

Rozpływ prądu zwarcia 1-fazowego, a dobór ograniczników przepięć do ochrony osłon kabli WN

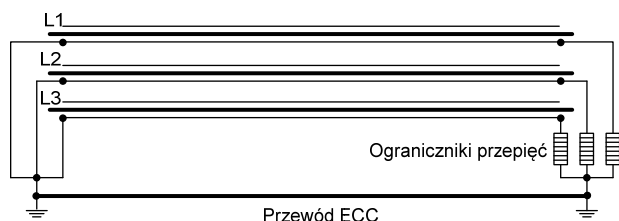
Streszczenie. W artykule opisano rozpływ prądu zwarcia 1-fazowego w liniach kablowych WN z jednostronnie uziemionymi żyłami powrotnymi oraz sposób wyznaczenia tego rozplywu. Przeanalizowano przypadki zwarć w układach o dużych mocach zwarciovych i w szerokim przedziale wartości rezystancji uziemień słupa kablowego. Określenie rozplywu prądu zwarcia 1-fazowego w linii kablowej pozwala na dokładne określenie napięć służących do doboru ograniczników przepięć chroniących osłony zewnętrzne kabli WN.

Abstract. The article describes the line-to-earth short-circuit current flow in HV cable lines with single point bonding of shield and the method of determining this flow. Cases of short-circuits in systems with high short-circuit power and in a wide range of cable pole earthing resistance values were analyzed. Determination of the line-to-earth short-circuit current flow in the cable line allows to precisely determine the voltages used to select the surge arresters protecting the sheaths of HV cables. (*Line-to-earth short-circuit current flow and selection of surge arresters to protect HV cable sheaths*).

Słowa kluczowe: linia kablowa, żyła powrotna, zwarcie 1-fazowe, przewód ECC
Keywords: cable line, shield, line-to-earth short-circuit, earth continuity conductor.

Wstęp

Chęć wykorzystania pełnej obciążalności kabli wysokiego napięcia wymusza na projektantach zastosowanie układów połączeń i uziemień żył powrotnych kabli, w których nie powstają dodatkowe straty mocy związane z przepływem prądów przez żyły powrotne. Jednym z takich układów jest układ SPB (*single point bonding*) czyli układ z jednostronnym uziemieniem żył powrotnych kabli WN, przedstawiony na rysunku 1. Dzięki takiemu połączeniu zapobiega się zamknięciu obwodu dla przepływu w żyłach powrotnych prądów powodowanych napięciami indukowanymi. Układ ten ma pewne ograniczenia, szczegółowo opisane w [1], m.in. stosowany jest głównie do niezbyt długich linii kablowych, przy czym dopuszczalna długość linii kablowej wynika z wartości napięć względem ziemi na nieziemionym końcu żył powrotnych. Napięcia te nie mogą być zbyt wysokie ze względu na prawidłową pracę ograniczników przepięć SN zainstalowanych na nieziemionym końcu żył powrotnych (służących do ochrony osłon zewnętrznych kabli) oraz ze względu na wytrzymałość na przebicie samych powłok/osłon. Napięcia na nieziemionym końcu linii zależą od budowy kabli, ich przestrzennego rozmieszczenia oraz prądów w żyłach roboczych. Największe wartości tych napięć (determinujące dobór ww. ograniczników przepięć) występują podczas zwarć, a w szczególności podczas zwarć jednofazowych, zlokalizowanych bezpośrednio za analizowaną linią.



Rys. 1. Układ SPB wraz z ogranicznikami przepięć i przewodem ECC wg [3]

Do prawidłowego obliczenia napięć służących do doboru ograniczników przepięć zainstalowanych jak na rysunku 1 niezbędne jest określenie rozplywu prądu zwarcia jednofazowego w elementach linii kablowej i układzie uziemień, co opisano w niniejszym artykule.

Obwód ziemnopowrotny

Jak wykazano m.in. w [1, 2, 6], stanem zakłóceniovym determinującym dobór ograniczników przepięć służących do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN (pracujących z jednostronnie uziemionymi żyłami powrotnymi), jest zwarcie 1-fazowe zlokalizowane bezpośrednio za rozpatrywaną linią kablową. W takim przypadku żyły powrotne nie są elementem, przez który może przepływać tego rodzaju prąd zakłóceniovym. Aby zapewnić bezpieczną drogę dla przepływu prądu zwarcia 1-fazowego, stosuje się dodatkowo, izolowany przewód ECC (*insulated earth continuity conductor*).

