

Henryk Krawiec
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

PRZYCZYNY GRZANIA SIĘ BEDNARKI I ŻYŁ POWROTNYCH KABLI 6 kV

CAUSES HEATING OF THE EARTH BAR AND SHEATHS OF 6 kV CABLES

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę przyczyn grzania się bednarki i żył powrotnych w sieci kablowej 6 kV, w dużym zakładzie przemysłowym. W oparciu o przeprowadzone symulacje oraz pomiary wskazano konieczne, niezbędne zmiany w istniejącym układzie celem wyeliminowania przyczyn grzania się bednarki oraz żył powrotnych: zastosowanie odgromników oraz jednostronne uziemienie żył powrotnych.

Abstract: This paper presents an analysis of the causes heating of the strips and return and live in a large network of 6 kV plant. Based on our simulations and measurements indicated necessary, the necessary changes in the existing system in order to eliminate the causes heating of the hoop and return conductors - the use of surge arresters and unilaterally earthing of cable sheaths.

Słowa kluczowe: bednarka uziemiająca, żyły powrotne kabli
Keywords: earth bar, cable sheaths

1. Wstęp

Podczas kontrolnych pomiarów w rozdzielni 6 kV dużego zakładu przemysłowego zauważono wypalone fragmenty farby na bednarce uziemienia (rys.1).

Przeprowadzone dodatkowe pomiary stwierdziły obecność dużych prądów w żyłach powrotnych kabli zasilających.

Zostały podjęte działania celem określenia przyczyny grzania się bednarki oraz obecności dużych prądów w żyłach powrotnych kabli 6 kV.

Wskazano konieczne, niezbędne zmiany w istniejącym układzie celem wyeliminowania przyczyn grzania się bednarki oraz żył powrotnych.

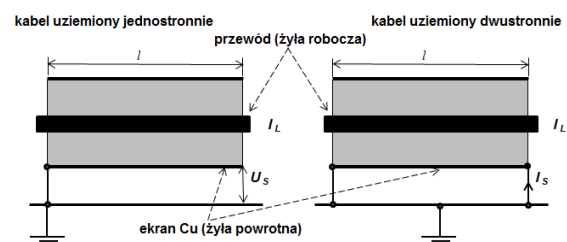
2. Uproszczona analiza układu kabli zasilających

Przedmiotem analizy jest układ kabli zasilających 6kV. Zagadnieniu przepływu prądu w żyłach powrotnych kabli poświęcono w literaturze wiele uwagi [1, 2, 3, 4, 6, 8]. Pod wpływem prądów płynących w żyłce roboczej indukuje się w żyłce powrotnej SEM (U_i) proporcjonalna do prądu przewodowego I_L , do częstotliwości f , jak również do długości kabla l .

W stosunku do prądu fazowego SEM jest przesunięta o $\sim 90^\circ$ elektrycznych [5].



Rys. 1. Wypalone fragmenty farby na bednarce uziemienia



Rys. 2. Kabel z żyłą powrotną

$$U_i = j \cdot \omega \cdot l \cdot I_L \cdot M \quad (1)$$

M - współczynnik indukcyjności wzajemnej pomiędzy żyłą roboczą i żyłą powrotną [H/km]

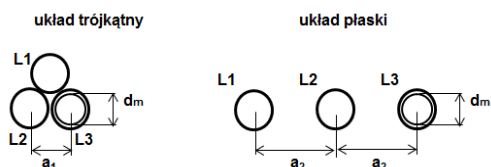
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (1a)$$

f - częstotliwość [Hz],

l - długość kabla [km],

I_L - prąd przewodowy [A] (wartość skuteczna).

Kable mogą być ułożone w układzie trójkątnym lub w układzie płaskim.



Rys. 3. Możliwe ułożenie kabli

Wartości indukowanych SEM można wyliczyć wg poniższych wzorów [2, 5] :

kable ułożone w układzie trójkątnym:

$$U_{L1} = U_{L2} = U_{L3} = j \cdot \omega \cdot l \cdot I_L \cdot 2 \cdot \ln(2 \cdot a / d_m) \cdot 0,0001 [V / km] \quad (2)$$

kable ułożone w układzie płaskim:

$$U_{L1} = j \cdot \omega \cdot l \cdot I_L \cdot 2 \cdot [(-0,5 \cdot \ln(a / d_m) + j \cdot \sqrt{3} / 2 \cdot \ln(4 \cdot a / d_m))] \cdot 0,0001 [V / km] \quad (3a)$$

$$U_{L3} = j \cdot \omega \cdot l \cdot I_L \cdot 2 \cdot [(-0,5 \cdot \ln(a / d_m) - j \cdot \sqrt{3} / 2 \cdot \ln(4 \cdot a / d_m))] \cdot 0,0001 [V / km] \quad (3b)$$

