

Franciszek Spyra

„Energopomiar-Elektryka” Sp. z o.o.

Ograniczenie strat w liniach kablowych

Podstawową zasadą w projektowaniu linii przesyłowych jest przesłanie jak największych mocy przy możliwie najmniejszym przekroju żyły roboczej. W liniach kablowych możliwe to jest przez ograniczenie strat w kablu, jak i przez jak najlepsze odprowadzenie ciepła wytworzonego w kablu.

Źródłem ciepła w kablu są straty omowe w żyły roboczej, w żyły powrotnej, w pancerzu oraz straty w izolacji kabla. W pierwszych trzech przypadkach straty zależą od wartości płynącego prądu w żyły roboczej, w czwartym przypadku od napięcia, przy jakim przesyłana jest moc.

Odprowadzenie ciepła zależy od środowiska, w jakim ułożony jest kabel, oraz od sposobu jego ułożenia.

Lepsze odprowadzenie ciepła z kabla występuje w warunkach, gdy kable są ułożone w układzie płaskim, niż gdy są ułożone w układzie trójkątnym. W pierwszym przypadku, to jest ułożenia kabli w układzie płaskim, w żyłach powrotnych kabli skrajnych indukowana siła elektromotoryczna (SEM) jest większa niż w żyłach powrotnych kabli ułożonych w układzie trójkątnym. W żyły powrotnej kabla środkowego indukowana SEM ma taką samą wartość jak indukowana SEM w żyłach powrotnych kabli ułożonych w układzie trójkątnym.

Ograniczając przepływ prądu w żyły powrotnej zyskuje się podwójnie: nie generuje się strat w żyły powrotnej, które mogą być nawet większe od strat w żyły roboczej, oraz odprowadzenie ciepła z żyły roboczej przez izolację kabla następuje do miejsca o temperaturze niższej, w kierunku żyły powrotnej nie nagrzewanej przez płynący przez nią prąd.

Obciążalność kabla ograniczona jest dopuszczalną temperaturą jego żyły roboczej. Im lepsze będzie odprowadzenie ciepła z żyły, tym większy będzie dopuszczalny prąd obciążenia.

Dla kabli o izolacji z polietylenu usieciowanego (XLPE) dopuszczalna ustalona temperatura żyły wynosi 90°C.

Kable o izolacji polietylenowej z reguły są wykonywane jako jednożyłowe, a więc nie opancerzone. W tym przypadku nie występują straty w pancerzu.

Straty w izolacji są nieporównanie mniejsze niż straty w żyły powrotnej. Dla porównania straty w izolacji można wyliczyć z zależności:

$$P = \omega C U_o^2 \operatorname{tg} \delta \quad (1)$$

gdzie:

P – straty w dielektryku, W/km

$\omega = 2\pi f$

f – częstotliwość sieciowa, Hz

C – pojemność kabla, $\mu\text{F}/\text{km}$

U_o – napięcie fazowe, kV

$\operatorname{tg} \delta$ – współczynnik strat

Eliminację strat w żyłach powrotnych kabli uzyskuje się przez ograniczenie przepływu prądu w żyłach powrotnych. Można to uzyskać uziemiając żyłę powrotną w jednym miejscu linii, z reguły na początku lub na jej końcu, ewentualnie (co nie jest przez autora zalecane) w środku linii. Podobny efekt uzyskuje się stosując cross-bonding żyły powrotnej łącznie z przepleceniem kabli [1].

Uziemiając żyłę powrotną tylko z jednej strony linii należy się liczyć z różnicą potencjału jej drugiego końca w stosunku do ziemi.

Wartość wyindukowanej SEM można wyliczyć z niżej podanych zależności:

- kable ułożone w układzie trójkątnym:

$$E = 2I\omega \cdot 10^{-4} \ln \frac{2a}{d} \quad \text{V/km} \quad (2)$$

- kable ułożone w układzie płaskim:

- w przypadku kabli skrajnych

$$E = 2I\omega \cdot 10^{-4} \left(-\frac{1}{2} \ln \frac{a}{d} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{4a}{d} \right) \quad \text{V/km} \quad (3)$$

- w przypadku kabla środkowego –
jak dla kabli ułożonych w układzie trójkątnym, czyli według wzoru (2)

gdzie:

I – prąd, A

a – odległość między osiami kabli

d – średnia wartość średnicy na żyłę powrotnej kabla

Zależność ta obowiązuje dla obciążenia normalnego, jak i dla zwarcia trójfazowego.

