

Ochrona przeciwprzebieciowa osłon kabli WN w różnych układach połączeń żył powrotnych

Streszczenie. W artykule opisano, w jaki sposób układ przestrzenny kabli jednożyłowych WN oraz sposób połączenia i uziemienia ich żył powrotnych wpływają na wymóg oraz sposób wykonania i parametry ochrony przeciwprzebieciowej osłon kabli. W artykule zaprezentowano sposoby wyznaczania napięć indukowanych w żyłach powrotnych kabli, które wpływają na parametry ograniczników przepięć stosowanych do ochrony osłon kabli WN. Przedstawiono również inne zalecenia wpływające na jakość ochrony przeciwprzebieciowej osłon kabli WN.

Abstract. The article describes, how the formation of single core HV cables and the connection and grounding their shields, affects the requirement, the manner of execution and parameters of surge protection of cable sheaths. The paper presents methods of induced voltages calculating in the shield of cables that influence on the parameters of surge arresters used for the protection of HV cable sheaths. The other recommendations having an effect on the quality of surge protection of HV cables sheaths are also presented. (**Surge protection of HV cables sheaths in various shield connection systems**).

Słowa kluczowe: linia kablowa, żyła powrotna, napięcie indukowane, ogranicznik przepięć

Keywords: cable line, induced voltage, shield, surge arrester.

doi:10.12915/pe.2014.10.09

Wstęp

Kable jednożyłowe WN z izolacją XLPE są standardowo wyposażone w ekrany metaliczne, wykonane z drutów lub taśm miedzianych (jako tzw. żyła powrotna), ze stopu ołowiu (jako płaszcz ołowiany) lub w postaci ekranu z taśm aluminiowych. Ten element konstrukcyjny kabla jest zawsze (przynajmniej jednostronnie) uziemiany w celu uzyskania na nim potencjału ziemi. Taka konstrukcja pozwala na wytworzenie w izolacji kabla promieniowego rozkładu pola elektrycznego. Innym celem stosowania ekranów metalicznych jest stworzenie bezpiecznej drogi powrotnej dla prądów zwarciovych płynących po przebiciu izolacji kabla oraz przy zwarciach występujących poza daną linią kablową (zwłaszcza 1-fazowych).

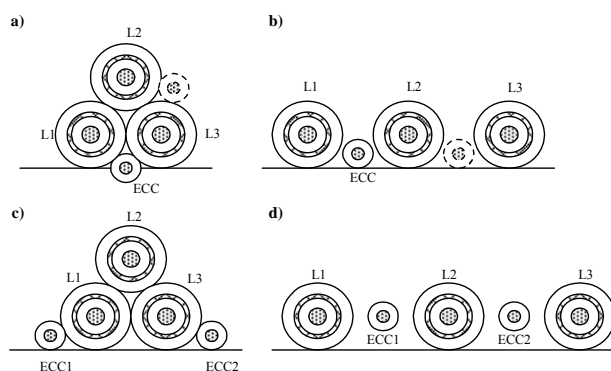
Pożądana duża obciążalność kabli WN oznacza stosowanie dużych przekrojów żył roboczych, zaś duże moce zwarciovych występujące w stanie aktualnym lub planach rozwojowych, decydują o dużym przekroju żył powrotnych. Na obciążalność kabli oprócz przekroju żyły roboczej wpływają straty dodatkowe występujące w żyłach powrotnych. Te z kolei zależą od przestrzennego rozmieszczenia kabli oraz sposobu połączenia i uziemienia ich żył powrotnych. W praktyce stosuje się dwa warianty rozmieszczenia kabli WN w ziemi lub w powietrzu (rys. 1):

- rozmieszczenie trójkątne (*trefoil formation*),
- rozmieszczenie płaskie (*flat formation*) z prześwitem między kablami równym średnicy zewnętrznej kabla lub wynoszącym 70 mm.

