

## Kable ECC w układzie SPB kabli wysokiego napięcia

**Streszczenie.** W artykule opisano układy przestrzenne rozmieszczania kabli jednożyłowych WN oraz rodzaj połączenia i uziemienia ich żył powrotnych wpływające m.in. na obciążalność prądową linii kablowych. W artykule zaprezentowano sposoby wyznaczania napięć indukowanych w żyłach powrotnych kabli, w zależności od sposobu ułożenia oraz liczby kabli ECC. Przedstawiono rozważania dotyczące budowy i parametrów kabli ECC oraz sposobów ich ułożenia w linii kablowej względem kabli WN. Zaprezentowano wyniki przykładowych obliczeń pokazujące wpływ kabli ECC na wartości napięć indukowanych.

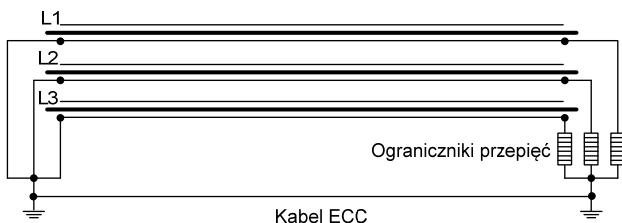
**Abstract.** The article describes the formation of single core HV cables and a type of connection and grounding their shields affecting the current carrying capacity of cable lines. The article presents calculating methods of induced voltages in the shield of cables depending on the arrangement and number of earth continuity conductors. The paper presents the considerations for the construction, parameters and arrangement of the insulated earth continuity conductors in a HV cable lines. The results of sample calculations showing the earth continuity conductors impact on induced voltages. (**Earth continuity conductors in SPB system of HV cables**).

**Słowa kluczowe:** linia kablowa, żyła powrotna, napięcie indukowane, kabel ECC

**Keywords:** cable line, shield, induced voltage, earth continuity conductor.

### Wstęp

Pożądana duża obciążalność kabli wysokiego napięcia oznacza stosowanie dużych przekrojów żył roboczych, zaś duże moce zwarciovowe występujące w stanie aktualnym lub planach rozwojowych, decydują o dużym przekroju żył powrotnych. Żyły powrotne muszą posiadać odpowiednią obciążalność zwarciovą dla prądów zwarcia jedno- i dwufazowego. W żyłach powrotnych mogą powstawać dodatkowe straty mocy, o których decyduje budowa kabli wysokiego napięcia, wzajemne ułożenie jednofazowych kabli w trójfazowej linii kablowej, sposób połączenia i uziemienia żył powrotnych oraz prąd w żyłach roboczych. Te dodatkowe straty występujące w żyłach powrotnych wpływają na obciążalność kabli. Przy niekorzystnym układzie (układ płaski jednofazowych kabli z obustronnie uziemionymi żyłami powrotnymi) straty w żyłach powrotnych mogą być większe od strat w żyłach roboczych [1]. Jednym ze sposobów ograniczenia strat dodatkowych w żyłach powrotnych jest łączenie i uziemianie ich tylko w jednym miejscu linii, z reguły na jej początku lub na końcu (ewentualnie w środku linii). Dzięki temu zapobiega się zamknięciu obwodu dla przepływu w żyłach powrotnych prądów powodowanych napięciami indukowanymi. Użytkuje się w ten sposób układ SPB (*single point bonding*) przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Układ SPB wraz z ogranicznikami przepięć i kablem ECC

Uziemiacz żyły powrotne tylko z jednej strony linii należy jednak brać pod uwagę, że na drugim (nieuziemionym) końcu wystąpi w różnych sytuacjach napięcie w stosunku do ziemi. Napięcie to nie może być zbyt wysokie ze względu na prawidłową pracę ograniczników przepięć SN zainstalowanych na nieuziemionym końcu żył powrotnych (do ochrony osłon kabli) oraz ze względu na wytrzymałość na przebicie powłoki/osłony zewnętrznej kabli WN. Napięcie na nieuziemionym końcu linii zależy

(podobnie jak straty mocy w linii z obustronnie uziemionymi żyłami powrotnymi) od budowy kabli, ich przestrzennego rozmieszczenia oraz prądów w żyłach roboczych. Stąd też największe wartości tych napięć występują podczas zwarć.