Każdy tor prądowy linii kablowej wysokiego napięcia zawiera trzy przewody fazowe oraz pewną ilość przewodów powrotnych. W linach kablowych przewodami powrotnymi są, żyły powrotne i powłoki metalowe kabli lub przewody ECC. Przewody powrotne są uziemione na obu końcach linii. Jeżeli suma prądów fazowych w danym torze linii nie zeruje się, w przewodach powrotnych i w ziemi pojawia się prąd powrotny.

Jeżeli do analizy założymy dwuprzewodową linię izolowaną względem ziemi, z przewodami oznaczonymi i oraz k , to jednostkowa impedancja własna przewodu i , wyrażona w Ω/km , dla częstotliwości $f = 50 \text{ Hz}$, określana jest wg [5] zależnością:

$$\underline{Z}'_{ii} = R'_i + \frac{\omega\mu_0 \cdot 10^3}{8} + j \frac{\omega\mu_0 \cdot 10^3}{2\pi} \left(\ln \frac{D_E}{r} + \frac{\mu_r}{4} \right) \approx$$

$$\approx R'_i + 0,049 + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{\gamma} \quad (1)$$

gdzie: R'_i – rezystancja przewodu izolowanego względem ziemi, w Ω/km , d – promień zewnętrzny przewodu lub żyły, w m, μ_r – przenikalność magnetyczna względna materiału przewodu lub żyły, ω – pulsacja ($\omega = 2\pi f$), γ – geometryczny promień zastępczy przewodu (*geometric mean radius*), w m, D_E – odległość przewodu od fikcyjnego przewodu powrotnego znajdującego się w ziemi, zależna od rezystywności gruntu ρ_E , wyrażona w m, wg wzoru [5]:

$$D_E = 93,1\sqrt{\rho_E} \quad (2)$$

Jednostkowa impedancja wzajemna przewodów i oraz k wyrażona w Ω/km , dla częstotliwości $f = 50$ Hz, określana jest wg [5] zależnością:

$$(3) \quad \underline{Z}'_{ik} = \frac{\omega\mu_0 \cdot 10^3}{8} + j \frac{\omega\mu_0 \cdot 10^3}{2\pi} \ln \frac{D_E}{D_{ik}} \approx 0,049 + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{D_{ik}}$$

gdzie D_{ik} średnia geometryczna odległość między przewodem i oraz przewodem k , wyrażona w m.

Należy zwrócić uwagę, że rezystancja własna pętli ziemnopowrotnej zawiera dwa składniki: rezystancję wewnętrzną przewodu (R'_i) oraz dodatkową rezystancję, wynoszącą $0,049 \Omega/\text{km}$, która jest interpretowana jako rezystancja ziemi. Rezystancja ziemi jest proporcjonalna do częstotliwości i nie zależy od rezystywności gruntu ρ_E [5].

Obwody zwarcia, w tym ziemnopowrotne, tworzą żyły robocze kabli, żyły powrotne kabli oraz żyła przewodu ECC. Dla każdej pary obwodów można określić ich średnią geometryczną odległość: S_{cf} , S_{if} oraz S_{ic} gdzie indeks f oznacza żyłę kabla, przez którą przepływa prąd zwarcia 1-fazowego, i – wybraną żyłę powrotną, na której określane jest napięcie indukowane, a indeks c żyłę przewodu ECC. Wynikają stąd, na podstawie wzoru (3), odpowiednie jednostkowe impedancje wzajemne (w Ω/km):

$$(4) \quad \underline{Z}'_{cf} = 0,049 + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{S_{cf}}$$

$$(5) \quad \underline{Z}'_{if} = 0,049 + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{S_{if}}$$

$$(6) \quad \underline{Z}'_{ic} = 0,049 + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{S_{ic}}$$

Dla kabla ECC istotna jest także impedancja własna, określona na podstawie (1) wzorem:

$$(7) \quad \underline{Z}'_{cc} = (R'_c + 0,049) + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{\gamma_c}$$

gdzie R'_c jest jednostkową rezystancją przewodu ECC (w Ω/km).

