

Tadeusz TELUK

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Politechniki Śląskiej

ZAGROŻENIE KABLI OD ODDZIAŁYWAŃ PRZEPIĘĆ POCHODZENIA ATMOSFERYCZNEGO

Streszczenie. W artykule określono wskaźnik uszkodzeń kabli pochodzących od oddziaływań przepięć pochodzenia atmosferycznego. Stwierdzono również zagrożenie eksploatacyjne kabli od innych przyczyn. Zdefiniowano oczekiwaną liczbę uszkodzeń M_u jako funkcję celu w badaniach niezawodności fizycznej kabli.

1. Wprowadzenie

Uszkodzenia kabli spowodowane działaniem prądu pioruna^{x)} są zjawiskiem które badano w Szwajcarii. W pracy [2] podano informację o około 200 tego rodzaju uszkodzeniach w ciągu roku. Również w pracy [3] stwierdzono, że kable są szczególnie zagrożone działaniem prądu pioruna, który wnika w powłokę metalową kabli i powoduje przebicie izolacji żył w wielu miejscach na trasie kabla, a tym samym jego uszkodzenie. W Polsce, na Śląsku i w dużych miastach, gdzie można uznać stopień zagęszczenia^{xx)} sieci kablowej za dostatecznie duży, nie prowadzono dotąd analizy oddziaływań przepięć pochodzenia atmosferycznego^{xxx)} (p.p.a.) na kable. Składa się na to wiele powodów, a niektóre z nich zostaną szerzej omówione.

2. Identyfikacja przyczyn uszkodzeń kabli

Podstawowa trudność w rozpoznaniu przyczyn uszkodzenia kabla polega na tym, że obraz uszkodzenia, w przypadku kabli elektroenergetycznych powstaje w wyniku wystąpienia zjawisk zwarciovych w przedziale czasu, który nie pozwala na natychmiastową lokalizację uszkodzenia. W przypadku kabli

^{x)} bliższe wyjaśnienia dotyczące form oddziaływań p.p.a. zawarto w pracy [5]

^{xx)} długość linii kablowych przypadających na jednostkę powierzchni

^{xxx)} skrót przyjęty w dalszym ciągu artykułu

teletechnicznych i niskich napięć, charakterystyczne cechy uszkodzeń - takie jak: wgniecenia i wygięcia powłoki metalowej jakby pod wpływem działania zewnętrznej siły oraz zmiany w strukturze kabli powstałe w wyniku występowania pola wysokich temperatur i również przebicie izolacji żył kabla - pozwalają na trafną identyfikację przyczyny tych uszkodzeń, którą jest oddziaływanie p.p.a. Natomiast dla kabli elektroenergetycznych wysokich napięć taka identyfikacja nie jest możliwa, nie tylko przy oddziaływaniach p.p.a (wymagany byłby bezpośredni pomiar prądu pioruna), ale szeregu innych przyczyn, które są powodem uszkodzeń kabli.

Prowadzone w eksploatacji statystyki uszkodzeń kabli opierają się więc często na błędnej identyfikacji przyczyny uszkodzenia kabla, w których jedynie wspomina się (o około 5%) o oddziaływaniach p.p.a na kable [3]. Powszeczenie uważa się, że kable nie są narażone na bezpośrednie uderzenie pioruna [5].

Rola takich identyfikacji uszkodzeń szczególnie wyraźnie zaznacza się w prowadzonych pracach dotyczących niezawodności normatywnej np. sieci kabli elektroenergetycznych średnich napięć [4]. Nawet tam gdzie występują groźne szkody górnicze, trudno jednoznacznie stwierdzić, czy przyczyna uszkodzenia kabla jest działanie siły zewnętrznej powodującej jego odkształcenie, czy też przyspieszone procesy starzeniowe w kablu odkształconym. Z uwagi na dużą ilość uszkodzeń kabli na terenach górniczych problem ten ma również poważne skutki ekonomiczne i jest w dalszym ciągu przedmiotem badań [4], jednak posługiwanie się nieodpowiednią statystyką może prowadzić do szeregu błędów. Załóżmy, że mówimy o uszkodzeniach kabli, dla których z góry możemy określić przyczynę tych uszkodzeń. Stopnie ważności tych przyczyn^{x)} możemy uszeregować następująco:

- a) oddziaływania naturalnych i przyspieszonych procesów starzeniowych w kablu,
- b) oddziaływania odkształcające kabel i pożary kabli,
- c) oddziaływania p.p.a na kable.