W zależności od potrzeb, długości linii, warunków ułożenia itp. stosowane są trzy układy połączeń i uziemienia ekranów metalicznych kabli:

- układ z obustronnym połączeniem i uziemieniem ekranów (*both-ends bonding*),
- układ z krzyżowaniem żył powrotnych (*cross-bonding screens – CB*),
- układ z jednostronnym uziemieniem ekranów (*single point bonding – SPB*).

Układ z obustronnym połączeniem i uziemieniem żył powrotnych nie wymaga stosowania ochrony przeciwprzebieciowej osłon kabli, gdyż potencjał obu końców żył powrotnych utrzymywany jest na poziomie potencjału ziemi. Dwa pozostałe układy wymagają jednak oprócz stosowania ochrony przeciwprzebieciowej izolacji głównej, dodatkowej ochrony przeciwprzebieciowej osłon zewnętrznych lub specjalnych muf przeznaczonych do krzyżowania żył powrotnych.



Rys. 1. Warianty rozmieszczenia kabli 110 kV oraz kabli ECC (wymaganych tylko w liniach kablowych o układzie SPB) a) trójkątne z jednym kablem ECC, b) płaskie z jednym kablem ECC, c) trójkątne z dwoma kablami ECC, d) płaskie z dwoma kablami ECC

W układzie z jednostronnym uziemieniem żył powrotnych należy zastosować również kabel ECC (*insulated earth continuity conductor*), umieszczony jak najbliżej kabli WN. Kabel ECC stosowany jest w celu:

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

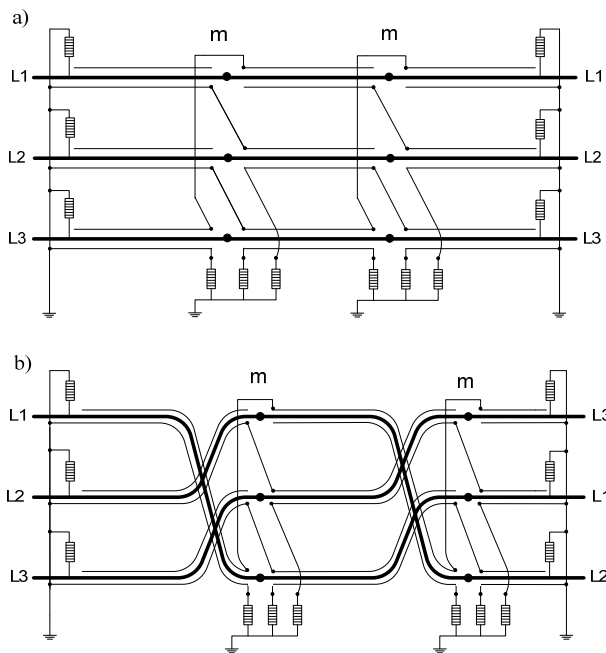
Obciążalność zwarciovą kabla ECC i wszystkich połączeń musi być równoważna obciążalności żyły powrotnej kabla WN. Przy wyjątkowo dużej mocy zwarciovych sieci może być wymagane ułożenie dwóch kabli ECC (rys. 1c i 1d).

Układy połączeń i uziemienia żył powrotnych kabli

Najprostszym i powszechnie stosowanym układem połączenia i uziemienia żył powrotnych jest ich obustronne bezpośrednie połączenie i uziemienie. Najczęściej taki układ występuje w sieciach SN, co jest możliwe dzięki temu, że kable SN mają żyły powrotne o małym przekroju (do 50 mm²). W obustronnie uziemionych żyłach powrotnych płyną stale prądy, ale nie występuje między ich końcami napięcie. Niestety, ze względu na straty w żyłach powrotnych (w niektórych przypadkach większe od strat w

żyłach roboczych), obciążalność prądowa kabli ulega znacznemu obniżeniu. Dotyczy to zwłaszcza kabli rozmieszczanych płasko [1].