Innym sposobem uniknięcia strat dodatkowych w żyłach powrotnych jest stosowanie znacznie bardziej skomplikowanego układu, jakim jest układ z krzyżowaniem żył powrotnych (CB).

Zarówno w układzie z jednostronnym uziemieniem żył powrotnych (na nieuziemionym końcu żył powrotnych) oraz w różnych wariantach układu z krzyżowaniem żył powrotnych (w miejscu krzyżowania żył powrotnych) powinny być stosowane ograniczniki przepięć [2].

### Napięcia indukowane w żyłach powrotnych kabli

Każdy tor prądowy (przewód) wiodący prąd  $I$  (roboczy lub zwarciovowy) indukuje w torach równoległych (przewodach) odpowiednią siłę elektromotoryczną (SEM). W układzie z jednostronnym uziemieniem żył powrotnych przy trójkątnym ułożeniu kabli, symetryczny prąd 3-fazowy  $I$  indukuje w każdej żyłce powrotnej SEM. Wartość SEM wyrażoną w V/km można wyznaczyć z zależności:

$$(1) \quad E = 2I\omega \cdot 10^{-4} \cdot \ln \frac{2S}{d} = I \cdot 0,145 \lg \frac{2S}{d},$$

gdzie:  $S$  – odległość między osiami kabli, w mm,  $d$  – średnica żyły powrotnej kabla, w mm.

Największe napięcie indukowane w żyłach powrotnych kabli w układzie SPB jest zwykle spodziewane przy zwarciu 1-fazowym poza linią kablową. Jeżeli w budowie linii kablowej nie przewidziano elementu przez który mógłby przepływać powrotny prąd zwarcia, spodziewaną wartość indukowanej SEM wyrażonej w V/km określa wzór:

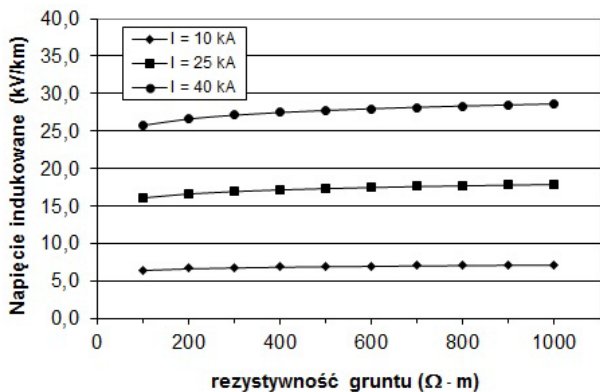
$$(2) \quad E = I \cdot \left| 0,049 + j0,145 \lg \frac{2D_E}{d} \right| \cong I \cdot 0,145 \lg \frac{2D_E}{d},$$

gdzie  $D_E$  jest odległością kabla od fikcyjnego przewodu powrotnego znajdującego się w ziemi, zależną od rezystywności gruntu  $\rho_E$ , wyrażoną w m wg wzoru [4]:

$$(3) \quad D_E = 93,1 \sqrt{\rho_E}.$$

Na rysunku 2 przedstawiono wpływ rezystywności gruntu na wartości napięć indukowanych w żyłach powrotnych kabla XRUHXS 64/110 ÷ 115(123) kV o przekroju żyły roboczej równym 630 mm<sup>2</sup> i przekroju żyły powrotnej 95 mm<sup>2</sup>, dla trzech różnych poziomów prądu zwarcia jednofazowego. Z analizy wyników przedstawio-

nych na rysunku 2 wynika, że jedynie przy stosunkowo niewielkich prądach zwarcia (i ograniczonej długości linii kablowej) układ taki mógłby pracować bez ryzyka uszkodzenia osłony zewnętrznej kabli podczas zwarcia jednofazowych. W przypadku zwarcia jednofazowego przepływający w ziemi prąd powrotny może przepływać w elementach podziemnej infrastruktury np. rurociągach, żyłach powrotnych kabli SN itd. Elementy te nie są przystosowane do przewodzenia dużych prądów powrotnych przy zwarcu w sieci WN lub NN, a ich położenie nie jest zwykle skoordynowane z trasami kabli WN. Prąd powrotny może zatem płynąć w znacznej odległości od kabli, co może skutkować indukowaniem się w żyłach powrotnych kabli napięć o dużych wartościach.



