conference on Lightning Protection, 9.8, ICLP 2000, Rhodes-Greece
- [4] Larsson A., Scuka V., Borgeest K., Luiken ter Haseborg J. , Numerical Simulation of Gas Discharge Protector- A review”. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No.2, April 1999
- [5] Yagasaki A.. “Characteristics of a Special-Isolation Transformer capable of Protecting From High-Voltage Surges and Its Performance”. IEEE Transactions of Electromagnetic Compatibility, Vol. 43, No.3, August 2001
- [6] PN-IEC 61024-1:2001, Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Zasady ogólne
- [7] PN-IEC 61024-1-2:2002, Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Część 1-2: Zasady ogólne. Przewodnik B – Projektowanie, montaż, konserwacja i sprawdzania urządzeń piorunochronnych.
- [8] PN-IEC 61643-1:2001, Urządzenia ograniczające przepięcia dołączone do sieci rozdzielczych niskiego napięcia. Wymagania techniczne i metody badań.
- [9] PN-EN 60099-5:1999, Ograniczniki przepięć. Zalecenia doboru i specyfikacji.

- [10] PN-IEC 61643-1:2001 ” Urządzenie do ograniczania przepięć w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Część 1: Wymagania techniczne i metodyka badań.
- [11] Katalog transformatorów firmy ABB Polska z 2000 roku.