Rozpływ prądu zwarcia 1-fazowego w linii kablowej w układzie SPB

W liniach kablowych pracujących w układzie SPB napięcie na nieziemionym końcu żył powrotnych względem ziemi lokalnej (które stanowi podstawę doboru ograniczników przepięć do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN) jest różnicą SEM indukowanej w żyłach powrotnych \underline{E}_i oraz straty napięcia $\Delta \underline{U}_c$ na żyłę przewodu ECC. Napięcie to dla każdej żyły powrotnej ma inną wartość, ale największą wartość osiąga na żyłę powrotnej kabla, przez który płynie prąd zwarcia. Po uwzględnieniu powyższych zależności napięcie na nieziemionym końcu żył powrotnych względem ziemi lokalnej, wyrażone w V/km, wyznacza się ze wzoru:

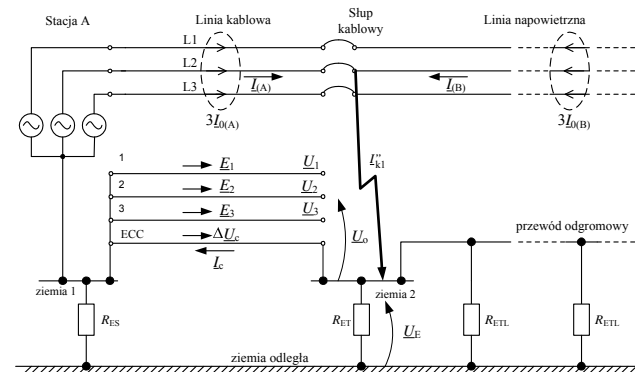
$$(8) \quad \underline{U}_0 = \left\{ -j0,145 \lg \frac{2S_{cf}}{d} \cdot \underline{I} - \left[R'_c + j0,145 \lg \frac{S_{cf}}{\gamma_c} \right] \cdot \underline{I}_c \right\},$$

gdzie: \underline{I} prąd zwarcia 1-fazowego płynący żyłą fazową kabla (w A), \underline{I}_c prąd płynący przez przewód ECC (z pominięciem

ziemi) (w A), d – średnica żyły powrotnej kabla, γ_c – geometryczny promień zastępczy żyły przewodu ECC.

Aby zatem skorzystać ze wzoru (8) należy znać rozpływ prądu zwarcia 1-fazowego, a w szczególności jaka część tego prądu płynie przez przewód ECC, a jaka część popłynie przez ziemię.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat linii kablowej wyprowadzonej ze stacji elektroenergetycznej i połączonej z linią napowietrzną, pozwalający na określenie rozkładu prądu zwarcia 1 fazowego w elementach obwodu ziemnopowrotnego. Zwarcie zostało w tym przypadku założone na słupie kablowym (bezpośrednio za linią kablową).



Rys. 2. Schemat obwodu zwarcia 1-fazowego obejmujący kabel WN w układzie SPB wyprowadzony ze stacji i połączony z linią napowietrzną wg [1]

Oddziaływanie prądu płynącego w zwartej z ziemią żyłą roboczej kabla powoduje wyindukowanie się napięć na żyłach powrotnych wszystkich kabli fazowych linii oraz w przewodzie ECC. Żyły powrotne w układzie SPB są uziemione tylko z jednej strony, zatem pod wpływem tego napięcia w żyłach powrotnych nie popłynie prąd. W przewodzie ECC, który jest obustronnie uziemiony (i połączony ze źródłem prądu zwarcia) pod wpływem indukowanego napięcia popłynie prąd ograniczony impedancją własną przewodu ECC. Zgodnie z oznaczeniami na rysunku 2, indukowany prąd w przewodzie ECC wyznacza się z zależności:

$$(9) \quad \underline{I}_{EW} = 3 \underline{I}_0 \frac{\underline{Z}'_{cf}}{\underline{Z}'_{cc}}$$