Rys. 2. Wartości napięć indukowanych w żyłach powrotnych kabli WN przy zwarcu jednofazowym poza linią kablową przy braku kabla ECC

Aby ograniczyć wartości napięć indukowanych w żyłach powrotnych i uniknąć ryzyka przepływu prądu zwarciowego przez odległe od kabla warstwy gruntu lub elementy infrastruktury podziemnej, wzdłuż linii kablowej WN w układzie SPB, w bezpośrednim sąsiedztwie kabli WN powinien być ułożony tzw. kabel ECC (*insulated earth continuity conductor*). Kabel ten powinien być obustronnie uziemiony i połączony z innymi elementami obwodu ziemnopowrotnego.

Kabel ECC jest zatem stosowany w celu:

- zapewnienia bezpiecznego przepływu powrotnego prądu zwarcia 1-fazowego przy zwarcu poza kablem, np. na słupie kablowym, innym słupie lub w rozdzielni WN,
- zmniejszenia (kilkakrotne) napięć indukowanych na żyłach powrotnych, które gdy osiągają zbyt dużą wartość, wymagają ograniczenia długości linii.

Obciążalność zwarciowa kabla ECC i wszystkich połączeń musi być równoważna obciążalności żyły powrotnej kabla WN. Przy wyjątkowo dużej mocy zwarciowej sieci może być wymagane ułożenie dwóch kabli ECC. Kable ECC jako części składowe układów uziemiających zapewniają ciągłość całego układu uziemiającego, od stacji do stacji. Jeżeli linia kablowa tworzy układ szeregowy z linią napowietrzną, kabel ECC (lub 2 kable ECC) zapewniają ciągłość przewodów uziemiających/odgromowych w całej linii. Dzięki temu następuje zmniejszenie wypadkowej impedancji uziemienia oraz pozostają pod kontrolą napięcia rażeniowe na stacjach i przy słupach linii (w tym przy słupach kablowych).

Ułożenie równoległego przewodu ECC przybliża drogę powrotną prądu zwarcia 1-fazowego do kabli WN. Prąd zwarcia 1-fazowego w dużym stopniu powraca wtedy do stacji zasilającej przez przewód powrotny ECC. Część prądu płynie także przez uziemienia w układzie i przez

ziemię. Napięcia indukowane na żyłach powrotnych kabli wyznacza się metodą opartą na zespolonych impedancjach obwodów ziemnopowrotnych [3]. Po zastosowaniu kabla ECC napięcie indukowane  $\underline{E}_i$  w żyłach powrotnych zależy od impedancji wzajemnej między żyłą powrotną a kablem ECC, impedancji wzajemnej między żyłą powrotną a żyłą roboczą kabla WN oraz prądów  $\underline{I}_c$  i  $\underline{I}$  płynących odpowiednio przez kabel ECC i żyłę roboczą kabla WN. Oprócz napięć indukowanych, do obliczenia napięcia na nieziemionym końcu żył powrotnych względem ziemi lokalnej, należy uwzględnić stratę napięcia na kablu ECC  $\Delta \underline{U}_c$ . Strata ta oprócz ww. prądów zależy od impedancji własnej kabla ECC oraz impedancji wzajemnej między kablem ECC a żyłą roboczą kabla WN [3].

Napięcie na nieziemionym końcu żył powrotnych względem ziemi lokalnej (które stanowi podstawę doboru ograniczników przepięć do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN w układzie SPB) jest różnicą SEM indukowanej w żyłach powrotnych  $E_i$  oraz straty napięcia  $\Delta \underline{U}_c$  na żyłę kabla 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:

$$(4) \quad \underline{U} = \left\{ -j0,1451g \frac{2S_{cf}}{d} \cdot \underline{I} - \left[ R'_c + j0,1451g \frac{S_{cf}}{\gamma_c} \right] \cdot \underline{I}_c \right\},$$

gdzie  $R'_c$  – rezystancja jednostkowa kabla ECC (w  $\Omega/\text{km}$ ),  $\gamma_c$  – promień zastępczy żyły kabla ECC,  $S_{cf}$  – średnia geometryczna odległość między żyłą kabla WN a żyłą kabla ECC.

