ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: ELEKTRYKA z.189 Nr kol. 1629

Roman KORAB, Edward SIWY, Kurt ŻMUDA
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów
Politechnika Śląska, Gliwice

ANALIZA MOŻLIWOŚCI REDUKCJI PRZEKROJU ŻYŁ POWROTNYCH W KABLACH ŚREDNIEGO NAPIĘCIA W SIECIACH MIEJSKICH

Streszczenie. Znaczny wpływ na koszt i ciężar kabli średniego napięcia (SN) o izolacji z polietylenu usieciowanego i z polwinitu ma sposób wykonania żył powrotnych, ekranów bądź innych elementów służących do przewodzenia prądów zakłóceniowych. Nowa norma kablowa PN-HD 620 S1:2002 (U) dopuszcza stosowanie kabli różnego typu. Podstawą racjonalnego doboru rodzaju kabli oraz przekroju żył powrotnych – lub elementów równoważnych – oprócz ceny kabli muszą być także kryteria techniczne. Są one oparte na analizie podwójnych zwarć doziemnych w danej sieci miejskiej. Artykuł zawiera opis zasad wykonywania takich analiz wraz z przykładowymi wynikami symulacji komputerowych.

THE ANALYSIS OF POSSIBILITY OF CROSS-SECTIONAL AREA OF COPPER SCREEN REDUCTION IN MEDIUM VOLTAGE CABLES IN URBAN NETWORKS

Summary. A construction of metallic screen or other elements designed for conducting short-circut currents has significant influence on cost and weight of medium voltage cabels in PVC or XLPE insulation. The new cable standard PN-HD 620 S1:2002 (U) allows for a possibility of using different types of cables. Not only the price of the cable, but also the technical criteria must be taken into consideration while choosing the types of cables as well as the cross-sectional area of the metalic screen or the equal elements. These technical criteria are based on the double earth faults analysis in the urban network. The paper presents the description of the rules of carrying out such analyses as well as the sample results of the computer simulation.

1. WPROWADZENIE

Żyła powrotna lub inaczej ekran metaliczny (metallic screen, Schirm) jest elementem stosowanym w kablach elektroenergetycznych o izolacji z polietylenu usieciowanego i z polwinitu, przeznaczonym do przewodzenia prądu zakłóceniowego. Żyła powrotna (ekran metaliczny) jest zwykle nałożona współosiowo na izolację każdej żyły (w kablach jednożyłowych) lub na ośrodek kabla, tj. na powłokę wypełniającą lub izolację rdzeniową (w kablach trójżyłowych). Żyły powrotne poszczególnych kabli jednofazowych są ze sobą połączone na obu końcach linii kablowej i przynajmniej na jednym końcu uziemione. W kablach nowego typu o symbolu AHXAMK-W stosuje się, oprócz cienkich ekranów aluminiowych (na izolacji) o grubości 0,2 lub 0,3 mm, również centralny goły przewód miedziany uziemiająco-powrotny o przekroju 35 lub 70 mm^2 [4].