Zauważmy dalej, że skutkiem działania tych przyczyn jest poważna deformacja struktury kabla. Deformacja ta swoim zasięgiem obejmuje zarówno izolację kabla jak również jego powłoki metalowe i żyły, w jednym lub w wielu odległych od siebie miejscach na trasie kabla. Jest to więc wspólna cecha omawianych uszkodzeń niezależnie od przyczyny. Należy również dodatkowo zauważyć istniejące związki pomiędzy wymienionymi przyczynami niezależnie od ich stopnia ważności, a mogące wprowadzić w błąd obserwatora przy identyfikacji uszkodzeń kabli. Na przykład procesy starzeniowe w kablu mogą być stymulowane zarówno oddziaływaniami odkształcającymi kable,

^{x)} wykluczono te przyczyny, które powodują błędną pracę kabla (np. zmniejszenie przepustowości mocowej, deformacja przenoszonych sygnałów, itp.

lub wpływem palących się w pobliżu innych kabli, oraz oddziaływaniami p.p.a na kable.

Z kolei pożary kabli lub też przepływ przez ich powłoki metalowe prądu zwarcia o skutku cieplnym inicjującym proces palenia, odkształcają kable podobnie jak siła rozciągająca, która działa na kabel^{x)}. Znane są również w przypadku oddziaływań p.p.a odkształcenia kabli, tak jakby powodowane były one działaniem sił zewnętrznych na kabel. Z rozważań tych wynika nowy podział przyczyn uszkodzeń kabli tak w punktach a), b), c), szczególnie istotny dla prac badawczych dotyczących niezawodności normatywnej kabli.

Dla zwiększenia niezawodności fizycznej kabli nasuwa się ważny wniosek, że kable należy chronić przed rozważanymi oddziaływaniami przez stosowanie dostępnych środków technicznych niezależnie od stopnia ważności tych oddziaływań, ponieważ stanowią one zagrożenie dla kabli. Ponadto podkreślić trzeba, że wszelkie prace, które pozwolą w rezultacie na precyzyjną identyfikację przyczyn uszkodzeń kabli lub lokalne łagodzenie skutków działania omawianych przyczyn, należy uznać za celowe.

3. Wskaźnik uszkodzeń kabli przy oddziaływaniach p.p.a

Do oceny stopnia zagrożenia kabli konieczne jest określenie wskaźnika uszkodzeń kabli, np.:

$$W_u = F(\text{uszkodzeń/km/10 lat}) \quad (1)$$

i porównanie go z oczekiwaną liczbą uszkodzeń kabli o wymiarze takim samym jak (1). Dotychczas badania funkcji (1), niezależnie od omawianych przyczyn uszkodzeń, prowadzone były w oparciu o dane statystyczne określające liczbę uszkodzeń, a jako zmienne losowe przyjmowano długość linii kablowej i czas [7]. Wynikała stąd zależność wskaźnika uszkodzeń kabli W_u od długości, jego zmienność w czasie lub też sezonowość uszkodzeń itp., jednak zależności te nie miały wpływu na ocenę technicznych parametrów badanych konstrukcji kabli. Jest jednak możliwe zdefiniowanie a priori oczekiwanej liczby uszkodzeń kabli M_u liczbowo równej W_u :

$$M_u = W_u = \text{const} \cdot \mathcal{V} \quad (2)$$

uwzględniającej parametry techniczne kabli.

W przypadku oddziaływań p.p.a na kable umieszczone na konstrukcjach wsporczych otrzymano [3]:

^{x)} występuje proces wypalania się żyły [3]

$$M_u = 0,16 h_{sr} \Psi_{i1} \text{ (uszkodzeń/km/10 lat)} \quad (3)$$

przy założeniu 20 dni burzowych w ciągu roku, gdzie:

- h_{sr} - średnia wysokość umieszczenia kabla nad powierzchnią ziemi, m
 Ψ_{i1} - prawdopodobieństwo wyładowania w kabel prądu pioruna o parametrach powodujących uszkodzenie kabla zależne od parametrów konstrukcyjnych kabla.