Ta część prądu zwarcia wraca bezpośrednio do źródła, bez udziału ziemi. Tę składową prądu powrotnego nazywa się składową indukowaną. Pozostała część prądu zwarcia $\underline{I} - \underline{I}_{EW} = \underline{I}_E$ rozplywa się w układzie uziemień linii kablowej i połączonej z nią linii napowietrznej. Aby wyznaczyć ten prąd można posłużyć się tzw. współczynnikiem redukcyjnym linii kablowej (lub napowietrznej). Współczynnik redukcyjny r_E linii trójfazowej jest stosunkiem prądu ziemnopowrotnego (czyli prądu płynącego przez ziemię) do sumy prądów kolejności zerowej obwodu trójfazowego:

$$(10) \quad r_E = \frac{\underline{I}_E}{3 \underline{I}_0} = \frac{3 \underline{I}_0 - \underline{I}_{EW}}{3 \underline{I}_0}$$

Korzystając z zależności (9) współczynnik redukcyjny można wyrazić zależnością:

$$(11) \quad r_E = 1 - \frac{\underline{Z}'_{cf}}{\underline{Z}'_{cc}} = \frac{\underline{Z}'_{cc} - \underline{Z}'_{cf}}{\underline{Z}'_{cc}}$$

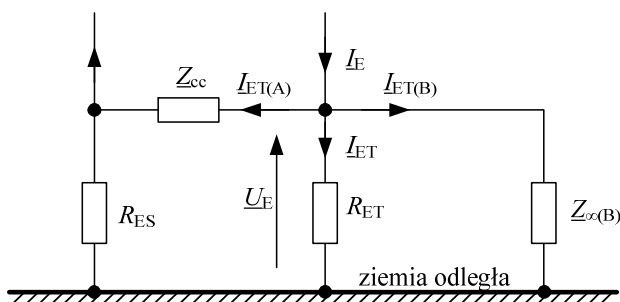
Zgodnie ze schematem zastępczym podanym na rysunku 2, prąd uziomowy przy zwarceniu na słupie kablowym linii WN można wyrazić następującym równaniem:

$$(12) \quad \underline{I}_E = \underline{r}_{E(A)} 3\underline{I}_{0(A)} + \underline{r}_{E(B)} 3\underline{I}_{0(B)}$$

We wzorze (12) współczynnik redukcji $\underline{r}_{E(A)}$ dotyczy linii kablowej, zaś współczynnik $\underline{r}_{E(B)}$ linii napowietrznej.

Prąd uziomowy, powracający przez ziemię do stacji zasilających, jest także nazywany zredukowanym prądem zwarcia. Prąd ten powoduje pojawienie się na słupie ze zwarcieniem napięcia uziomowego \underline{U}_E względem ziemi odległej. Napięcie to występuje także na zacisku końcowym przewodu ECC.

Układ uziomowy w układzie przedstawionym na rysunku 2 obejmuje uziemienie słupa kablowego, uziemienie stacji i układ uziemień słupów linii napowietrznej połączonych przewodem odgromowym (przewodami). Słup kablowy i stacja połączone są przewodem ECC, zatem również ten element układu należy zaliczyć do układu uziomowego, którego schemat zastępczy przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat zastępczy do określenia rozplywu prądu zwarcia w układzie uziomowym z linią kablową wg rys. 2

Układ uziemień słupów linii napowietrznej połączonych przewodami odgromowymi przedstawiono na rysunku 3 za pomocą zastępczej impedancji $\underline{Z}_{\infty(B)}$. Przy założeniu, że linia zawiera ponad 10 słupów, Impedancję wejściową takiego długiego odcinka linii określa wzór:

$$(13) \quad \underline{Z}_{\infty} = \frac{1}{2} \left[\underline{Z}_s + \sqrt{\underline{Z}_s(\underline{Z}_s + 4R_{ETL})} \right],$$

w którym \underline{Z}_s jest impedancją własną przewodu odgromowego w linii napowietrznej (lub dwóch przewodów odgromowych) w przęśle o rozpiętości średniej a_{sr} , zaś R_{ETL} jest średnią rezystancją uziemienia słupów w linii.