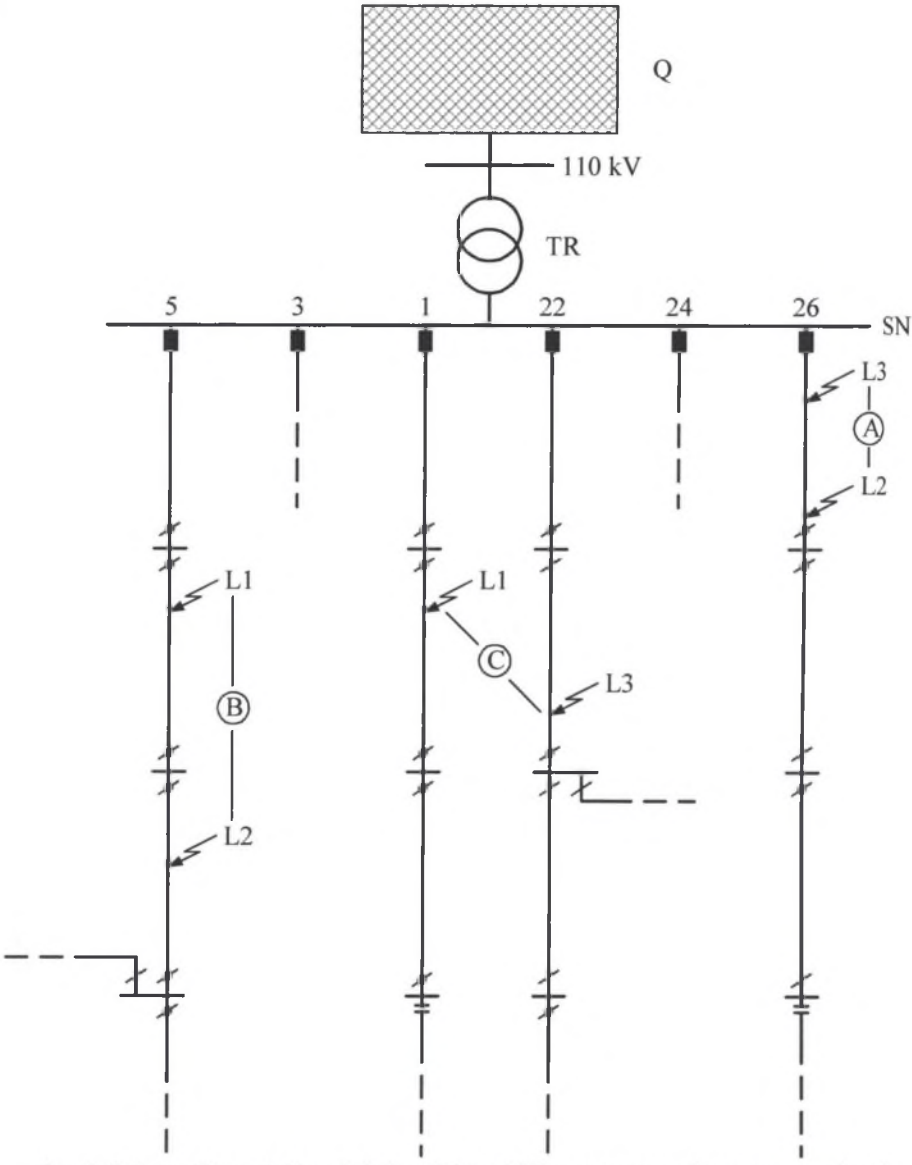
Przepływ prądu zakłóceniowego przez żyły powrotne lub elementy równoważne występuje zasadniczo w dwóch sytuacjach:

- wystąpienie pojedynczego zwarcia doziemnego na danym odpływie, w sieci o dowolnym sposobie pracy (połączenia z ziemią) punktu neutralnego,
- wystąpienie podwójnego zwarcia doziemnego w danej sieci galwanicznie połączonej, przy czym oba doziemienia mogą być położone na danym odpływie lub na dwóch różnych odpływach z rozdzielni SN (rys. 1).

Inne, bardziej złożone sytuacje, są bądź to mało prawdopodobne, bądź nie powodują większego obciążenia prądowego żył powrotnych. Przykładowo w kablach trójżyłowych o izolacji polwinitowej 3,6/6 kV istnieje realne prawdopodobieństwo, że doziemienie jednej żyły w kablu spowoduje uszkodzenie izolacji żył sąsiednich, a więc przekształcenie się zwarcia jednofazowego w wielofazowe, przy którym żyła powrotna nie będzie praktycznie obciążona prądem zwarciowym. Podobna sytuacja występuje także w przypadku kabli tradycyjnych o izolacji papierowej, w których m.in. rolę żyły powrotnej spełnia powłoka ołowiana (kable trójżyłowe AKnFtA 3,6/6 kV, HAKnFtA 12/20 kV itp.).