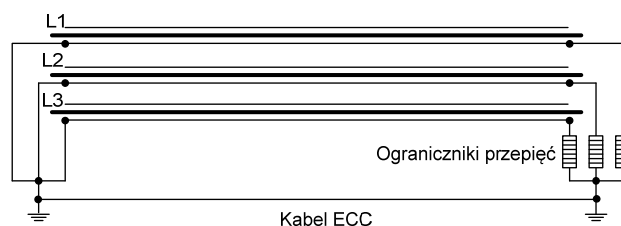
Znacznie bardziej skomplikowanym, ale w niektórych sytuacjach nie do uniknięcia jest układ z krzyżowaniem żył powrotnych (CB). Jest to układ zalecany w przypadku długich linii kablowych (powyżej ok. 1000 m) oraz przy bardzo dużych prądach zwarcia. Układ CB wymaga podzielenia linii kablowej na 3 odcinki (lub wielokrotność 3) o dokładnie jednakowej długości, tak aby moduły napięć indukowanych w odcinkach żył powrotnych były jednakowe. Łącząc odcinki żył powrotnych należące do kolejnych faz linii kablowej (rys. 2) uzyskuje się układ, w którym suma napięć indukowanych równa jest zero. W konsekwencji w takim układzie przez żyły powrotne w stanie normalnej pracy nie płynie prąd i nie powstają dodatkowe straty mocy, a zatem układ taki zapewnia dużą obciążalność prądową, zarówno przy trójkątym jak i płaskim rozmieszczeniu kabli. Układ z krzyżowaniem żył powrotnych wymaga jednak wykonania co najmniej dwóch komór kablowych na trasie linii oraz zastosowania specjalnych muf separacyjnych dla żył powrotnych. Na żyłach powrotnych w komorach kablowych występuje stałe napięcie; szczególnie duże podczas zwarć. W komorach kablowych muszą być zatem wykonane uziemienia oraz zainstalowane ograniczniki przepięć.



Rys.2. Układ CB z rozmieszczeniem ograniczników przepięć: a) układ z krzyżowaniem żył powrotnych, b) układ z krzyżowaniem żył powrotnych i przeplotem kabli, m – mufy przystosowane do połączeń krzyżujących żyły powrotne

W przypadku linii kablowych o długości do ok. 1 km i umiarkowanie dużych prądach zwarciovych często stosowanym układem kabli jest układ SPB z jednostronnym uziemieniem żył powrotnych (rys. 3). Układ taki zapewnia obciążalność prądową kabli porównywalną z obciążalnością w układzie CB. Jest jednak znacznie prostszy w budowie niż układ CB. W układzie SPB nie można jednak zapomnieć o ułożeniu możliwie blisko kabli WN dodatkowego kabla ECC, obustronnie uziemionego i połączonego z innymi elementami obwodu ziemnowpowrotnego. W układzie z jednostronnie uziemioną żyłą powrotną na nieziemionym końcu żyły występują napięcia indukowane. Napięcia te są szczególnie duże podczas zwarć i m.in. decydują o dopuszczalnej długości linii pracującej w takim układzie. Na

nieziemionym końcu żył powrotnych konieczne jest instalowanie prawidłowo dobranych ograniczników przepięć, chroniących osłony kabli WN (rys. 3).



Rys.3. Układ SPB z ogranicznikami przepięć i kablem ECC

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 trójkątym 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 żyłki powrotnej kabla, w mm.

Największe napięcie indukowane w żyłach powrotnych kabli w układzie SPB jest zwykle spodziewane przy zwarciu 1-fazowym poza linią kablową. Przy braku przewodu ECC 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 ρ_E , ważoną w m wg wzoru:

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

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 ziemnowpowrotnych [3, 4].

