



Wybrane zagadnienia budowy linii kablowych – ograniczenie strat w żyłach powrotnych

Streszczenie. W artykule przedstawiono wybrane problemy związane z budową linii kablowych. W szczególności dokonano analizy sposobów układania kabli, krzyżowania żył powrotnych oraz przeplatania kabli w linii kablowej.

Abstract. (Selected problems in building cable lines - limit of power dissipation in metallic screen) The paper presents selected problems connected with buildings of cable lines. Particularly have been analysed the ways of arrangement of cables in line, cross-bonding of metallic screens and alternate of cables positions in cable line.

Słowa kluczowe: linie kablowe, krzyżowanie żył powrotnych

Keywords: cable lines, cross-bonding

Wstęp

Decydując się na przesył energii kablami elektroenergetycznymi należy liczyć się z powstaniem większych strat przesyłowych aniżeli gdyby przesył ten odbywał się liniami napowietrznymi. Niezależnie od strat omowych w żyłach roboczych, bardzo duże straty powstają w wyniku przepływu prądu w żyłę powrotną. Często zdarza się, że straty w żyłę powrotną (znany jest taki przypadek w kraju) są większe od sumy strat w dielektryku i w żyłach roboczych. We wspomnianym powyżej przypadku zmierzony prąd w żyłę powrotną wynosił 60 % prądu płynącego w żyłach roboczych. Przy przekrojach żył, roboczej 630 mm² i powrotnej 130 mm², straty w żyłę powrotną są prawie dwukrotnie większe od strat w żyłach roboczych.

Wyeliminowanie wymienionych wyżej strat jest możliwe przez uniemożliwienie przepływu prądu w żyłę powrotną lub jego ograniczenie. Indukowana siła elektromotoryczna (SEM) w żyłę powrotną, od której zależy wielkość prądu, zależy od sposobu ułożenia kabli. Ułożenie kabli w koniczynkę (w układzie trójkątnym na styk) powoduje, że wielkość indukowanej SEM jest najmniejsza. Dla układu tego występuje zależność:

$$(1) \quad E = 2I\omega \cdot 10^{-4} \ln \frac{2a}{d} \quad [\text{V/km}]$$

Dla kabli ułożonych w układzie płaskim wielkość indukowanych SEM w kablach skrajnych (L1 i L3) wynika z zależności [1]:

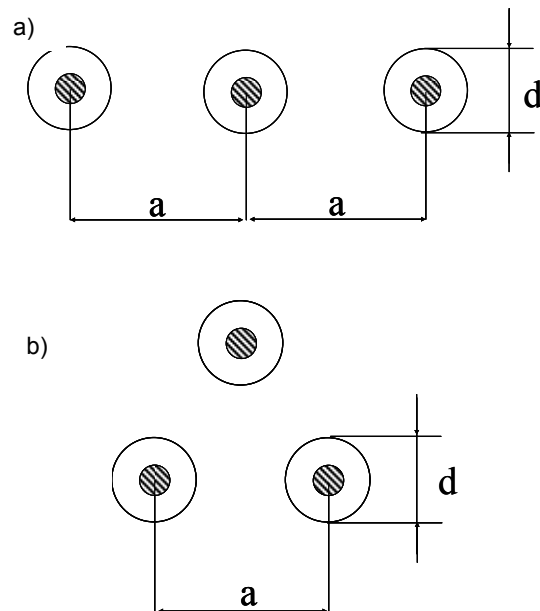
$$(2) \quad E = 2I\omega 10^{-4} \left(-\frac{1}{2} \ln \frac{a}{d} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{4a}{d} \right)$$

$$E = I\omega \sqrt{\left(\ln \frac{a}{d} \right)^2 + 3 \left(\ln \frac{4a}{d} \right)^2} \exp \left[\pm j \arctg \left(\frac{\sqrt{3} \ln \frac{4a}{d}}{\ln \frac{a}{d}} \right) \right] [\text{V/km}]$$

W kablu środkowym (L2) napięcie indukowane będzie określone wyrażeniem (1).

gdzie: I – prąd w [A], $\omega = 2\pi f$, f – częstotliwość sieciowa
 a – odległość między osiami kabli, d – średnia wartość średnicy na żyłę powrotną kabla