Zwarcia podwójne w sieciach SN pojawiają się na ogół wskutek niekorzystnych przebiegów ziemnozwarciowych prądowych i napięciowych towarzyszących utrzymującym się zwarciom pojedynczym. Częstość i prawdopodobieństwo ich występowania zależą m.in. od czasu trwania zwarcia pojedynczego i rozległości sieci. Ma na to istotny wpływ stosowany sposób pracy punktu neutralnego sieci SN. Najczęściej zwarcia podwójne pojawiają się w sieciach z izolowanym punktem neutralnym oraz kompensowanych, rzadziej w sieciach z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor. W literaturze spotyka się różne oceny ilościowe tego zjawiska. Niektórzy autorzy szacują, że od kilkunastu do ok. 25% pojedynczych zwarć z ziemią przekształca się w zwarcia podwójne. Z analizy [2] dotyczącej awaryjności linii kablowych w kilku aglomeracjach w latach osiemdziesiątych wynika, że udział zwarć podwójnych w stosunku do wszystkich zakłóceń spowodowanych uszkodzeniami kabli sięgał 15% (wartość średnia 5%), a największa możliwa częstość występowania tych zwarć w liniach kablowych z izolacją z tworzyw termoplastycznych wynosiła nie więcej niż 10 na 100 km linii i rok.

Dwupunktowe zwarcia doziemne mogą występować w różnych konfiguracjach w galwanicznie połączonej sieci. Wszystkie trzy możliwe przypadki przedstawiono schematycznie na rys. 1. W przypadku A oba doziemienia (faz L2 i L3) wystąpiły na tym samym odcinku linii kablowej. Ponieważ jest to pierwszy odcinek ciągu kablowego, prąd zakłóceniowy pojawi się w żyłach powrotnych tylko tego odcinka (część prądu wraca do źródła również przez ziemię). W przypadku B prądy zakłóceniowe pojawiają się w żyłach powrotnych (lub powłokach ołowianych) trzech odcinków kablowych, przy czym w pierwszym odcinku są to prądy wyindukowane przez prąd zwarcia płynący w żyłach roboczych (fazy L1 i L2). W przypadku A i B pobudzają się zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych (nadprądowe zwłoczne i ewentualnie nadprądowe bezzwłoczne). Zabezpieczenia ziemnozwarciowe niezależnie od ich rodzaju nie otrzymują prawidłowych sygnałów napięciowych i prądowych nawet w przypadku najprostszych zabezpieczeń nadprądowych. W przypadku C na drodze przepływu prądu zwarcia występuje prawdopodobnie największa impedancja dodatkowa, pochodząca od czterech odcinków kablowych. Przerwanie zwarcia następuje przez jeden z układów wyłączających, przy czym nie w każdym przypadku następuje pobudzenie zabezpieczeń od zwarć międzyfazowych w obu polach (z reguły są to bowiem zabezpieczenia dwufazowe). Możliwe jest także prawidłowe pobudzenie się niektórych zabezpieczeń ziemnozwarciowych, np. zerowoprądowych zasilanych z układu Holmgreena.



Rys. 1. Schemat ideowy kablowej sieci rozdzielczej SN z zaznaczonymi trzema przypadkami podwójnych zwarć doziemnych (A, B i C)
Fig. 1. The three points (A, B and C) of double earth faults in the medium voltage distribution cable network

2. PODSTAWOWE DANE ELEKTRYCZNE I MASA WYBRANYCH KABLI SN

W tablicy 1 zestawiono podstawowe dane elektryczne oraz masę trzech rodzajów kabli 12/20 kV o izolacji z polietylenu usieciowanego, o często stosowanym przekroju żył roboczych 120 mm^2. Dane te zaczerpnięto z kart katalogowych producentów kabli: polskich, niemieckich i fińskich. Kable produkcji polskiej i niemieckiej różnią się jedynie przekrojem żyły powrotnej Cu, natomiast kabel typu 5F produkcji Pirelli – Finlandia posiada ekrany aluminiowe na izolacji żył oraz dodatkowo centralny goły przewód powrotno–uziemiający

wykonany z Cu. Obciążalność prądowa długotrwała wszystkich trzech rodzajów kabli z uwagi na niewielkie różnice konstrukcyjne (oprócz żył powrotnych, co nie ma jednak istotnego wpływu na obciążalność) jest praktycznie taka sama.