Na podstawie schematu zastępczego z rysunku 3 składowa galwaniczna prądu płynącego w przewodzie ECC wynika ze wzoru:

$$(14) \quad \underline{I}_{ET(A)} = \underline{I}_E \frac{R_{ES} + \frac{R_{ET} \cdot \underline{Z}_{\infty}}{R_{ET} + \underline{Z}_{\infty}}}{R_{ES} + \frac{R_{ET} \cdot \underline{Z}_{\infty}}{R_{ET} + \underline{Z}_{\infty}} + \underline{Z}_{cc} \cdot L},$$

gdzie: R_{ET} jest rezystancją uziemienia słupa kablowego, R_{ES} – rezystancją uziemienia stacji, a L długością linii kablowej. Całkowity prąd płynący przez przewód ECC jest sumą składowej indukowanej i galwanicznej.

$$(15) \quad \underline{I}_c = \underline{I}_{EW(A)} + \underline{I}_{ET(A)}$$

Tak określona wartość prądu \underline{I}_c pozwala dopiero na zastosowanie wzoru (8) i poprawne określenie napięcia jakie wystąpi na ogranicznikach przepięć w sytuacji najbardziej niekorzystnego stanu zakłóceniewego.

Przykład i analiza wyników

W artykule [4] przedstawiono kontrowersyjne wyniki i wnioski w zakresie doboru ograniczników przepięć do doboru osłon kabli WN pracujących w układzie SPB. Zdaniem Autora [4] duży poziom prądu zwarciewego nie pozwala na zastosowanie wzoru (8) do doboru ograniczników przepięć stosowanych do ochrony osłon kabli WN w układzie SPB. Postanowiono zatem jeszcze raz poddać analizie taki sam układ. W układzie tym zamodelowano linię kablową o długości 500 m, złożoną z kabli XRUHKXS 1x800RMC/210 64/110(123) kV ułożonych w układzie trójkąta oraz przewodu LgYcyw 1x240 stanowiącego przewód ECC, jako skablowanie linii napowietrznej na podejściu do stacji 110/400 kV o poziomie prądu zwarciewego na szynach rozdzielni 110 kV wynoszącym 40 kA. W modelowanym układzie nie zastosowano transpozycji położenia przewodu ECC, co stanowi mniej korzystny przypadek. Podobnie jak w artykule [4] sprawdzono jaki wpływ na uzyskiwane wyniki ma rezystancja słupa kablowego. Parametry linii kablowej i inne parametry użyte do obliczeń zestawiono w tabeli 1

Tabela 1 Parametry użyte do obliczeń

L.p.	Parametr	Wartość
1	Średnica żyły kabla fazowego	34,6 mm
2	Średnica izolacji kabla fazowego	70,4 mm
3	Średnica zewnętrzna żyły powrotnej	74,8 mm
4	Średnica zewnętrzna kabla	87,7 mm
5	Średnica żyły przewodu ECC	24,9 mm
6	Średnica zewnętrzna przewodu ECC	35,1 mm
7	Rezystancja uziemienia stacji	0,34 Ω
8	Rezystancja uziemienia słupa kablowego	(0,5÷10) Ω
9	Rezystywność gruntu	100 Ωm

Dla parametrów linii kablowej przedstawionych w tabeli 1 oraz opisanego sposobu ułożenia niezbędne odległości do określenia poszczególnych impedancji linii kablowej wynoszą: $S_{ic} = S_{cf} = 118,3$ mm, $S_{if} = 36,3$ mm.

Założono, że linia napowietrzna połączona z kablem składa się co najmniej z 10 przęseł, co jest istotne przy określeniu zastępczej impedancji układu uziomowego linii (rezystancje słupów połączone impedancjami przewodów odgromowych w kolejnych przęsełach). Dla zamodelowanej linii zastępcza impedancja jej układu uziomowego określona wg zależności (14) wynosi $\underline{Z}_{\infty} = (1,094 + j0,943)$ Ω.

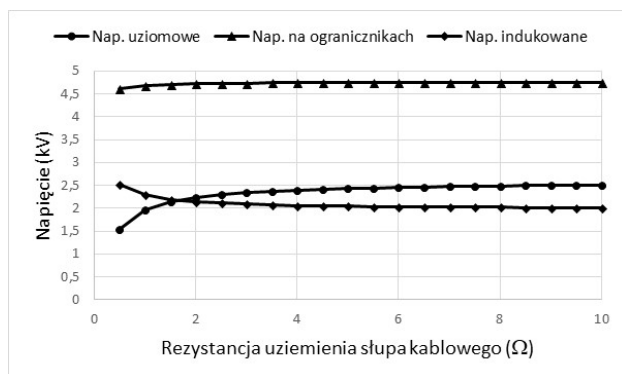
Tabela 2. Wyniki rozplywu prądu zwarcia 1-fazowego w analizowanym układzie

