



Krzysztof Siodła\*, Aleksandra Rakowska\*,  
Hanna Mościcka-Grzesiak\*, Krzysztof Hajdrowski\*

## **ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI STATYCZNEJ I UDAROWEJ NAPOWIETRZNYCH LINII ŚREDNIEGO NAPIĘCIA Z PRZEWODAMI IZOLOWANYMI**

**Streszczenie:** Opisano zagadnienie ochrony przeciwprzepięciowej stosowanej w napowietrznych liniach średniego napięcia z przewodami izolowanymi. Przedstawiono problem koordynacji izolacji układu izolacyjnego linii tego rodzaju. Uwzględniono konstrukcję geometryczną linii, sposób uziemienia słupa oraz rodzaj przyłożonego napięcia probierczego — przemiennego, udarowego piorunowego i udarowego łączeniowego.

**Słowa kluczowe:** napowietrzne linie średniego napięcia z przewodami izolowanymi, badania napięciowe

### **1. Wprowadzenie**

Doświadczenia eksploatacyjne zakładów energetycznych potwierdzają spodziewane korzyści ze stosowania napowietrznych linii elektroenergetycznych średniego napięcia z przewodami izolowanymi, ze względu na:

- pewność i niezawodność przesyłu i rozdziału energii elektrycznej nawet w trudnych warunkach klimatycznych i pogodowych,
- możliwość budowy i eksploatacji linii napowietrznych tego rodzaju w terenach o gęstej zabudowie i w terenach zadrzewionych,
- zwiększenie bezpieczeństwa i ochrony od porażień,

---

\* Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Wysokich Napięć i Materiałów Elektrotechnicznych, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań

- wydłużenie czasu eksploatacji linii,
- zmniejszenie natężenia pola elektromagnetycznego wokół linii dzięki mniejszym odstępom między przewodami,
- mała awaryjność spowodowana upadkiem drzew na linię lub dotknięciem przewodu fazowego przez mokre gałęzie drzew,
- ochrona środowiska dzięki zwartości konstrukcji linii, co wymaga węższej wycinki drzew w terenie leśnym,
- możliwe jest umieszczenie kilku linii o różnych napięciach na tych samych konstrukcjach wsporczych.

Do wad linii napowietrznych z przewodami izolowanymi można zaliczyć:

- wyższe koszty inwestycyjne związane z koniecznością stosowania specjalnych przewodów roboczych i izolatorów, a w trakcie budowy specjalnego osprzętu niezbędnego do prac montażowych,
- podatność na uszkodzenia, których przyczyną są drgania przewodów,
- uszkodzenia powłoki izolacyjnej pod wpływem zwarć powstających w wyniku przepięć,
- korozja żył przewodów stalowo-aluminowych,
- starzenie się izolacji polimerowej przewodów [1, 2, 3, 4, 5].

W starannie przygotowanych projektach i wykonaniu linii napowietrznych niektórych z tych wad można uniknąć. Dla przykładu coraz powszechniej zamiast przewodów aluminiowych ze stalowym rdzeniem stosuje się linki ze stopu aluminium (AlMgSi). Drgania przewodów wywołane parciem wiatru można ograniczyć poprzez stosowanie dodatkowej armatury. Zebrane doświadczenia eksploatacyjne wykazują, że około 70% awarii występujących w elektroenergetycznych liniach napowietrznych z przewodami gołymi spowodowanych jest przez zetknięcie się ze sobą przewodów fazowych lub jednego przewodu fazowego z obcym, uziemionym obiektem (np. gałęzie drzew), czego przyczyną może być wiatr lub sadz. Częste są też awarie spowodowane przez duże ptaki siadające na słupach lub budujące na nich gniazda. Zastąpienie przewodów gołych przez przewody izolowane w linii napowietrznej znacznie ogranicza ilość tego typu awarii. Śnieg, sadz, intensywne opady deszczu, drzewa opierające się o przewody lub tylko dotykające je swoimi gałęziami, nie wywołują tak częstych zakłóceń w pracy linii z przewodami izolowanymi. Umożliwia to wykonywanie niezbędnych prac remontowo-eksploatacyjnych (np. wycięcie zbyt bliskich gałęzi) w terminie bardziej dogodnym dla służb technicznych.