Ograniczniki przepięć SN na żyłach powrotnych kabli są przyłączone do żył powrotnych i do uziemienia słupa kablowego lub uziemienia stacji (rys. 3). Na ograniczniki te działa odpowiednie napięcie U_i , które jest różnicą SEM indukowanej w żyłach powrotnych E_i oraz straty napięcia ΔU_c na żyłce kabla ECC. Napięcie to jest napięciem żył powrotnych względem ziemi lokalnej, t.j. względem uziemionej konstrukcji słupa. Napięcie to dla każdej żyłki powrotnej ma inną wartość, ale największą wartość osiąga na żyłce powrotnej kabla, przez którą płynie prąd zwarcia. Napięcie będące podstawą do doboru ograniczników przepięć w układzie SPB, wyrażone w V/km, wyznacza się ze wzoru:

$$(4) \quad \underline{U}_2 = \left\{ -j0,145 \lg \frac{2S_{cf}}{d} \cdot \underline{I} - \left[R_c' + j0,145 \lg \frac{S_{cf}}{\gamma_c} \right] \cdot \underline{I}_c \right\}$$

gdzie: I – prąd zwarcia płynący przez kabel WN (w A), I_c – prąd powrotny płynący przez kabel ECC (w A), R_c' – rezystancja jednostkowa kabla ECC (w Ω/km), r_c – promień zastępczy żyły kabla ECC (w mm), S_{cf} – średnia geometryczna odległość między żyłą kabla WN a żyłą kabla ECC (w mm) [1].

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 zawyżoną wartość napięcia indukowanego przy przepływie prądu zwarcia 1-fazowego przez kabel:

$$(5) \quad \underline{U}_2 = - \left[R_c' + j0,1451 \text{lg} \frac{2S_{cf}^2}{d \cdot r_c} \right] \cdot I$$

Krzyżowe połączenie ekranów przy jednakowej długości trzech sekcji (lub wielokrotności 3) zapewnia zerowanie się sumy SEM indukowanych podczas normalnej pracy linii (symetryczne obciążenie) oraz podczas zwarcia 3-fazowego, lecz tylko dla całej linii. Na połączeniu poszczególnych sekcji, czyli w miejscach instalowania ograniczników przepięć, występuje napięcie względem ziemi. Dla trójkątnego ułożenia kabli napięcie to wyrażone w V/km może być określone według wzoru (1), natomiast dla układu płaskiego ze wzoru:

$$(6) \quad E = I \cdot 0,145 \cdot \left| -\frac{1}{2} \text{lg} \frac{S}{d} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \text{lg} \frac{4S}{d} \right|$$

Napięcie występuje również między żyłami powrotnymi (ekranami) kolejnych odcinków tej samej fazy. Największe napięcie występuje między żyłami powrotnymi skrajnych kabli ułożonych w układzie płaskim. W punkcie krzyżowego połączenia żył powrotnych napięcie to, wyrażone w V/km, jest określone wzorem:

$$(7) \quad E = I \cdot \sqrt{3} \cdot 0,1451 \text{lg} \frac{4S}{d}$$

W przypadku zwarcia jednofazowego poza rozpatrywanym kablem napięcie między ekranami dla trójkątnego ułożenia kabli może być wyrażone z zależności (1) natomiast dla układu płaskiego z zależności:

$$(8) \quad E = I \cdot 0,1451 \text{lg} \frac{4S}{d}$$

Z rozważań i obliczeń przeprowadzonych w [4] wynika, że napięcia między żyłami powrotnymi kolejnych sekcji tej samej fazy są porównywalne z napięciami na żyłach powrotnych na końcach sekcji względem ziemi. Przy połączeniu ograniczników w gwiazdę (rys. 2) między końcami żył powrotnych, włączone są szeregowo dwa ograniczniki. Wynika z tego, że do obliczeń przy doborze ograniczników przepięć powinno się wykorzystywać napięcia ekranów względem ziemi.