Wzór (4) można uprościć przy założeniu, że praktycznie cały prąd powrotny przy zwarcu płynie przez kabel ECC, tj. że  $I_c \approx I$ . Uzyskuje się wyrażenie praktyczne, które pozwala oszacować nieco wyższą wartość napięcia indukowanego przy przepływie prądu zwarcia 1-fazowego przez kabel [3, 4]:

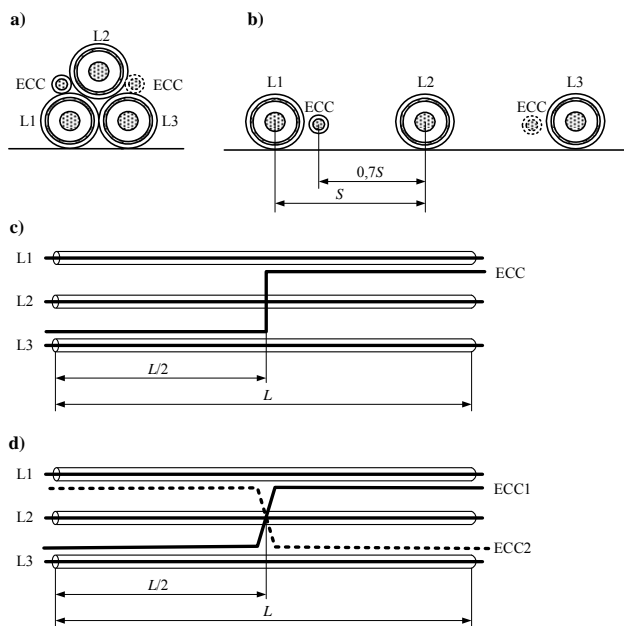
$$(5) \quad \underline{U} = - \left[ R'_c + j0,1451g \frac{2S_{cf}^2}{d \cdot \gamma_c} \right] \cdot \underline{I}.$$

### Sposób ułożenia kabli ECC

Kabel ECC powinien być ułożony jak najbliżej kabli WN, ponieważ tylko wtedy oddziaływania (poprzez indukcyjność wzajemną) od prądu w żyłę roboczą kabla WN i od prądu w żyłę kabla ECC w największym stopniu się znoszą (kompensują). Na rysunku 3a pokazano zalecany sposób ułożenia kabli ECC w przypadku rozmieszczenia trójkątnego kabli WN w układzie SPB. Taki sposób ułożenia zapewnia najmniejszą odległość kabli ECC od kabli WN, a więc zapewnia największą skuteczność kabli ECC w ograniczaniu napięć indukowanych w żyłach powrotnych. Wymagana liczba i przekrój kabli ECC są zależne od warunków zwarciowych w linii kablowej oraz od jej długości. Zdecydowanie należy wykluczyć stosowanie trzech kabli ECC, ponieważ tworzą one obwód zamknięty, w którym indukują się prądy (podobnie jak w układzie Both-ends) obniżające obciążalność prądową linii kablowej. Przy zastosowaniu dwóch kabli ECC także mogą indukować się prądy i dlatego wymaga się, aby w połowie trasy kable ECC zostały zamienione miejscami między sobą (został wykonany przeplot). Redukuje to do zera indukowane prądy, a więc eliminuje wpływ kabli ECC na obciążalność prądową kabli WN. W przypadku zastosowania pojedynczego kabla ECC jego przekrój powinien być odpowiednio zwiększony (dostosowany do warunków zwarciowych). Transponowanie położenia pojedynczego

kabla ECC jest celowe ale nie jest wymagane bezwzględnie, ponieważ jego obwód zamyka się tylko przez ziemię, a więc indukowane w nim prądy nie będą duże. Transponowanie pojedynczego kabla ECC na 1/3 i 2/3 długości linii kablowej może być ewentualnie istotne w celu maksymalnego ograniczenia i wyrównania napięć indukowanych na żyłach powrotnych wszystkich trzech kabli WN w układzie SPB.

Przy płaskim rozmieszczeniu kabli WN (lub NN) pojedynczy kabel ECC zaleca się prowadzić tak jak na rysunku 3b, wykonując w połowie trasy transponowanie jego położenia (rys. 3c). Transponowanie zapewnia, że napięcia indukowane na żyłach powrotnych kabli WN poszczególnych faz mają jednakową wartość niezależnie od tego, na której fazie wystąpi zwarcie 1-fazowe. Transponowanie redukuje także do zera napięcie i prąd indukujący się w kablu ECC przy symetrycznym obciążeniu i przy zwarciu 3-fazowym. Przy zachowaniu odległości między kablem ECC a kablami poszczególnych faz podanych na rysunku 3b, średnia geometryczna odległość kabla ECC od kabla środkowego wynosi 0,7 odległości między kablami fazowymi  $S$ , natomiast od kabli skrajnych odległość ta wynosi  $\sqrt{1,7S \cdot 0,3S} = 0,714S$ . Średnia geometryczna odległość kabla ECC od wszystkich kabli fazowych jest praktycznie jednakowa, a zatem wartości napięć indukowanych w żyłach powrotnych kabli fazowych są jednakowe. Dlatego układ z podanymi na rysunku 3b odległościami, wykonany z przeplotem zgodnie z rysunkiem 3c lub 3d jest uznawany za optymalny.