Stosując linie napowietrzne z przewodami izolowanymi można uzyskać znaczące efekty ekonomiczne w ciągu wielu lat eksploatacji tych linii. Bezawaryjność dostaw energii elektrycznej do odbiorców ma bardzo duże znaczenie w kontekście obowiązującego w Polsce nowego „Prawa energetycznego”. Należy spodziewać się, że będzie to decydującym argumentem za coraz powszechniejszym stosowaniem tego typu linii rozdzielczych.

Dokładna znajomość warunków pracy linii pozwala na poprawne jej zaprojektowanie i eksploatację. W artykule tym przedstawiono wyniki badań mających na celu ocenę zachowania się układu izolacyjnego linii napowietrznej średniego napięcia z przewodami izolowanymi poddanej działaniu napięć probierczych:

- przemiennego,
- udarowego piorunowego,
- udarowego łączeniowego.

## 2. Obiekt badany i procedura pomiarowa

Badania wykonywane były na układzie izolacyjnym rzeczywistego słupa drewnianego, przelotowego linii średniego napięcia z przewodami izolowanymi, umieszczonego w Laboratorium Wysokich Napięć IE PP. Na metalowym poprzeczniku słupa zainstalowano trzy izolatory liniowe wsporcze typu LWP 824/S. W górnej części każdego z izolatorów znajdowała się wnęka z tuleją wykonaną z tworzywa sztucznego umożliwiającą przeciąganie przewodu fazowego. Na izolatorach umieszczono przewody izolowane typu AFLwsXSn 50 mm<sup>2</sup> produkcji Bydgoskiej Fabryki Kabli. Na przewodach zamontowano, przed i za każdym izolatorem, zaciski przebijające izolację wraz z podwójnymi różkami odgromowymi łukochronnymi. Zaciski tego typu umożliwiają galwaniczne połączenie różka łukochronnego z żyłą roboczą przewodu izolowanego nie powodując powstania nieszczelności w izolacji przewodów. Różki zamontowane na przewodzie fazowym po obu stronach izolatora są ze sobą zwarte za pomocą drutu aluminiowego. Metalowy poprzecznik słupa wyposażony był w elektrody prętowe o regulowanej długości, dzięki czemu możliwe było nastawianie odstępów izolacyjnych „d” w szerokich granicach — od 0 do 14 cm — co umożliwiało otrzymanie pełnej charakterystyki napięcia przeskoku w funkcji odległości prętów iskiernika. W zależności od napięcia znamionowego linii odstęp „d” ustawiane zgodnie z zaleceniami projektowymi [3] wynosiły:

- dla  $U_n = 15 \text{ kV}$  —  $d = 9 \text{ cm}$ ,
- dla  $U_n = 20 \text{ kV}$  —  $d = 12 \text{ cm}$ .

Celem stosowania tego typu iskierników różkowych (prętowych) jest ochrona izolatora wsporczego oraz izolacji przewodów fazowych w przypadku wystąpienia przepięć. Powstający łuk elektryczny będzie się palił między elektrodami iskiernika, z dala od izolatora, nie powodując jego przegrzania i uszkodzenia. Nie będzie także wypalana powłoka izolacyjna przewodów.