W kablach produkcji polskiej o przekroju żył roboczych 120 mm^2 ciężar użytej miedzi jest większy od ciężaru użytego aluminium (!). W kablach typu 5C i 5F ciężar użytej miedzi jest 3÷4 razy mniejszy. W kablach o przekroju żył roboczych 240 mm^2 dane te nie są aż tak szokujące, niemniej jednak ciężar użytej miedzi w kablach produkcji polskiej jest ponad 2 razy większy niż w kablach typu 5C i 5F. Należy podkreślić, że na rynkach światowych cena 1 tony miedzi kształtuje się znacznie powyżej ceny 1 tony aluminium.

Kable typu 5C i 5F wykonane są zgodnie z normą europejską opracowaną przez CENELEC w 1996 r. W Polsce norma ta została wprowadzona drogą uznania (bez tłumaczenia) jako norma PN-HD 620 S1:2002 (U) [4] i obejmuje m.in. ponad 20 różnych rodzajów kabli o izolacji XLPE (polietylen usieciowany). Jednocześnie wycofane zostały wszystkie poprzednie normy kablowe, w tym normy PN-E-90410:1994 i PN-E-90411:1994, według których wykonywane są m.in. kable XRUHAKXS 12/20 kV.

Przekrój i obciążalność zwarciowa żył powrotnych, przewodu centralnego lub ekranów aluminiowych w kablach typu 5C i 5F są znacznie mniejsze niż w kablach produkcji polskiej (tab. 1). Powszechnie stosowany w Polsce przekrój żył powrotnych 50 mm^2 Cu wynika z przyjęcia ekstremalnych warunków zwarciowych dla sieci 15 i 20 kV: standardowy poziom zwarciowy podstawowy 10 kA oraz obliczeniowy czas trwania zwarcia T_k = 1,2 s. Warunki takie zawierają bardzo duży margines bezpieczeństwa, ponieważ m.in.:

- nie uwzględnia się wpływu impedancji kabli na prąd podwójnego zwarcia doziemnego,
- nie uwzględnia się podziału prądu w miejscu doziemienia na dwie części (rys.2),
- zwykle czas trwania zwarcia jest znacznie krótszy.

3. ALGORYTM OBLICZEŃ PRĄDÓW PODWÓJNYCH ZWARĆ DOZIEMNYCH

Do obliczeń oczekiwanych obciążeń prądowych żył powrotnych kabli podczas podwójnych zwarć doziemnych w sieciach SN przyjęto model uproszczony (rys. 1), stanowiący jednostronnie zasilany układ promieniowo–rozgałęziony. Źródło zasilania, którym jest transformator 110 kV/SN, zostało scharakteryzowane przez moc zwarciową i przez stosunek rezystancji zastępczej do reaktancji zastępczej. W sieci można modelować w dowolnej konfiguracji kable jedno– i trójżyłowe, z dowolną izolacją (polietylen usieciowany, papier kablowy, polwinit), na różne napięcia znamionowe oraz o dowolnym przekroju żył powrotnych, ekranów metalicznych i centralnego przewodu powrotno–uziemiającego (w kablach typu 5F-3). Założono, że żyły powrotne, ekrany i powłoki metaliczne wszystkich kabli są obustronnie uziemione.

Tablica 1

Podstawowe dane elektryczne oraz masa trzech rodzajów kabli w izolacji z polietylenu usieciowanego na napięcie znamionowe 12/20 kV, o przekroju żył roboczych 120 mm^2

Oznaczenie kabla	Obciążalność prądowa długotrwała (1)	Dopuszczalny prąd jednosekundowy	Prąd ziemnozwarciowy	Współczynnik redukcyjny	Masa kabla (3 fazy)
	A	kA	A/km	-	kg/km
XRUHAKXS 12/20 kV 1x120/50 mm^2	285	9,8 (2)	2,5	0,21	4005 (w tym Cu – 1335 oraz Al – 970)
NA2XSY 1x120/16 mm^2 12/20 kV (typ 5C-2)	287	3,3 (2)	2,5	0,54	3450 (w tym Cu – 425 oraz Al – 970)
AHXAMK-W 3x120 Al + 35 Cu 12/ 20 kV (typ 5F-3)	~ 300	5,0 (3) 2,6 (4)	2,4	0,59 (5)	3450 (w tym Cu – 305 oraz Al – 1100)