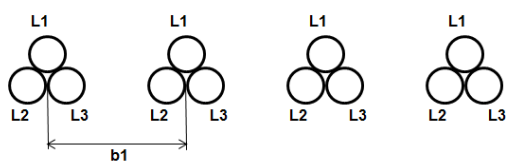
$$U_{L2} = j \cdot \omega \cdot l \cdot I_L \cdot 2 \cdot \ln(2 \cdot a / d_m) \cdot 0,0001 [V / km] \quad (3c)$$

d_m - średnia wartość średnicy na żyłę powrotnej [mm]

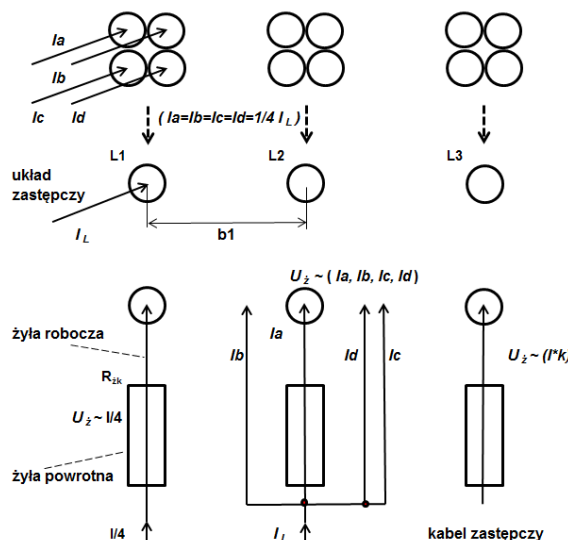
a - odległość między osiami [mm]

I_L - prąd w żyłę roboczej [A] (wartość skuteczna)

W rozpatrywanym przypadku, zgodnie z projektem, kable winny być ułożone wg poniższego rysunku:



Rys. 4. Ułożenie kabli wg pierwotnego projektu



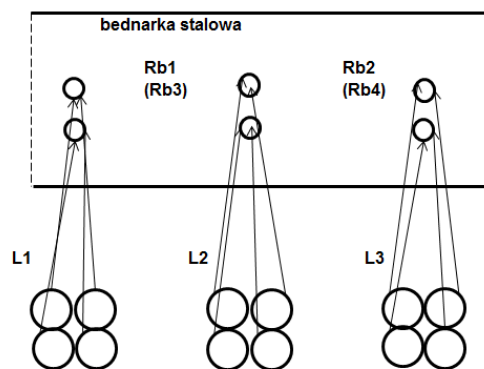
Rys. 5. Istniejący układ kabli, propozycja układu zastępczego

Niemniej ze względów budowlanych (kolizja z układem wentylacji) ostatecznie kable ułożono wg rys. 5.

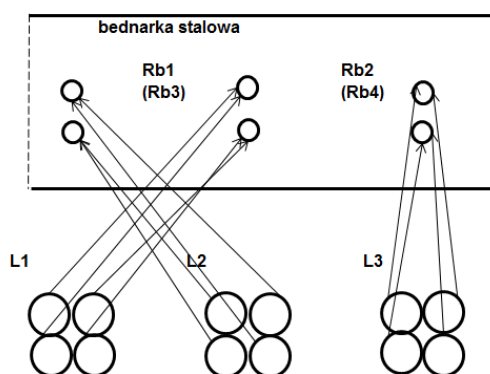
Aby skorzystać z powyższych wzorów, wiązkę czterech równoległych kabli należy zastąpić kablem zastępczym w sposób przedstawiony na rys. 5.

W czterech kablach płynie ten sam prąd, co do wartości skutecznej ($I_L/4$), jak również co do wartości chwilowej.