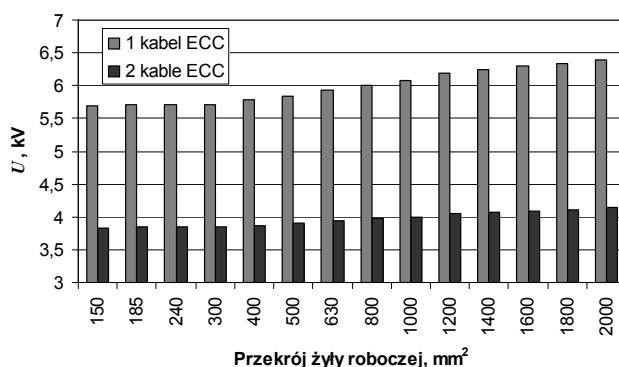
Rys. 3. Warianty rozmieszczenia kabli WN oraz kabli ECC a) trójkątne z jednym kablem ECC, b) płaskie z jednym kablem ECC, c) transponowanie położenia jednego kabla ECC w układzie płaskim, d) transponowanie położenia dwóch kabli ECC w układzie płaskim; na podstawie [5, 6]

Przy zastosowaniu dwóch kabli ECC (które są połączone i uziemione na obu końcach) zaleca się je prowadzić po obu stronach kabla środkowego (rys. 3d), przy czym w połowie trasy kable ECC należy zamienić miejscami między sobą (należy wykonać przeplot). Gwarantuje to, że obciążalność prądowa linii nie ulegnie zmniejszeniu.

Zastosowanie dwóch kabli ECC z punktu widzenia napięć na nieziemionym końcu żył powrotnych jest bardziej korzystne niż stosowanie jednego kabla ECC

(nawet o zwiększonym przekroju). Różnice w tych układach wynikają z różnych promieni zastępczych żył kabli ECC. W przypadku dwóch kabli ECC, promień zastępczy nie wynika tylko z budowy i właściwości samych żył kabli ECC, ale również z ich wzajemnego rozmieszczenia. Dwa przewody ECC należy traktować jak przewody wiązki i do obliczeń wykorzystywać ich geometryczny promień zastępczy GMR (*geometric mean radius*) [3, 4].

Na rysunku 5 przedstawiono dla porównania wartości napięć na nieziemionym końcu żył powrotnych kabli XRUHKXS 64/110 ÷ 115(123) kV przy zwarcu jednofazowym poza kablem przy zastosowaniu jednego i dwóch kabli ECC, obliczone zgodnie z zależnością (5). Do obliczeń przyjęto prąd zwarcia jednofazowego o wartości 25 kA, przekrój kabla ECC równy 300 mm<sup>2</sup> – dla układu z jednym kablem ECC i 2 × 150 mm<sup>2</sup> – dla układu z dwoma kablami ECC. Przy obliczeniach założono ułożenie kabla (kablów) ECC zgodnie z rysunkiem 4.



Rys. 4. Wartości napięć na nieziemionym końcu żył powrotnych przy zwarcu jednofazowym dla różnych przekrojów żył roboczych, dla jednego i dwóch kabli ECC