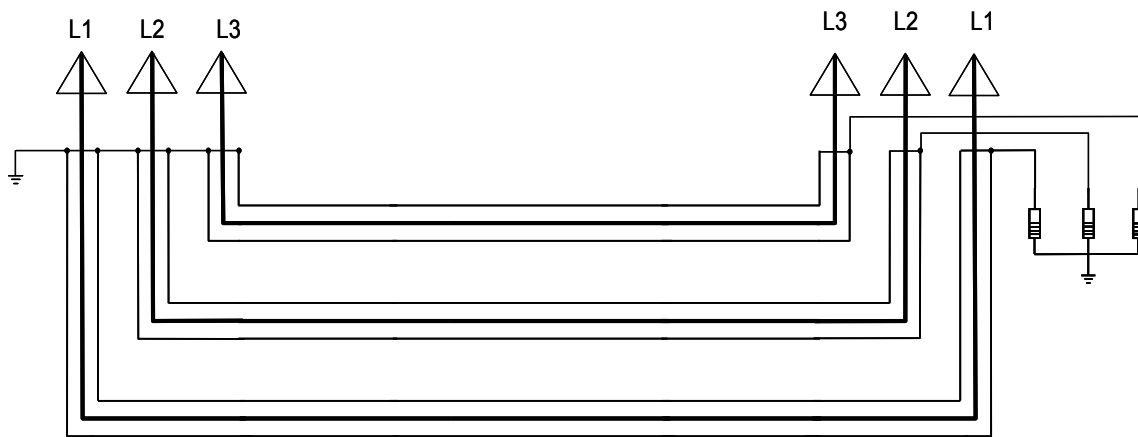
Na rysunku 1 przedstawiono dwa sposoby ułożenia kabli.



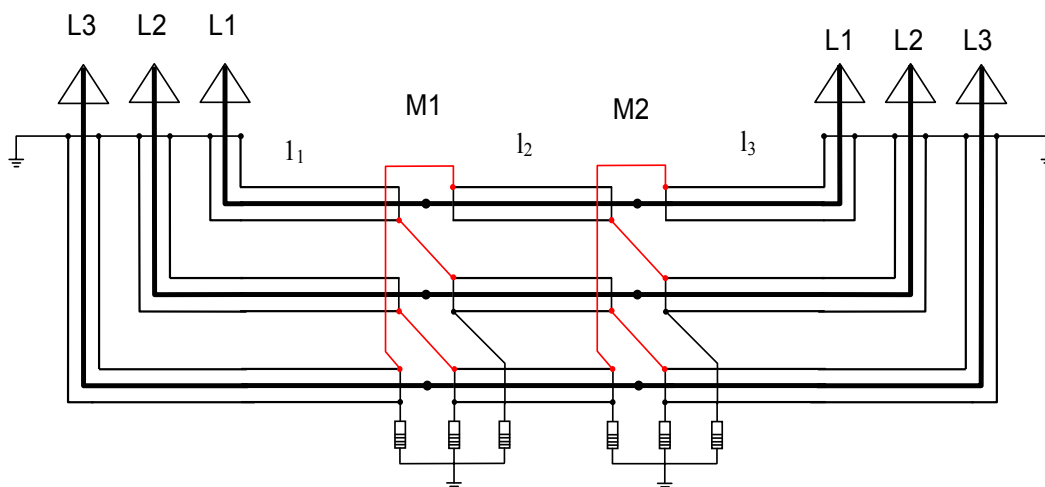
Rys. 1 Sposoby ułożenia kabli:
 a) układ płaski, b) układ w koniczynkę

Niezależnie od sposobu ułożenia kabli (w koniczynkę czy w układzie płaskim) przepływ prądu w żyłę powrotną można ograniczyć uziemiając żyłę powrotną tylko z jednej strony linii. Na drugim końcu linii, by chronić powłokę kabli przed uszkodzeniem w wyniku ewentualnych przebiegów napięcia, muszą być podłączone do żyły powrotnej ograniczniki napięcia. Rozwiązanie to ograniczone jest dwoma parametrami, długością linii kablowej i prądem zwarcia.

W wyniku przepływu jednofazowego prądu zwarcia, SEM na nie uziemionym końcu linii nie może przekroczyć napięcia probierczego powłoki kabla. Do tego napięcia należy dobrać wartość napięcia U_c trwałej pracy ograniczników napięcia. W przypadku, gdy warunek ten nie może być spełniony należy zastosować cross-bonding (krzyżowanie żył powrotnych), a w przypadku linii o znacznej długości zależnej od wymiarów geometrycznych kable, dodatkowo jeszcze przeplatanie kabli. Zagadnienie to omówiono poniżej.