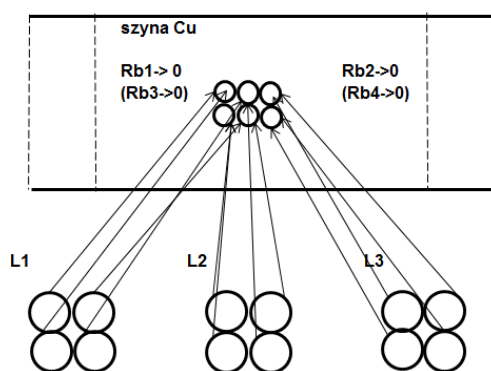
Powoduje to dodatkowe zwiększenie indukowanej SEM w żyłę powrotnej, szacowane na $k = 2,0 - 2,5$.



Rys. 6. Wcześniejsze podłączenie żył powrotnych – prawidłowe przyporządkowanie



Rys. 7. Wcześniejsze podłączenie żył powrotnych – nieprawidłowe przyporządkowanie, z zamianą podłączenia przyporządkowanych faz

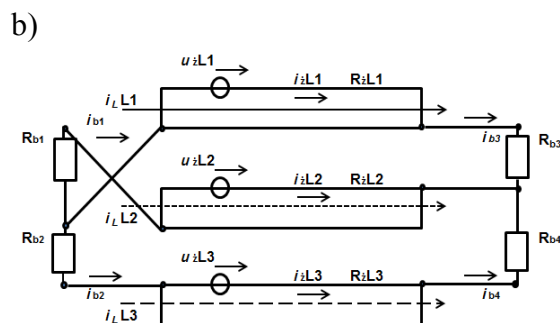
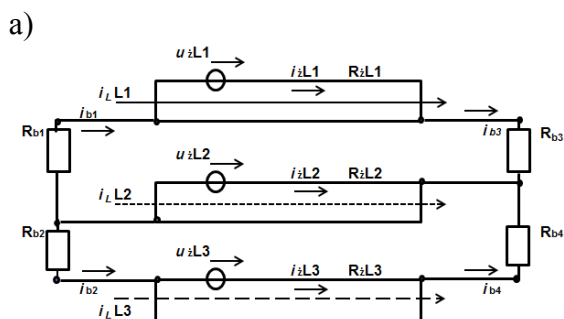


Rys. 8. Aktualne podłączenie żył powrotnych - w okresie przed zainstalowaniem odgromników, z wykorzystaniem szyny Cu

3. Analiza wyników symulacji

Uproszczona analiza:

- nie uwzględnia wzajemnego oddziaływania prądów indukowanych w żyłach powrotnych,
- zakłada, że prądy robocze są symetryczne trójfazowe, tj. $I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_L$,



Rys. 9. Uproszczony model elektryczny układu kabli z żyłami powrotnymi: a – wg rys. 6, b – wg rys. 7.

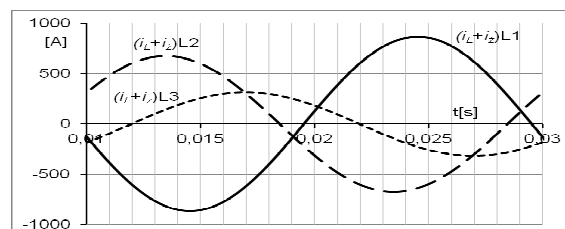
- pozwala określić poziom indukowanych napięć, poziom prądu w żyłach powrotnych, strat w żyłach powrotnych, strat w bednarce.

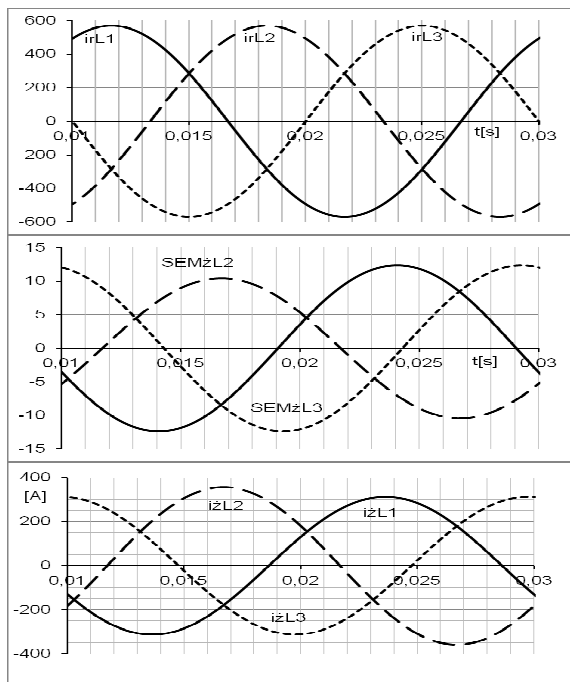
W oparciu o model przedstawiony na rys. 9, przeprowadzono następujące symulacje:

- układu kabli wg pierwotnego projektu,
- istniejącego układu kabli (rys. 6),
- istniejącego układu kabli (rys. 7).