(1) Obciążalność kabli w układzie trójkątnym (kable stykające się ze sobą) ułożonych w ziemi dla następujących warunków:
- temperatura żył roboczych 90 °C,
- temperatura ziemi 20 °C,
- rezystywność cieplna ziemi 1,0 K·m/W i 2,5 K·m/W (w obszarze wysuszenia)

(2) Żyła powrotna dla temperatury końcowej 350 °C (temperatura początkowa ok. 60 °C)
(3) Przewód centralny goły dla temperatury początkowej 55 °C i temperatury końcowej 200 °C
(4) Ekran aluminiowy dla temperatury początkowej 85 °C i temperatury końcowej 250 °C
(5) Pominięto wpływ ekranów aluminiowych na izolacji żył

Wzajemne położenie obu zwarć doziemnych w sieci otwartej SN (rys. 1) wpływa na impedancję toru przepływu prądu zwarciowego I_{z2} oraz na rozpływ prądu zakłóceniowego w żyłach powrotnych (lub w powłokach ołowianych) poszczególnych kabli. Wypadkowa impedancja toru przepływu prądu zwarciowego I_{z2} jest sumą impedancji zgodnej i przeciwnej źródła oraz impedancji kabli znajdujących się na drodze przepływu prądu zwarciowego. Prąd podwójnego zwarcia doziemnego można obliczyć, stosując metodę składowych symetrycznych, ze wzoru:

$$I_{z2} = \frac{1{,}1 U_n}{|2Z_{1s} + \Sigma \Delta Z|}, \tag{1}$$

w którym:

U_n - napięcie znamionowe sieci, w kV,

Z_{1s} - impedancja zgodna (równa impedancji przeciwnej) źródła zasilania, którym jest transformator 110 kV/SN, w Ω,

$\Sigma \Delta Z$ - impedancja dodatkowa, równa sumie impedancji wszystkich kabli znajdujących się na drodze przepływu prądu I_{z2}, w Ω .

Po podstawieniu do wzoru (1) impedancji dodatkowej $\Sigma \Delta Z = 0$ otrzymuje się maksymalną możliwą wartość prądu podwójnego zwarcia doziemnego, która jest równa wartości prądu początkowego zwarcia dwufazowego na szynach rozdzielni SN:

$$I''_{k2} = \frac{1{,}1 U_n}{|2Z_{1s}|} = \frac{\sqrt{3}}{2} I''_{k3} = 0{,}866\, I''_{k3}, \tag{2}$$

gdzie I''_{k3} jest prądem zwarcia trójfazowego na szynach rozdzielni SN.

Na rysunku 2 zestawiono wzory na impedancję ΔZ kabli jednożyłowych (analogiczne wzory dla kabli trójżyłowych i dla kabli typu 5F podano w opracowaniu [3]) przy podwójnych zwarciach doziemnych oraz wzory określające rozpływ prądu zakłóceniowego w żyłach powrotnych kabli. Wzory powyższe zostały wyprowadzone przy zastosowaniu metody obwodów ziemnopowrotnych. Poszczególne symbole użyte we wzorach oznaczają:

Z_1 - impedancja zgodna linii kablowej,

Z_r - impedancja własna żyły roboczej,

Z_p - impedancja własna żyły powrotnej,

R_p - rezystancja żyły powrotnej,

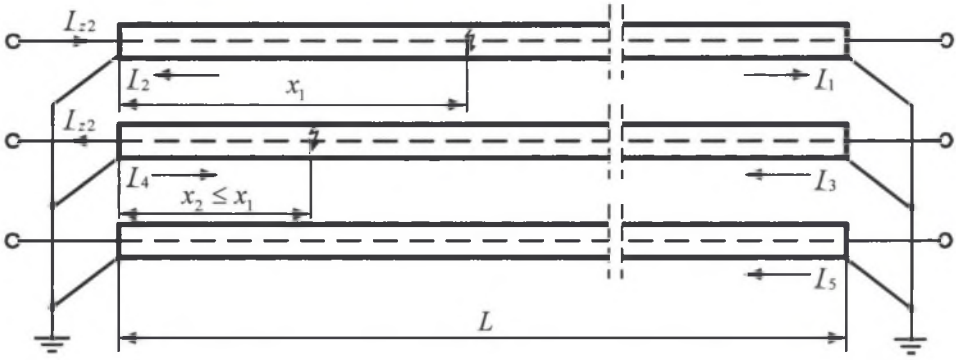
Z_m - impedancja wzajemna żył roboczych, równa w przypadku kabli jednożyłowych impedancji wzajemnej żył powrotnych oraz impedancji wzajemnej żyły roboczej i żyły powrotnej różnych kabli fazowych,