Jak widać z rysunku 4 napięcia na nieziemionym końcu żył powrotnych kabli w przypadku zastosowania dwóch przewodów ECC nie stanowią nawet połowy napięć osiąganych przy zastosowaniu pojedynczego kabla ECC. Zastosowanie dwóch kabli ECC należy zatem uznać za bardziej skuteczny środek obniżania napięć na nieziemionym końcu żył powrotnych w układach SPB. Ma to istotne znaczenie przy określaniu dopuszczalnej długości linii kablowej pracującej z jednostronnie uziemionymi żyłami powrotnymi lub przy doborze ograniczników przepięć do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN. Zastosowanie jednego kabla ECC jest jednak rozwiązaniem wystarczającym w liniach kablowych (wstawkach kablowych) o niewielkich długościach lub w miejscach sieci, w których prądy zwarcia nie osiągają dużych wartości. Z analizy wyników prezentowanych na rysunkach 2 i 4 łatwo jest wyciągnąć wniosek, że zastosowanie nawet jednego kabla ECC, znacząco obniża wartości napięć w układzie żyła powrotna – ziemia lokalna podczas zwarcia jednofazowego, co zdecydowanie obniża zagrożenie przebicia osłon zewnętrznych kabli WN i umożliwia zastosowanie dla tych osłon prawidłowej ochrony przed przepięciami. W układach SPB, w których nie występują inne elementy zapewniające bezpieczny przepływ prądu zwarcia jednofazowego (elementy kratownicy, linki odgromowe) zastosowanie przynajmniej jednego kabla ECC jest niezbędne.

#### Budowa kabla ECC

Napięcie sinusoidalne o częstotliwości 50 Hz pojawia się na żyłach kabla ECC podczas zwarcia 1-fazowego. Jest to napięcie uziomowe, pojawiające się na obu końcach linii

kablowej i osiągające wartości rzędu kilku kilowoltów. Wytrzymałość izolacji kabli ECC powinna być dostosowana do wartości napięć uziomowych, a więc dostosowana do konfiguracji i parametrów układów uziemiających na obu końcach linii. W związku z tym jako kable ECC wykorzystywane są zwykle kable SN typu YAKY 3,6/6 kV, YHAKXS 3,6/6 kV lub YHAKXS 6/10 kV. Należy mieć na uwadze to, aby wytrzymałość izolacji kabli ECC nie była mniejsza od wytrzymałości osłon kabli WN. Kable o napięciach 3,6/6 kV lub 6/10 kV z uwzględnieniem poziomu napięć wytrzymywanych (probierczych) powinny spełniać ten warunek. Podane wyżej przykładowe (typowe) kable SN, zastosowane w charakterze kabli ECC wyposażone są standardowo w żyłę powrotną. Tymczasem dla kabli ECC nie jest wymagana żyła powrotna. Należy bowiem pamiętać, że żyły powrotne „zwykłych” kabli SN, WN lub NN służą do bezpiecznego prowadzenia prądu powrotnego przy zwarciu jednofazowym w kablu lub poza nim. Kable ECC są natomiast elementem układu uziemiającego i posiadają potencjał zbliżony do zera podczas normalnej pracy sieci; ich żyły robocze same już służą do prowadzenia prądu powrotnego przy zwarciu np. w stacji na końcu linii kablowej.

W przypadku dysponowania tylko kablem wyposażonym w żyłę powrotną można rozpatrywać trzy wykonania: żyła powrotna Cu odizolowana, żyła powrotna uziemiona jednostronnie, żyła powrotna uziemiona obustronnie (czyli połączona równolegle z żyłą roboczą kabla ECC).

Na odizolowanej żyłe powrotnej pojawia się napięcie tylko podczas zwarć. Napięcie to wynika z dzielnika pojemnościowego utworzonego przez pojemności żyła robocza – żyła powrotna oraz żyła powrotna – ziemia oraz z napięcia indukowanego przez prąd zwarcia 3-fazowego (płyne tylko w kablach WN) oraz przez prąd zwarcia 1-fazowego (płyne w kablu WN oraz w żyłe roboczej kabla ECC). Pierwsza składowa napięcia na żyłe powrotnej jest znacznie mniejsza (2÷3 razy) od napięcia występującego na żyłe roboczej kabla ECC, nie może więc spowodować przebicia osłony kabla ECC. Druga składowa napięcia także nie osiąga bardzo dużych wartości, ponieważ prądowi zwarcia 1-fazowego w kablu WN towarzyszy płynący przeciwnie prąd w żyłe roboczej kabla ECC (o zbliżonej wartości). W takiej sytuacji przy prądzie zwarcia 20 kA można się spodziewać napięcia wyindukowanego ok. 2 kV/km.