Analizując wyniki symulacji można stwierdzić:

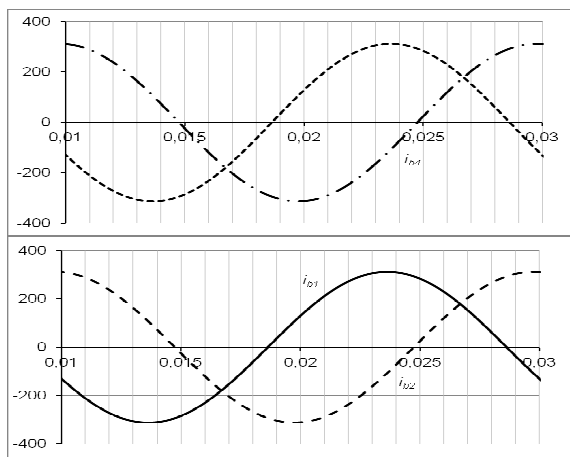
- w układzie wg pierwotnego projektu indukowana SEM jest niewielka, można założyć, że oddziaływanie wzajemne poszczególnych wiązek kabli zawierających fazy L1, L2 oraz L3 jest nieznaczne,
- w układzie wiązek 4 kabli dla każdej z faz, indukowana SEM znacznie się zwiększa ($k = 2,0 - 2,5$), dla znamionowego obciążenia może wynosić około 50 V (wartość skuteczna),
- szacowane straty w żyłach powrotnych wynoszą około 7,2 kW,
- pomimo symetrycznego wymuszenia 400 A (wartość skuteczna) występuje silna niesymetria prądów indukowanych w żyłach powrotnych,



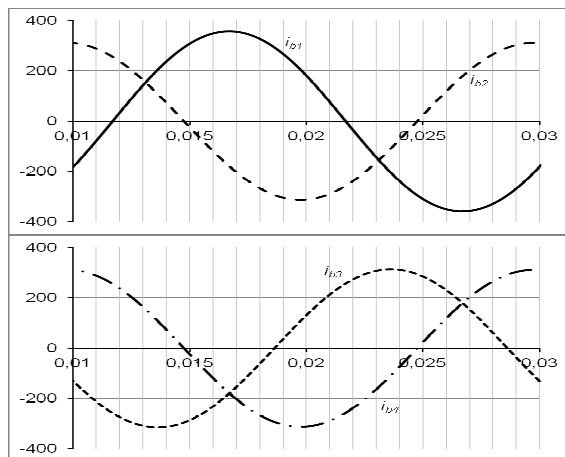


Rys. 10. Wyniki symulacji dla uproszczonego modelu elektrycznego układu kabli z żyłami powrotnymi.

- w przypadku podłączenia żył powrotnych wg rys. 7 (zamiana przyporządkowania faz) na jednym fragmencie bednarki wydzielą się 30% więcej mocy, co może tłumaczyć, dlaczego na jednej wypaliła się farba.



Rys. 11. Wyniki symulacji dla uproszczonego modelu elektrycznego układu kabli z żyłami powrotnymi (rys. 9a)



Rys. 12. Wyniki symulacji dla uproszczonego modelu elektrycznego układu kabli z żyłami powrotnymi (rys. 9b)

4. Wyniki pomiarów

Zarejestrowano wartości skuteczne sumy prądów płynących przez przewody fazowe i ekrany (pomiar przeprowadzono wspólnie obejmując żyłę roboczą i powrotną kabla): 400 A, 430 A, 300 A – mimo symetrycznego obciążenia żył roboczych występuje asymetria.

Zarejestrowano prądy (wartości skuteczne) płynące przez ekran kabli – pomiar w komorze transformatora: 320 A, 350 A, 350 A.