Rys. 2 Linia kablowa z jednostronnie uziemioną żyłą powrotną



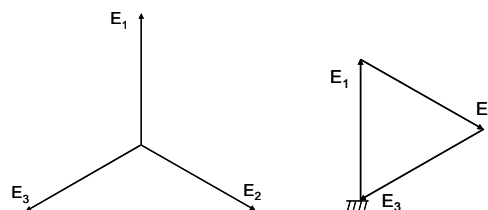
Rys. 3 Krzyżowanie żył powrotnych poszczególnych faz linii kablowej

Rozwiązanie z *cross-bondingiem* żyły powrotnej polega na podziale linii kablowej na trzy idealnie równe długości (lub wielokrotność trzech) i zastosowanie muf umożliwiających połączenie żyły powrotnej jednej fazy z żyłą powrotną drugiej fazy. W jednej fazie należy stosować $(3n-1)$ muf *cross-bondingowych* ($n= 1,2,3, \dots$), każda inna ilość muf niweczy celowość takiego rozwiązania (w kraju wybudowano linię z tak błędnym rozwiązaniem).

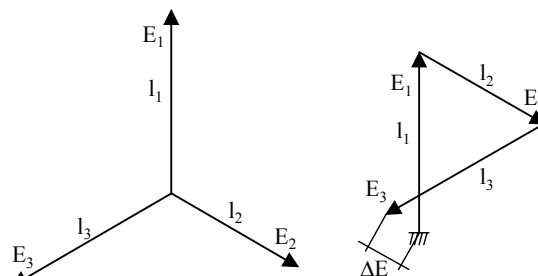
Niezależnie od muf *cross-bondingowych* można stosować dowolną liczbę muf przelotowych. Mufy te nie mają żadnego wpływu na skuteczność rozwiązania *cross-bondingowego*. Stosując rozwiązanie *cross-bondingowe* należy pamiętać, że żyła powrotna, która na początku linii przynależna była do fazy L1 na drugim końcu linii przynależna będzie do fazy L2 lub L3, zależnie od sposobu wykonania krzyżowania. Jest to bardzo istotne przy identyfikacji faz, którą z tego powodu należy wykonać na żyłach roboczych.

Na rysunku 3 przedstawiono zasadę wykonywania krzyżowania żył powrotnych.

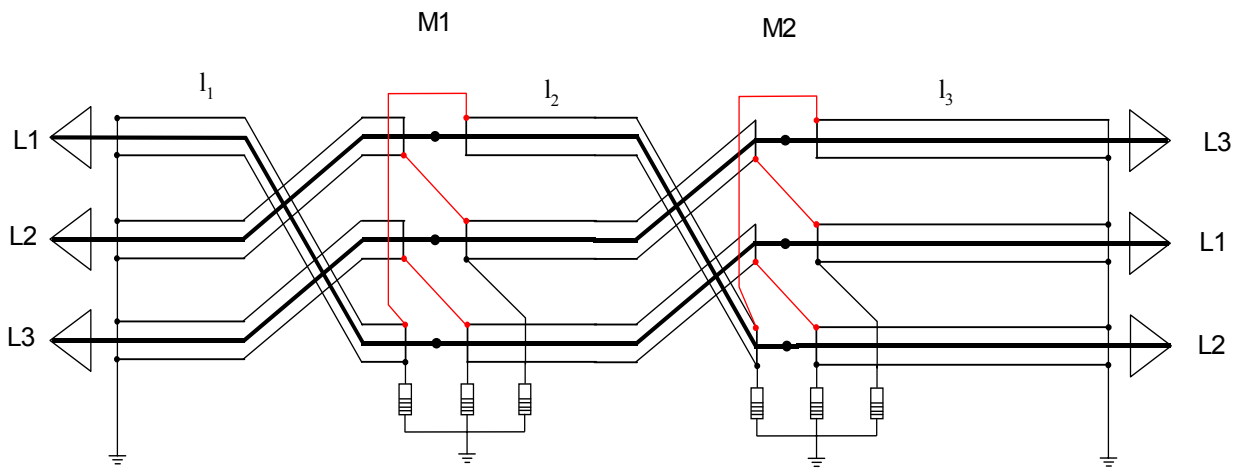
Dla kabli ułożonych w koniczynkę i odcinkach linii idealnie równych, suma wyindukowanych SEM w żyłach powrotnych w poszczególnych odcinkach linii będzie równa zero. Dla przykładu na rysunku 4 pokazano to dla żyły powrotnej fazy L1 (oznaczenie na początku linii).