Ograniczniki przepięć nie mają możliwości pochłonięcia energii przepięć zasilanych napięciem o częstotliwości sieciowej, a tym samym ograniczenia przepięć na żyłach powrotnych (ekranach) występujących podczas zwarć. Z tego względu ich napięcie znamionowe powinno być większe od maksymalnej wartości obliczonego napięcia ekran – ziemia, dla najbardziej niekorzystnego przypadku zwarcia. Warunek ten obowiązuje zarówno w przypadku układu z jednostronnym uziemieniem żył powrotnych jak również dla układu z krzyżowaniem żył powrotnych.

Ochrona przeciwprzepięciowa osłon kabli w układzie SPB

W warunkach propagacji przepięć zarówno zewnętrznych (piorunowych) jak i wewnętrznych (sieciowych), w wyniku sprzężeń indukcyjnych i pojemnościowych, między żyłami powrotnymi i ziemią mogą pojawiać się napięcia zagrażające wytrzymałości osłony zewnętrznej kabla. Zagrożenie to jest znacznie zmniejszone w układach z obustronnym uziemieniem żył powrotnych, natomiast nasila się w układach z uziemieniem jednostronnym, szczególnie na nieuziemionym końcu żył powrotnych oraz w układach CB w miejscach krzyżowania żył powrotnych.

Konsekwencją zagrożenia przebicciem osłony zewnętrznej kabli w układach SPB jest konieczność ochrony osłony poprzez instalowanie na otwartych (nieuziemionych) końcach żył powrotnych ograniczników przepięć, możliwie blisko głowic. Wymaganie to zawarte jest również w normie [4]. W normie tej zapisano, że w sytuacji gdy płaszcze (ekrany, żyły powrotne) kabli są uziemiane tylko z jednej strony, to końce z nieuziemionym płaszczem kabla powinny być chronione przez ograniczniki przepięć. Wymaga się przy tym aby napięcie znamionowe takich ograniczników było wyższe niż napięcie indukowane w układzie płaszcz-ziemia przy maksymalnym prądzie zwarcia. Powyższe wymaganie wynika z tego, że ograniczniki przepięć w sytuacji zadziałania nie mają możliwości pochłonięcia energii stosunkowo długo trwających przepięć związanych z napięciami indukowanymi, a tym samym ograniczenia przepięć na żyłach powrotnych (ekranach) występujących podczas zwarć.

Parametry ograniczników przepięć stosowanych do ochrony osłon kabli powinny być również dostosowane do poziomu wytrzymałości tej osłony. Zwiększanie napięcia znamionowego ograniczników przepięć (wynikające np. z dużych napięć indukowanych w układzie żyła powrotna – ziemia) może doprowadzić do sytuacji, w której ochrona przeciwprzepięciowa osłony będzie nieprawidłowa. Osłona (powłoka) kabla nie pełni roli izolacji elektrycznej, a jedynie jest zabezpieczeniem przed wpływem czynników zewnętrznych na układ izolacyjny kabla, stąd nie podaje się dla niej parametrów związanych z wytrzymałością elektryczną w szczególności z wytrzymałością udarową. O minimalnej wytrzymałości elektrycznej (statycznej) jaką powinna mieć osłona/powłoka kabla informują jedynie poziomy napięć probierczych przyjmowane do prób szczelności takich osłon. W eksploatacji próbę szczelności powłoki wykonuje się zazwyczaj napięciem o wartości 5 kV przykładanym na czas 1 minuty [2, 5]. Zakładając zatem, że wytrzymałość statyczna osłon eksploatowanych kabli wynosi nieco ponad 5 kV można przyjąć, że napięcie pracy ciągłej ogranicznika nie powinno przekraczać 5 kV. Jeżeli wyniki obliczeń projektowych wykażą, że przy proponowanym układzie uziemiania żył powrotnych i ułożeniu kabla ECC wartości napięć indukowanych uniemożliwiają zastosowanie ograniczników o takim lub mniejszym napięciu trwałej pracy, należy podjąć działania mające na celu obniżenie wartości napięć indukowanych lub uzyskać wyraźną zgodę producenta kabla na stosowanie ograniczników o wyższym napięciu trwałej pracy. Stosowanie ograniczników o zbyt wysokim napięciu trwałej pracy może nie zapewnić ochrony osłon przy przepięciach piorunowych i łączeniowych prowadząc do jej przebiccia. Do przebiccia osłony zewnętrznej mogą doprowadzić również zbyt duże napięcia indukowane w układzie żyła powrotna - ziemia.