Po dokonaniu zmian w układzie zasilania kabli, na ogranicznikach zostały wykonane pomiary napięć (wartości skuteczne) indukowanych w ekranach, wyniki pomiarów dla prądu obciążenia 400 A (wartość skuteczna) były następujące:

linia na sekcji pierwszej	na sekcji drugiej
$U_{iL1} = 4,2 \text{ V}$	$U_{iL1} = 2,2 \text{ V}$
$U_{iL2} = 2,9 \text{ V}$	$U_{iL2} = 2,4 \text{ V}$
$U_{iL3} = 2,2 \text{ V}$	$U_{iL3} = 2,7 \text{ V}$

Pomiary te odpowiadają wynikom poniższych obliczeń:

dla układu trójkątnego wg pierwotnego projektu:

$D=45,2 \text{ mm}$, $d_m=38,4 \text{ mm}$, $I_L=100 \text{ A}$, $l=65 \text{ m}$, $a=45,2 \text{ mm}$, $f=50 \text{ Hz}$ wartość indukowanej SEM w układzie trójkątnym 4 x wiązka kabli (L1, L2, L3) wynosi 0,35 V;

dla układu płaskiego istniejącego (3 wiązki po 4 kable) $D=45,2 \text{ mm}$, $d_m=38,4 \text{ mm}$, $I_L=400 \text{ A}$, $l=65 \text{ m}$, $a=180,8 \text{ mm}$, $f=50 \text{ Hz}$ wartość indukowanej SEM

$U_{iL1}=U_{iL3}=5,20 \text{ V}$, $U_{iL2}=4,40 \text{ V}$.

5. Wnioski końcowe

Powodem podwyższonych wartości indukowanych SEM w konsekwencji znacznych prądów w żyłach powrotnych kabli była zmieniona konfiguracja układu zasilania kabli. Rozwiązanie zgodne z projektem było najkorzystniejszą konfiguracją.

Wobec braku możliwości ułożenia kabli zgodnie z projektem, pozostało zastosowanie odgromników zgodnie z wytycznymi producenta [7, 9], przy jednostronnym uziemieniu żył powrotnych.

W nowej konfiguracji sprawdzone powinny zostać ponownie zabezpieczenia zwarciove.

Uziemienie żył powrotnych z jednej strony bezpośrednio, a z drugiej poprzez ogranicznik przepięć pozwoli zredukować straty mocy (pozostaną tylko straty z tytułu prądów wirowych) i zwiększyć obciążalność żył roboczych.

Zmierzone wartości skuteczne sumy prądów fazowych i prądów płynących w żyłach powrotnych są niesymetryczne, odpowiadają wielkościom uzyskanym w symulacjach.

Przeprowadzone po modyfikacji pomiary oraz dotychczasowa ponad roczna eksploatacja potwierdziła słuszność podjętych decyzji.

6. Literatura

- [1]. A. Kanicki, J. Wiśniewski: *Parametry elektryczne linii kablowych z zastosowanym przeplotem żył powrotnych* - Przegląd Elektrotechniczny R.88 nr 9a 2012.
- [2]. F. Spyra: *Ograniczenie strat w liniach kablowych* – ENERGOPOMIAR -ELEKTRYKA 2009.
- [3]. A. Braun: *Schirmspannungen und Schirmverluste bei Mittelspannungs-VPE-Kabeln - Elektrizitätswirtschaft* 88 (1989) pp. 24-28.
- [4]. G. Balzer, B. Richter: *Verringerung von Kabelmantelverlusten. Einseitige Erdung mit zuzätzlichem Metalloxid - überspannungsableiter* - SEV/VSE Bulletin Nr. 15, 6. Juli 2001.
- [5]. C. Biolley, C. Wyler: *Metallschirme von Mittelspannungskabel (Technik der Mittelspannungskabel)* – NEXANS.
- [6]. *Technische Informationen MS/NS – Kabel* - BRUGG CABELS Energiesysteme 2009.
- [7]. *Anwendungsrichtlinie Bemessung, Prüfung und Einsatz von Metalloxid – Ableitern in Mittelspannungsnetzen* - ABB 1999.
- [8]. H. Boryń, S. Wojtas: *Prądy indukowane w metalowych powłokach kabli średniego napięcia* – Automatyka Elektryka Zakłócenia nr 7/2012.
- [9]. A. Heiß, G. Balzer, O. Schmitt, B. Richter: *Surge arresters for cable sheath preventing power losses in M.V. networks* – CIRED 18-21 June 2001, Conference Publication No. 482 IEE ©2001.

Autor

Henryk Krawiec
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
hkr@agh.edu.pl