R_{ET} Ω	$\underline{I}_{ET(A)}$	$\underline{I}_{ET(A)}$	\underline{I}_{ET}	\underline{I}_{ET}	\underline{I}_c	\underline{I}_c
	kA					
0,5	6,0-j5,0	7,8	2,2+j2,2	3,1	36,7-j2,2	36,8
2	7,1-j4,1	8,2	0,6+j0,9	1,1	37,9-j1,3	37,9
4	7,4-j3,8	8,3	0,3+j0,5	0,6	38,1-j1,0	38,1
6	7,4-j3,7	8,3	0,2+j0,4	0,4	38,2-j0,9	38,2
8	7,5-j3,6	8,3	0,2+j0,2	0,3	38,2-j0,9	38,2
10	7,5-j3,6	8,3	0,1+j0,2	0,3	38,3-j0,8	38,3

Zwarcie założono na słupie kablowym, czyli założono najgorszy przypadek stanu zakłóceniewego, determinującego dobór ograniczników przepięć do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN. Dla prądu zwarcia jednofazowego takiego jak na szynach rozdzielni czyli 40 kA, składowa indukowana prądu płynącego przewodem ECC wynosi (30,75 + j2,78) kA i jest niezależna od rezystancji uziemienia słupa kablowego. Składowa galwaniczna prądu płynącego przez przewód ECC, całkowity prąd w przewodzie ECC oraz prąd płynący do ziemi przez rezystancję uziemienia

słupa kablowego zależą od tej rezystancji. Wartości tych prądów dla wybranych rezystancji uziemienia słupa kablowego, przedstawiono w tabeli 2.

Tak wyznaczone prądy, a w szczególności prąd płynący przewodem ECC stanowi podstawę do obliczenia napięcia występującego na ogranicznikach przepięć, służących do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN. Korzystając ze wzoru (8) obliczono zatem ww. napięcie dla poszczególnych wartości prądu I_c (korzystając ze wzoru (8) należy używać zespolonych wartości tego prądu). Oprócz tego napięcia, obliczono napięcie uziomowe oraz napięcie indukowane w żyłce powrotnej kabla WN (w fazie, w której założono zwarcie). Moduły tych napięć przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Napięcia występujące w linii kablowej WN podczas zwarcia 1-fazowego, w funkcji rezystancji uziemienia słupa kablowego

Z analizy rysunku 4 wynika, że napięcia na ogranicznikach przepięć obliczone zgodnie ze wzorem (8) osiągają większe wartości niż napięcie uziomowe i napięcie indukowane na żyłce powrotnej kabla WN. Nie jest zatem prawdą, że podstawą doboru ograniczników przepięć do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN powinno być napięcie uziomowe, co wynika z artykułu [4], ani samo napięcie indukowane na żyłce powrotnej zwartego kabla WN, na co wskazują zalecenia zawarte w [7] i [8]. Napięcia trwałej pracy omawianych ograniczników przepięć powinno być zatem większe lub równe od modułu napięcia wyznaczonego wzorem (8), co jest również zgodne z wytycznymi [9]. Zawarty w wytycznych [9] wzór (2.3) jest analogiczny do wzoru (8), zatem pozwala on na określanie minimalnej wartości napięcia trwałej pracy tych ograniczników, a nie maksymalnej, co sugeruje się w artykule [4].

W artykule [4] zakwestionowano również podstawę opracowania wzoru (8) czyli to, że napięcie na ogranicznikach jest różnicą SEM indukowanej w żyłkach powrotnych E_i oraz straty napięcia ΔU_c na żyłce przewodu ECC. Poddanie tego faktu w wątpliwość jest jednak zakwestionowaniem podstawowych praw elektrotechniki jakim są prawo Ohma i II prawo Kirchhoffa. Zasugerowana w artykule [4] konieczność uwzględniania napięcia uziomowego na słupie kablowym („oddziaływania wzrostu lokalnego potencjału ziemi w otoczeniu uziemienia słupa kablowego” [4]), nie uwzględnia jednak faktu, że prąd płynący w ziemi płynie również przez uziemienie drugiego końca linii kablowej wywołując tam określony spadek napięcia. Zgodnie z II prawem Kirchhoffa geometryczna suma spadków napięcia uziomowego i napięcia na rezystancji uziemienia drugiego końca linii kablowej (w analizowanym przykładzie rezystancja uziemienia stacji) jest równa stracie napięcia na przewodzie ECC. Zatem określając napięcie na ogranicznikach instalowanych do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN, pracujących w układzie SPB, oprócz SEM indukowanej w żyłkach powrotnych E_i , można uwzględniać alternatywnie stratę