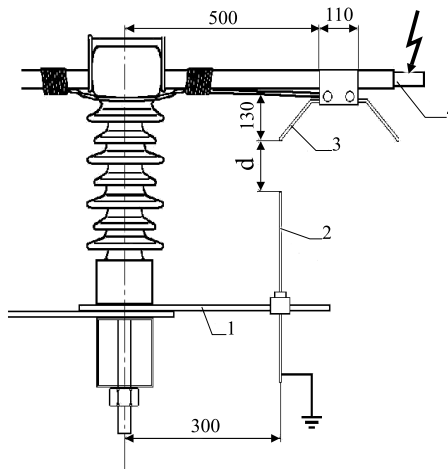
Źródłem napięcia probierczego przemiennego był transformator TP 110 z miernikiem wartości skutecznej napięcia. Źródłem napięcia probierczego udarowego piorunowego i łączeniowego był generator MTS 400 wytwarzający impulsy napięciowe o kształtach znormalizowanych 1,2/50  $\mu\text{s}$  i 250/2500  $\mu\text{s}$ . Pomiar amplitudy udarów wykonywano przy pomocy miernika wartości szczytowej, a kształt kontrolowano przy pomocy oscyloskopu impulsowego. Wartość 50% napięcia przeskoku określano metodą serii.

Napięcie przeskoku iskiernika prętowego badano zarówno dla przypadku słupa izolowanego jak i uziemionego. Do jednego z przewodów fazowych doprowadzano napięcie probiercze imitujące dany rodzaj napięcia zakłóceniewego (przemiennego, udarowego piorunowego lub udarowego łączeniowego). Przewody pozostałych dwóch faz uziemiano. Metalowy poprzecznik z izolatorami — w zależności od rodzaju badanego układu — był uziemiany lub izolowany.

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Napięcie przeskoku iskiernika rożkowego na słupie uziemionym

Badany układ izolacyjny, w którym metalowy poprzecznik z izolatorami został uziemiony przedstawiono na rys. 1. W tej sytuacji napięcie zakłócenia pojawiające się w przewodzie roboczym jednej z faz powoduje przeskok na iskierniku przy odpowiednio dużej wartości szczytowej. Następuje doziemienie tej fazy, powstaje zwarcie jednofazowe i powinien zadziałać system zabezpieczeniowy SPZ umożliwiając zgaszenie łuku na iskierniku. Chroniony w ten sposób jest izolator wsporczy oraz izolacja polimerowa przewodu. Łuk elektryczny pali się tylko w miejscu do tego przeznaczonym, tam gdzie szkody są najmniejsze. W wykonanych pomiarach odległość rożków zmieniana była od 4 do 14 cm, co pozwoliło uzyskać pełniejszą informację dla potrzeb koordynacji izolacji. Wartość poszczególnych rodzajów napięć przeskoku w funkcji odległości rożków przedstawiono na rys. 2.

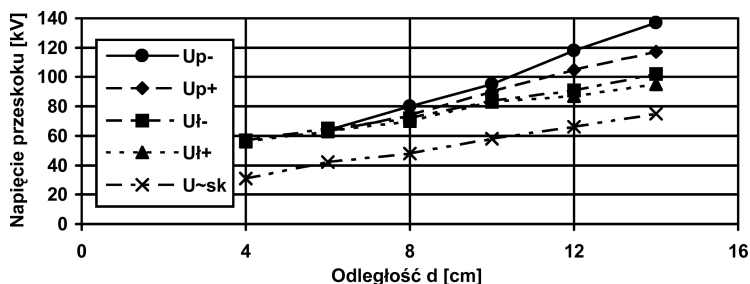


**Rys. 1.** Iskiernik rożkowy na słupie uziemionym: 1 – wysięgniki iskiernika, 2 – iskiernik, 3 – rożek ochronny, 4 – przewód fazowy

Zmierzone napięcia przeskoku po powierzchni bocznej izolatora typu LWP 8 24/S wyniosły odpowiednio:

- napięcie udarowe piorunowe o biegunowości dodatniej — 141 kV,
- napięcie udarowe piorunowe o biegunowości ujemnej — 305 kV,
- napięcie udarowe łączeniowe o biegunowości dodatniej — 125 kV,
- napięcie udarowe łączeniowe o biegunowości ujemnej — 232 kV.