Jednostronne uziemienie żyły powrotnej kabla ECC należałoby wykonać z tej strony linii kablowej, gdzie wykonane jest jednostronne uziemienie żył powrotnych kabli WN. Będzie to więc np. stacja elektroenergetyczna z uziomem kratowym, gdzie napięcie uziomowe nie jest szczególnie duże (1÷2 kV). Napięcie takie nie zagraża więc osłonie kabla ECC. Na drugim końcu linii kablowej (np. na słupie kablowym), na odizolowanej od ziemi żyłe powrotnej kabla ECC pojawia się napięcie indukowane przez prądy zwarcia, o wartości takiej jak w poprzednim przypadku.

Przy okazji należy zwrócić uwagę na pewien istotny fakt, a mianowicie że skutki przebicia osłony (powłoki zewnętrznej) kabla WN są bardzo poważne, ponieważ zagrażają wnikaniem wilgoci do kabla, a więc zagrażają izolacji głównej kabla WN znajdującej się stale pod napięciem. W odróżnieniu od tego w kablu ECC izolacja główna znajduje się pod napięciem tylko podczas zwarć, a jej zadaniem jest stworzenie bariery przed wynoszeniem potencjału uziomowego do otaczającej ziemi na trasie kabla.

Obustronne uziemienie żyły powrotnej kabla ECC posiada istotną zaletę, a mianowicie pozwala zmniejszyć rezystancję wypadkowego przewodu ECC (przez równoległe połączenie żyły roboczej i żyły powrotnej).

W układzie tym „redukuje” się izolację kabla ECC do wytrzymałości napięciowej jego osłony. Może to jednak nie być aż tak istotny czynnik przy niezbyt wysokich napięciach uziomowych na obu końcach linii kablowej.

Izolowanych przewodów ECC (kabli) nie można oczywiście zastąpić np. bednarką. Taki element ułożony bezpośrednio w ziemi wywołuje wzdłuż całej trasy linii (teren może być ogólnodostępny) niebezpieczne napięcia krokowe podczas zwarcia. Niezależnie od tego, bednarka stalowa (z uwagi na dużą rezystywność stali) nie jest zwykle w stanie obniżyć napięć indukowanych do wymaganego, niskiego poziomu.

W przypadku prowadzenia kabli po terenie stacji można uwzględnić zastosowanie przewodów ECC gołych (bez izolacji), np. bednarki miedzianej, linki miedzianej lub aluminiowej. Jest to zgodne z zasadami ochrony przeciwporażeniowej na terenie stacji, a zastosowana głębokość ułożenia przewodów ECC wypada zwykle poniżej głębokości ułożenia kraty uziemiającej. Jednak w każdym przypadku, gdy linia kablowa WN w układzie SPB wychodzi poza teren stacji (poza obszar kraty uziemiającej), należy ułożyć (izolowany) kabel ECC. Dotyczy to przypadków wyprowadzeń kablowych ze stacji (przechodzących dalej w linie napowietrzne) kończących się na słupie kablowym. Dotyczy to także wstawek kablowych do linii napowietrznych oraz linii kablowych łączących dwie stacje elektroenergetyczne.

## Podsumowanie

Kable ECC w układach z jednostronnie uziemionymi żyłami powrotnymi kabli WN powinny stanowić integralny element budowy linii kablowej. Zapewniają one obniżenie napięć indukowanych w żyłach powrotnych kabli WN i zapewniają bezpieczną drogę powrotną dla prądu zwarcia jednofazowego.

Pominięcie kabla ECC w budowie linii kablowej w układzie SPB jest dopuszczalne tylko dla bardzo krótkich linii, w których przepływ prądu zwarcia jednofazowego odbywa się przez inne (przewidziane do tego) elementy np. kratownicę stacji.

Zastosowanie dwóch kabli ECC jest znacznie bardziej skutecznym sposobem ograniczenia napięć indukowanych w porównaniu z zastosowaniem jednego kabla ECC o odpowiednio zwiększonym przekroju.

**Autorzy:** dr inż. Dominik Duda Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice., E-mail: dominik.duda@polsl.pl. dr inż. Marek Szadkowski Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice., E-mail: marek.szadkowski@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, s. 37-40.
- [3] Żmuda K., Elektroenergetyczne układy przesyłowe i rozdzielcze. Wybrane zagadnienia z przykładami. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice 2012 r.
- [4] Special bonding of high voltage power cables. Technical Brochure No. 283, Working Group B1.18 CIGRE, October 2005.
- [5] Cable system electrical characteristics. Technical Brochure No. 531, Working Group B1.30 CIGRE, April 2013.
- [6] 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