Oprócz napięcia znamionowego i napięcia trwałej pracy ograniczniki przepięć stosowane do ochrony osłon

zewnątrznych kabli powinny charakteryzować się takim samym znamionowym prądem wyładowczym jak ograniczniki stosowane do ochrony izolacji głównej kabli [6]. Ponadto zaleca się aby klasa rozładowania linii takich ograniczników była również taka sama jak dla ograniczników instalowanych między fazą i ziemią, a za dobrą praktykę uznaje się aby nie była mniejsza niż 2 [1]. Zewnątrz osłona izolacyjna ograniczników przepięć powinna wytrzymać spodziewane narażenia zabrudzeniowe bez przeskołu (jej droga upływu powinna być dostosowana do warunków zabrudzeniowych). Poziom ochrony zapewniany przez ogranicznik powinien być tak niski jak to jest możliwe, ponieważ wytrzymałość napięciowa osłony w czasie eksploatacji nie jest dobrze znana i nie jest sprawdzana w żadnych znormalizowanych badaniach [6]. Należy zatem zwracać uwagę na wartości napięć obniżonych ograniczników przy znamionowym prądzie wyładowczym i dobrać ograniczniki, które spełniając pozostałe kryteria, oferują jak najniższe wartości napięć obniżonych [1]. W przypadku jednostronnego uziemienia żył powrotnych kabli, ograniczniki przepięć na nieuziemionym końcu żył powrotnych powinny być zawsze połączone w gwiazdę, a punkt gwiazdowy połączony z uziemionym kablem ECC. Ograniczniki te powinny być połączone z żyłami powrotnymi kabli przewodami koncentrycznymi o małej impedancji falowej, odpowiedniej obciążalności i o długości 2 do 3 m. Ekran przewodów koncentrycznych powinny być połączone ze sobą oraz z uziemieniem ograniczników [4].

Ochrona przeciwprzepięciowa kabli w układzie CB

W układach z krzyżowaniem żył powrotnych poszczególne odcinki kabli łączy się wykorzystując specjalny osprzęt w postaci muf przelotowych z przekładkami izolującymi końce przeplatanych żył powrotnych. W związku z tym, że propagacja przepięć (łączeniowych i piorunowych) ma charakter falowy, nieciągłości żył powrotnych w miejscach ich krzyżowania wpływa znacząco na wartości napięć jakie mogą wystąpić na przekładkach izolacyjnych w mufach. O przebiegu fal wędrownych w jednożyłowych kablach wysokiego napięcia decydują impedancje falowe obwodów: żyła główna – żyła powrotna (Z_1) i żyła powrotna-ziemia (Z_2). Z rozważań teoretycznych wynika, że napięcie na przekładkach izolacyjnych w mufach przystosowanych do krzyżowania żył powrotnych, w zależności od stosunku impedancji Z_1/Z_2 , może osiągać wartości do 50% wartości szczytowej fali napięciowej na początku kabla. W przypadku bardzo małej impedancji falowej Z_1 napięcie to może wzrosnąć do 60%, co potwierdzają wyniki badań [4]. Jeżeli założyć, że wartość fali napięciowej na początku kabla nie powinna przekraczać wytrzymałości udarowej izolacji głównej, to wytrzymałość przekładek izolacyjnych w mufach do krzyżowania żył powrotnych powinna być na poziomie 50% wytrzymałości izolacji głównej kabli. Wytrzymałość udarowa osłon takich muf powinna być na poziomie 25% wytrzymałości izolacji głównej kabli. Wymagania te, już dla kabli o napięciu znamionowym 110 kV, byłyby trudne do spełnienia i zarazem kosztowne. Wynika stąd podstawowy wniosek, że w liniach WN z połączeniami krzyżującymi konieczne jest ograniczenie przepięć w obwodzie żył powrotnych za pomocą ograniczników przepięć zainstalowanych w pobliżu muf. Ograniczniki powinny być zainstalowane jak najbliżej chronionego osprzętu. Zwykle instaluje się je wraz z łącznikami do krzyżowania żył powrotnych w specjalnych skrzynkach, umieszczanych w studzienkach kablowych dostępnych dla obsługi. Połączenia krzyżujące powinny być wykonane przewodami koncentrycznymi o małej impedancji