Wartości te są większe od wartości napięcia przeskoku pomiędzy elektrodami iskierników rozsuniętych na odległości znamionowe, stosowane w rzeczywistych konstrukcjach linii napowietrznych 20 kV:



**Rys. 2.** Zależność napięcia przeskoku od odległości elektrod iskiernika rożkowego na słupie z poprzecznikiem uzziemionym. Napięcia udarowe w wartościach maksymalnych, napięcie przemienne w wartościach skutecznych

- 1,4 raza dla napięć udarowych piorunowych i łączeniowych o biegunowości dodatniej,
- 2,5 raza dla napięć udarowych piorunowych i łączeniowych o biegunowości ujemnej.

Rola ochronna iskiernika rożkowego jest więc bezsporna — przeskok wystąpi zawsze pomiędzy jego elektrodami, a to w sposób wystarczający chronić powinno izolator wsporczy i powłokę polimerową przewodów fazowych. Iskiernika nie należy jednak traktować jako idealnego elementu ochrony przeciwprzebiegowej. Dane zaprezentowane powyżej, a także przebiegi poszczególnych krzywych na rys. 2 potwierdzają jego dobrze znane wady — znaczny wpływ rodzaju napięcia, biegunowości oraz stromości jego narastania na wartość napięcia przeskoku.

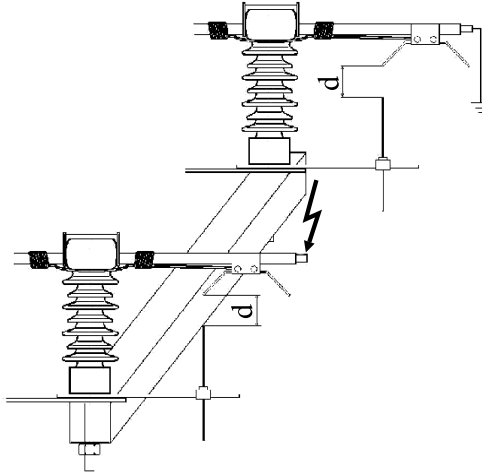
#### 4. Napięcie przeskoku iskiernika rożkowego na słupie izolowanym

W tym układzie napięcie zakłócenia pojawiające się w przewodzie jednej z faz wywołuje przeskok na iskierniku tej fazy i poprzez metalowy poprzecznik (izolowany od ziemi) powoduje na jednym z pozostałych iskierników przeskok w kierunku pręt — rożek. Tworzy się w ten sposób iskiernik dwuprzerwowo o dwóch szeregowych, powietrznych odstępach izolacyjnych. W takim przypadku w systemie elektroenergetycznym powstaje zwarcie międzyfazowe, które powinno być wyłączone przez zabezpieczenie SPZ. Badany w warunkach laboratoryjnych, układ izolacyjny słupa przedstawiono na rys. 3, a wyniki uzyskanych pomiarów zilustrowano na rys. 4.

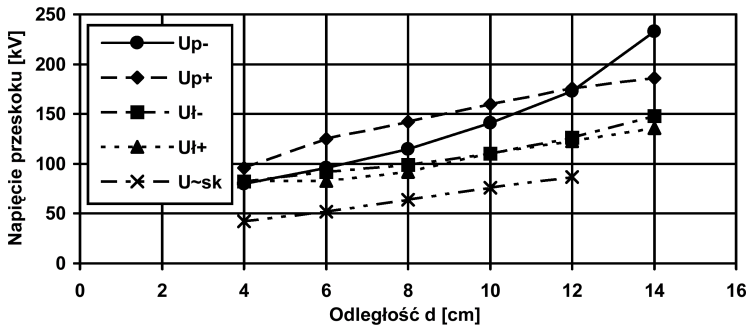
Także i w tym przypadku przeskoki występowały tylko pomiędzy prętami iskierników, co zapewniało ochronę izolatorów i powłoki polietylenowej przewodów.