W przypadku zwarcia jednofazowego w układzie sieci z uziemionym punktem neutralnym obowiązuje zależność¹:

$$E = 2I\omega \cdot 10^{-4} \ln \frac{2D}{d} \quad \text{V/km} \quad (4)$$

gdzie:

$$D = 93 \sqrt{\rho_z}$$

ρ_z – oporność ziemi, Ωm

d – średnia wartość średnicy na żyłę powrotnej kabla

I – prąd w A

Wyliczona wartość SEM nie może być większa od napięcia probierczego powłoki/osłony zewnętrznej kabla. Z reguły takie przypadki nie występują.

Istotnym problemem nie uziemiania żyły powrotnej drugiego końca kabla są przepięcia piorunowe i łączeniowe. Mimo zainstalowania ograniczników przepięć na żyłach roboczych na obu końcach linii kablowej (takie wymaganie wynika z zasady rozchodzenia się fali przepięciowej i przepisów PSE SA) fala przepięciowa przemieszczając się w żyłę roboczej spowoduje powstanie fali przepięciowej w żyłę powrotnej kabla. Przepięcie to może spowodować uszkodzenie powłoki/osłony zewnętrznej kabla. By temu zapobiec instaluje się na nieuziemionym końcu żyły powrotnej ogranicznik przepięć, którego napięcie długotrwałej pracy U_c musi być większe od SEM wyindukowanej przepływem prądu zwarcia.

Żaden z ograniczników przepięć nie wytrzyma bez uszkodzenia przepływu prądu w przypadku jego zadziałania w wyniku nadmiernego wzrostu wyindukowanej SEM. Norma przedmiotowa dotycząca ograniczników przepięć [4] określa wymagania na długotrwałe obciążenie prądowe ogranicznika przepięć. Ogranicznik przepięć powinien wytrzymać bez uszkodzenia przepływ prądu o wartości 50 lub 75 A w czasie, odpowiednio, 500 lub 1000 μs .

W przypadku zadziałania ogranicznika prąd płynący w żyłę powrotnej będzie rzędu kilku kA, zaś czas jego przepływu będzie zależny od czasu wyłączenia zwarcia w obwodzie pierwotnym, i w najlepszym przypadku będzie to 0,1 s. Dopuszczalny czas obciążenia długotrwałego ogranicznika będzie przekroczony co najmniej 100 krotnie, nie porównując już prądu kilkudziesięciu A do kilku kA.

¹ Konsultacja u prof. dr. hab. inż. Kurta Żmudy z Politechniki Śląskiej

Instalowanie ograniczników przepięć na żyłach powrotnych kabli ma na celu ochronę powłok/osłon od przepięć piorunowych lub łączeniowych, nie służy do ograniczenia nadmiernej wartości wyindukowanej SEM. Te same kryteria dotyczą instalowanych ograniczników przepięć w mufach cross-bondingowych.

Podsumowanie

Jednym ze sposobów zwiększenia obciążalności linii kablowych oraz eliminacji strat w żyłach powrotnych jest uziemianie żyły powrotnej tylko na jednym końcu linii.

W takim przypadku na nieuziemiałym końcu należy zainstalować ogranicznik przepięć, który ma chronić powłokę/osłonę kabla od przepięć piorunowych lub łączeniowych. Ogranicznik przepięć nie powinien zadziałać w wyniku przepływu prądu zwarcia w żyłę roboczej.

W przypadku, gdy końce kabla w czasie przepływu prądu zwarcia znajdują się na różnych potencjałach względem ziemi należy ten fakt uwzględnić w doborze ogranicznika przepięć.

Warto nadmienić, że podane wyżej zalecenia dotyczące ograniczenia strat w żyłach powrotnych kabli zostały zaczerpnięte z doświadczeń wieloletniej praktyki inżynierskiej *Energopomiaru-Elektryki* [1, 2, 3].

LITERATURA

- [1] Spyra F.: Wybrane zagadnienia budowy linii kablowych – ograniczenie strat w żyłach powrotnych. *Energetyka* 2006, nr 4
- [2] Spyra F.: Wpływ czynników zewnętrznych na obciążalność prądową kabli w elektroenergetycznej linii kablowej. *Energetyka* 2007, nr 6/7
- [3] Spyra F., Urbańczyk M.: Dobór przekroju żyły powrotnej w kablach elektroenergetycznych. *Energetyka* 2008, nr 4
- [4] PN-IEC 99-4. Ograniczniki przepięć. Beziskiernikowe zaworowe ograniczniki przepięć z tlenków metali do sieci prądu przemiennego