falowej i o odpowiedniej obciążalności zwarciowej. Rozmieszczenie ograniczników przepięć w układach kabli z krzyżowaniem żył powrotnych przedstawiono na rysunku 2.

Ze wzrostem odległości od końców linii kablowej, po przejściu przez kilka stanowisk krzyżujących żyły powrotne, napięcie fali maleje do wartości niezagrożącej kablom. Z tego powodu zaleca się stosowanie ograniczników w miejscach krzyżowania żył powrotnych:

- za głowicami kablowymi od strony linii napowietrznych, na trzech pierwszych stanowiskach krzyżowania,
- za rozdzielnicami wewnętrznymi na dwóch pierwszych stanowiskach krzyżowania.

Wymagana wartość wytrzymałości przekładek izolacyjnych uzależniona jest od wartości znamionowego napięcia wytrzymywanego izolacji głównej kabli i długości przewodów łączących żyły powrotne z układem ograniczników. Zalecane jest aby długość przewodów łączących żyły powrotne z ogranicznikami przepięć nie przekraczała 3 m. Jeżeli jest to niemożliwe nie powinna w żadnym przypadku przekraczać 10 m. W zależności od przyjętej wartości napięć wytrzymywanych, długości przewodów łączących oraz metodyki obliczeń (przedstawionej w [4]), minimalna wymagana wytrzymałość przekładki izolacyjnej wynosi od 30 kV do 60 kV, odpowiednio dla połączeń o długości 3 m i 10 m. Jako typowe wartości wytrzymałości przekładek izolacyjnych przyjmuje się w zależności od długości połączeń odpowiednio 45 kV i 75 kV. Aby zapewnić odpowiednią ochronę izolacji przekładek izolacyjnych napięcie zadziałania ograniczników przepięć nie powinno przekraczać 80% ich wytrzymałości. Pozostałe parametry ograniczników powinny być takie same jak w przypadku ograniczników do ochrony osłon kabli przy jednostronnym uziemieniu żył powrotnych.

Podsumowanie

Wybór sposobu połączenia i uziemienia żył powrotnych jednofazowych kabli WN wpływa na sposób ochrony przeciwprzepięciowej osłon kabli. Ochrony takiej wymagają układy z jednostronnym uziemieniem i krzyżowaniem żył powrotnych.

Podstawą do określenia napięcia znamionowego ograniczników chroniących osłony kabli są wartości napięć indukowanych na żyłach powrotnych w najbardziej niekorzystnych warunkach (najczęściej podczas zwarć jednofazowych poza kablem).

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] Laskowski L., Instrukcja eksploatacji elektroenergetycznych linii kablowych *Wydawnictwo PTPIREE*, Poznań 2001.
- [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] Maintenance for HV cables and accessories. Technical Brochure No. 279, Working Group B1.04 CIGRE, August 2005
- [6] PN-EN 60099-5:1999 Ograniczniki przepięć. Zalecenia wyboru i stosowania.

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.