Katalogi możliwych rozwiązań technicznych dopuszczają także wersję „oszczędnościową” iskierników, z samymi tylko rożkami zamontowanymi na przewodach fazowych, bez prętów umieszczonych na metalowym poprzeczniku słupa. Rozwiązanie to zakłada, że przeskoki międzyfazowe wystąpią pomiędzy tymi rożkami, z dala od izolatorów. Jednak w trakcie wykonywanych badań stwierdzono, że przeskoki występowały

zawsze pomiędzy drutami wiązałkowymi na główkach sąsiednich izolatorów, nigdy zaś pomiędzy różkami dwóch faz. Wynika stąd wniosek o nieprzydatności proponowanego rozwiązania jako środka ochrony przeciwprzebieciowej.

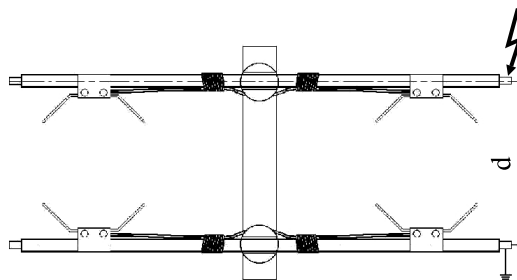


Rys. 3. Iskiernik różkowy dwuprzerwowi na słupie z izolowanym poprzecznikiem



Rys. 4. Zależność napięcia przeskoku od odległości elektrod iskiernika dwuprzerwowego na słupie z poprzecznikiem izolowanym. Napięcia udarowe i łączeniowe w wartościach maksymalnych, napięcie przemienne w wartościach skutecznych

Można zaproponować natomiast poziome umieszczenie różków — według rys. 5. Zmniejsza to co prawda efektywną odległość przewodów fazowych, ale powoduje przeskoki pomiędzy iskiernikami, a nie między drutami obejmującymi główki izolatorów. Alternatywnym rozwiązaniem o dużo lepszej skuteczności jest jednak, opisywany na początku tego rozdziału, układ iskiernika dwuprzerwowego przedstawiony na rys. 3.



**Rys. 5.** Układ poziomych różków zapobiegający przeskokom pomiędzy przewodami obejmującymi główki izolatorów wsporczych

## 5. Wnioski

Stosowanie różków ogromnych wydatnie zwiększa bezpieczeństwo pracy linii napowietrznej lokalizując przeskoki spowodowane przepięciami w miejscach oddalonych od izolatorów oraz nie dopuszczając do uszkodzenia izolacji ochronnej przewodów.

Iskierniki różkowe umieszczone tylko na przewodach fazowych nie zapewniają wystarczającej ochrony przeciwprzepięciowej izolatorom wsporczym. Ich stosowanie, w proponowanej przez projektantów konfiguracji, nie powinno być zalecane.

## Literatura

- [1] **Rakowska A.:** *Linie napowietrzne z przewodami izolowanymi*, Techniczny Biuletyn Informacyjny Elprojekt, Poznań, październik 1993
- [2] **Staworko H., Czarnecki P.:** *Izolowane przewody do instalowania w napowietrznych sieciach elektroenergetycznych niskich i średnich napięć*, Przegląd Elektrotechniczny, 3/1997
- [3] **Gacek Z., Pieńkowski A., Rusiński Z., Skomudek W.:** *Elektroenergetyczne linie napowietrzne z przewodami izolowanymi*, Wydawnictwo PTPiREE, Poznań, 1995
- [4] **Kosztaluk R.:** *Rozwój linii napowietrznych wyposażonych w przewody izolowane*, Przegląd Elektrotechniczny, 2/1997
- [5] **Flisowski Z., Kosztaluk R.,** *Zagrożenie piorunowe izolacji rozdzielczych linii napowietrznych*, Przegląd Elektrotechniczny, 2/1997

### ALTERNATING AND IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE ANALYSIS OF MEDIUM VOLTAGE OVERHEAD LINES WITH INSULATING CONDUCTORS

The proper overvoltage protection of medium voltage overhead lines with insulated conductors is under permanent discussion. Paper presents the problem of insulation co-ordination in such lines. The geometric parameters of line construction, post grounding system, kind of voltage applied to insulating system of a line is described.