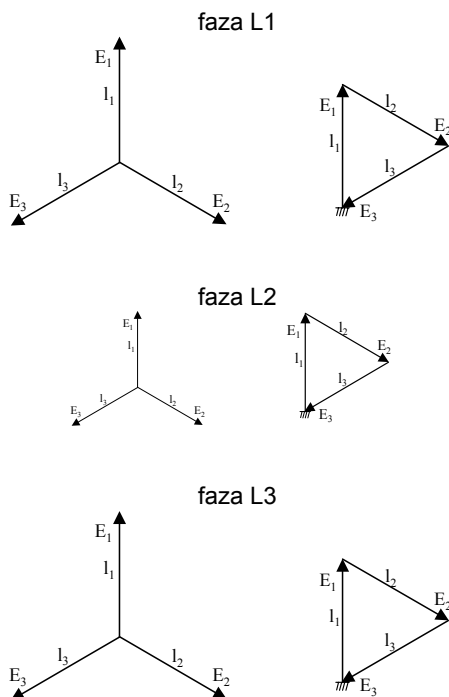
Rys. 4 Wykres wskazowy indukowanych SEM w żyły powrotnej fazy L1 wg oznaczenia na początku linii



Rys. 5 Wykres wskazowy indukowanych SEM w żyły powrotnej fazy L1 wg oznaczenia na początku linii



Rys. 6 Przeplatanie kabli z cross-bondingiem żył powrotnych



Rys. 7 Wykresy wskazowe indukowanych SEM w poszczególnych odcinkach linii kablowej faz L1, L2, L3

Dla kabli ułożonych w układzie płaskim suma ta będzie różna od zera z uwagi na mniejszą wartość indukowanej SEM w żyłce powrotnej kabla środkowego. Przedstawiono to na rysunku 5. Można temu zapobiec stosując równocześnie z krzyżowaniem żył powrotnych przeplatanie kabli. Żyła powrotna kabla fazy, która na początku linii położona będzie w środku, przykładowo oznaczona jako L2 w wyniku przeplatania kabli i krzyżowania żył powrotnych będzie zawsze połączona z kablem, który ułożony jest w środku. W wyniku tego, mimo, że wartość indukowanej w niej SEM będzie mniejsza od wartości SEM skrajnych kabli, ich suma będzie również równa zero. Na rysunkach 6 i 7 pokazano

zasadę przeplatania kabli z krzyżowaniem żył powrotnych i wykresy wskazowe indukowanych SEM w poszczególnych odcinkach i fazach linii kablowej.

W przypadku gdyby linia kablowa nie została podzielona na odcinki o równej długości, to suma indukowanych SEM dla układu z przeplataniem kabli jak i dla układu bez przeplatania będzie różna od zera i trójkąt sumy SEM nie zamknie się. Podobnie będzie, jeżeli liczba muf cross-bondingowych w linii będzie różna od liczby $(3n-1)$.

Stosując krzyżowanie żył powrotnych należy bezwzględnie w mufach cross-bondingowych instalować ograniczniki przepięć. Nieciągłość żył powrotnych powoduje powstanie spiętrzenia fal przepięciowych. W kraju budując taką linię niestety zapomniano o tej podstawowej zasadzie i nie zastosowano ograniczników przepięć. Mufy krzyżujące i umieszczone w nich ograniczniki przepięć nie mogą być zakopane w ziemi, musi być do nich dostęp w celu okresowej kontroli stanu izolacji powłok, jak i stanu technicznego oraz parametrów ograniczników przepięć.

Podsumowanie

Przedstawiony artykuł opisuje wybrane aspekty budowy linii kablowych, związane z ograniczaniem strat występujących w żyłach powrotnych. Ma to na celu zwiększenie obciążenia linii kablowych, które można osiągnąć poprzez:

- odpowiednie ułożenie kabli,
- uziemienie żyły powrotnej tylko z jednej strony linii,
- cross-bonding żył powrotnych,
- przeplecenie kabli przy ich układaniu wraz z cross-bondingiem żył powrotnych.

LITERATURA

- [1] Prywatna konsultacja prof. dr hab. inż. K. Żmudy, Pol. Śląska Gliwice, 2005.

Autor: mgr inż. Franciszek Spyra, ZPBE Energopomiar-Elektryka sp.z o.o., 44-101 Gliwice, ul. Świętokrzyska 2, e-mail: franciszek.spyra@elektryka.com.pl