Jak widać, Ψ_{i1} zawiera w sobie informację o niektórych parametrach technicznych kabli i wskazuje na potrzebę deterministycznego ujęcia problemu. Musimy bowiem również wiedzieć, czy prąd pioruna o amplitudzie np. 5 kA spowoduje w przypadku bezpośredniego oddziaływania uszkodzenie kabla, czy też nie spowoduje uszkodzenia.

W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej uszkodzeń kabli stwierdzono, że wskaźnik uszkodzeń kabli średnich napięć ogółem (przy działaniu wcześniej omawianych przyczyn) wynosi ok. 2. Wskutek tego założono, że we wzorze (3) powinno być:

$$M_u \leq 0,8 \div 1 \quad (4)$$

dla kabli umieszczonych na konstrukcjach wsporczych, co stanowi konkretne wymaganie techniczne dla rozważanego sposobu ułożenia kabli, bowiem posiadać muszą one dużą pewność pracy [3].

W przypadku oddziaływań p.p.a na kable umieszczone bezpośrednio w ziemi otrzymano [1]:

$$M_u^1 = 2nNl \sqrt{g_z} \left[0,0107 \int_{\sqrt{i_0}}^{\sqrt{i_1}} \exp(-x^2) x^2 dx + \sqrt{\frac{2t_B}{\mu}} \int_{i_1}^I \exp(-i) di / \exp(i_0 \lambda / i) - 1 \right] \quad (5)$$

gdzie:

- l - długość kabla, m,
 n - liczba wyładowań pioruna na jednostkę powierzchni w ciągu jednego dnia burzowego, $1/\text{km}^2$,
 N - liczba dni burzowych w ciągu roku,
 g_z - rezystywność gruntu, Ωm ,
 i_0 - amplituda prądu pioruna powodującego uszkodzenie kabla, kA

$$i_0 = \frac{U_u}{2, 2R_2 \sqrt{g_z}} \quad (\text{kA}) \quad (6)$$

- i_1 - amplituda prądu pioruna inicjująca powstawanie łuku elektrycznego na styku kabla z gruntem; kA,
 I - amplituda prądu pioruna o skutku cieplnym prowadzącym do deformacji elementów metalowych kabla, kA,
 t_B - czas narastania czoła fali prądu pioruna, μs ,

μ - przenikalność magnetyczna powłoki metalowej kabla,

$$\alpha = \ln \left(\frac{1}{r_p} \sqrt{\frac{2\sigma_s t_s}{\mu}} \right) - \text{stały współczynnik,}$$

U_u - napięcie udarowe izolacji kabla, kV,

R_2 - rezystancja ekranu kabla Ω/km ,

r_p - promień ekranu (powłoki metalowej) kabla, mm.

Z uwagi na skomplikowaną postać zależności (5) można ją zapisać podobnie jak wzór (3):

$$M_u^1 = k h \sqrt{\rho_z} \Psi_{12} \quad (7)$$

gdzie: k - współczynnik zależny od n i N określonych powyżej,

h - głębokość zakopania kabla, m,

Ψ_{12} - prawdopodobieństwo wyładowania prądu pioruna o parametrach powodujących uszkodzenie kabla w zależności od przebiegu zjawisk elektromagnetycznych przy oddziaływaniach p.p.a. na styku kabla z gruntem.

Oddziaływanie prądu pioruna na ułożony bezpośrednio w ziemi kabel elektroenergetyczny omówiono szczegółowo w [6]. Otrzymaną zależność (7) potwierdzają badania empiryczne, których wyniki zamieszczono w pracy [1].