napięcia na przewodzie ECC lub spadki napięć w układzie uziemiającym linii kablowej, ale nie wybiórczo jedynie wzrost lokalnego potencjału ziemi w otoczeniu uziemienia słupa kablowego. Uwzględnienie wzrostu lokalnego potencjału ziemi na uziemieniach linii kablowej jest wymagane w zupełnie innym układzie połączeń żył powrotnych kabli jakim jest układ z wykorzystaniem *cross-bondingu*.

Podsumowanie

Poprawne obliczenie wartości prądów płynących w poszczególnych elementach linii kablowej i układu uziemień pozwala na właściwe określenie napięć występujących na ogranicznikach przepięć instalowanych do ochrony osłon kabli fazowych.

Prąd zwarciový płynący w przewodzie ECC ma dwie składowe: składową indukowaną, której wartość zależy od budowy linii kablowej i lokalizacji przewodu ECC względem kabli WN oraz składową galwaniczną zależną od poszczególnych impedancji układu uziomowego.

Przy obliczaniu napięć występujących w miejscu instalowania ograniczników przepięć służących do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN, należy uwzględniać SEM indukowaną w żyłkach powrotnych oraz stratę napięcia na żyłce przewodu ECC występującą podczas najniekorzystniejszego przypadku zwarcia jednofazowego. Zamiast straty napięcia na żyłce przewodu ECC można uwzględnić napięcie uziomowe na słupie kablowym, nie zapominając jednak o napięciu uziomowym na drugim końcu linii kablowej. Uwzględnienie spadków napięć w całym układzie uziomowym linii kablowej jest równoważne z uwzględnieniem straty napięcia w przewodzie ECC. Podstawą doboru tych ograniczników przepięć nie powinno być również samo napięcie indukowane w żyłkach powrotnych.

Jak wykazały wyniki obliczeń w układzie SPB z przewodem ECC, wartości napięć będące podstawą doboru przedmiotowych ograniczników przepięć, w niewielkim stopniu zależą od rezystancji uziemienia słupa kablowego.

Autor: dr inż. Dominik Duda Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, E-mail: dominik.duda@polsl.pl.

LITERATURA

- [1] Duda D., Szadkowski M., Żmuda K., Aktualne problemy projektowania i eksploatacji linii kablowych 110 kV (głównie miejskich), *Wiadomości elektrotechniczne*, 04 2014, 22-26.
- [2] Duda D., Szadkowski M., Ochrona przeciwprzepięciowa osłon kabli WN w różnych układach połączeń żył powrotnych. *Przegląd Elektrotechniczny* 2014 R. 90 nr 10, 37-40.
- [3] Duda D., Szadkowski M., Kable ECC w układzie SPB kabli wysokiego napięcia. *Przegląd Elektrotechniczny* 2016 R. 92 nr 10, 104-107.
- [4] Szuchnik K., Narażenia osłon/powłok kabli 110 kV od przepięć w układach ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych na wprowadzeniu do stacji o dużej mocy zwarciový – układ SPB. *Przegląd Elektrotechniczny* 2016 R. 92 nr 10, 108-111.
- [5] Żmuda K., Elektroenergetyczne układy przesyłowe i rozdzielcze. Wybrane zagadnienia z przykładami. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice 2012 r.
- [6] Special bonding of high voltage power cables. Technical Brochure No. 283, Working Group B1.18 CIGRE, October 2005.
- [7] IEEE Guide for the application of sheath-bonding methods for single-conductor cables and the calculation of induced voltages and currents in cable sheaths ANSI/IEEE Std 575-1988
- [8] PN-EN 60099-5:2014 Ograniczniki przepięć - Część 5: Zalecenia wyboru i stosowania.
- [9] Dobór ograniczników przepięć instalowanych na żyłkach powrotnych kabli elektroenergetycznych 110, 220 i 400 kV, *Standardy sieci przesyłowej PSE S.A.* (2015).