W pracy [3] podano przykład obliczenia M_u przy założeniu, że piorun uderzył w środek przęsła linii kablowej umieszczonej na konstrukcjach wsporczych. W rezultacie otrzymano zgodnie ze wzorami (3) i (4):

$$\Psi_{11}(4 \text{ kA}) = 0,8 \text{ i } M_u = 0,16 \cdot 10 \cdot 0,8 = 1,28 \text{ (uszkodzeń/km/10 lat)} \quad (8)$$

Do powyższego oszacowania miary zagrożenia kabli przyjęto stałą w czasie pomierzoną wartość napięcia udarowego izolacji kabla $U_u = 60 \text{ kV}$ i obliczoną wartość impedancji falowej obwodu "powłoka - metalowa - żyła kabla" $Z_{eż} = 60 \Omega$, oraz średnią wysokość umieszczenia kabla nad powierzchnią ziemi równą 10 m. Obliczenie we wzorze (8) dotyczy linii kablowej złożonej z jednożyłowych kabli 6 kV.

Dla kabli umieszczonych bezpośrednio w ziemi, przy założeniu $l = 1500 \text{ m}$ $N=20$ dni burzowych/rok i $R_2 = 2 \Omega/\text{km}$ otrzymano w pracy [1] na podstawie wzoru (5):

$$M_u^1 = 4 \text{ (uszkodzeń/km/10 lat)} \quad (9)$$

czyli dwukrotnie większą wartość od omawianego wcześniej wskaźnika uszkodzeń kabli ogółem.

4. Wnioski

- 4.1. Trudności, które występują przy identyfikacji uszkodzeń kabli, szczególnie elektroenergetycznych wysokich napięć, nie pozwalają na jednoznaczne określenie przyczyny uszkodzenia kabla. Proponowany w p. 1 podział oddziaływań na kable - niezależnie od skutków tych oddziaływań - wskazuje na potrzebę stosowania odpowiednich środków technicznych w celu ochrony kabli.
- 4.2. Spełnienie żądanych wymagań technicznych i konstrukcyjnych przez kable jest uwarunkowane wartością miary zagrożenia kabli od rozważanych przyczyn uszkodzeń. Jednożyłowe kable 6 kV umieszczone na konstrukcjach wsporczych są zagrożone oddziaływaniem p.p.a. Podobnie zagrożone są kable umieszczone bezpośrednio w ziemi.
- 4.3. Na podstawie związków (3) i (7) można próbować zbudować nowe wzory, które uwzględniłyby inne niż p.p.a przyczyny uszkodzeń kabli. Umożliwia to prosta postać funkcji $\Psi(A)$, w której za zmienną A można przyjąć graniczne oczekiwane wielkości np. temperatur lub sił zewnętrznych oddziaływujących na kable, które są przyczyną ich uszkodzeń.

LITERATURA

- [1] Michajłow M.J., Razumow Ł.D.: Zaszczita kabełnych linii zwjazi od wlijanija wniesznich elektromagnitnych poliej. Swjaż Moskwa 1967.
- [2] Praca zbiorowa: Rozwinięcie badań nad wprowadzeniem magistralnych przewodów 6 kV w układach zasilających zakłady przemysłowe. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, Gliwice 1974 - praca nie publikowana.
- [3] J.w., Gliwice, 1975.
- [4] Praca zbiorowa: Niezawodność zasilania zakładów przemysłowych w energię elektryczną na terenach górniczych. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej, Gliwice 1971-1975 - praca nie publikowana.
- [5] Jakubowski J.L.: Podstawy teorii przepięć w układach elektroenergetycznych. PWN Warszawa 1968.
- [6] Schneider K.: Überspannungen in erdverlegten kabeln durch Blitzen-schlag in den Kabelmantel. ETZ-A 1966 Bd 87 Heft 26 ss. 933-939.
- [7] Popczyk J.: Metody oeny nieciągłości zasilania z sieci kablowych średnich napięć. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Elektryka z. 51, 1976 r.

УГРОЗА КАБЕЛЕЙ ОТ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Резюме

В статье дан показатель повреждений кабелей от влияния атмосферных перенапряжений. Определена эксплуатационная угроза кабелей по разным причинам

Приводится определение предположительных чисел повреждений M_u , как функцию цели в исследованиях надежности работы кабелей.

INFLUENCE OF LIGHTNING SURGES ON CABLES HAZARD

Summary

In the article there has been determined the index of cable damages caused by lightning surges. It has also been stated that the exploitational hazard of cables may have other causes. The expected number of damages M_u has been defined as research function in the test of physical reliability of cables.