Z_{rp} - impedancja wzajemna żyły roboczej i żyły powrotnej danego kabla fazowego lub trójfazowego (w przypadku kabli trójżyłowych i jednożyłowych impedancja ta jest równa impedancji Z_p),

a_o, a_1 - impedancja jednostkowa (w Ω/km) określająca wartość impedancji ΔZ toru przepływu prądu I_{z2} w danym kablu,

b_o, b_1 - współczynniki rozpływu prądu zakłóceniowego w żyłach powrotnych i powłokach ołowianych kabli,

I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 - prądy płynące w poszczególnych odcinkach żył powrotnych i powłok ołowianych kabli (jeden z tych prądów jest największy; na rys. 3 oznaczono go jako I_{max}, tj. maksymalny prąd w żyle powrotnej lub powłoce ołowianej).



$$\Delta Z = a_0(x_1 + x_2) + a_1 \frac{x_1^2}{L} + (2Z_1 - 2a_0 - a_1)\frac{x_1 x_2}{L}$$

$$Z_1 = Z_r - Z_m - \frac{(Z_{rp} - Z_m)^2}{Z_p - Z_m}$$

$$a_0 = Z_r - Z_{rp} + R_p; \qquad a_1 = \frac{-R_p^2}{Z_p - \dfrac{2Z_m^2}{Z_p + Z_m}}$$

$$I_1 = I_{z2}\left[b_1 \frac{x_1}{L} + (b_0 - b_1)\frac{x_2}{L}\right]; \qquad I_2 = I_{z2} - I_1$$

$$I_3 = I_{z2}\left[b_1 \frac{x_2}{L} + (b_0 - b_1)\frac{x_1}{L}\right]; \qquad I_4 = I_{z2} - I_3$$

$$I_5 = I_{z2}(b_0 - b_1)\frac{x_1 - x_2}{L}$$

$$b_0 = \frac{R_p}{Z_p - Z_m}; \qquad b_1 = \frac{R_p}{Z_p - \dfrac{2Z_m^2}{Z_p + Z_m}}.$$

Rys. 2. Zestawienie wzorów do obliczania impedancji kabli 1-żyłowych oraz rozpływu prądu w żyłach powrotnych przy podwójnych zwarciach doziemnych
Fig. 2. Formulas for calculating the single-core cable impedance as well as the short circuit current flow in the metalic screen during double earth faults

4. WYNIKI SYMULACJI

Podczas wykonanych symulacji komputerowych podwójnych zwarć doziemnych dla każdego przypadku sprawdzany był warunek:

$$I_{th}\sqrt{T_k} = I_{\max}\sqrt{(m+n)T_k} \le I_{thr}\,, \tag{3}$$

w którym:

I_{th} - zastępczy cieplny prąd zwarciowy T_k-sekundowy w żyle powrotnej kabla,

$I_{\max}$ - maksymalny prąd zwarcia na jednym z odcinków żył powrotnych danego kabla,

m, n - współczynniki wyrażające wpływ składowej nieokresowej i okresowej prądu zwarcia na wartość prądu I_{th},

I_{thr} - dopuszczalny prąd jednosekundowy.

Warunek (3) był sprawdzany dla wszystkich kabli w sieci podczas danego podwójnego zwarcia doziemnego. Brak spełnienia warunku był rejestrowany jako tzw. przekroczenie obciążalności zwarciowej, przy czym są to sytuacje niezwykle rzadkie, spowodowane wyjątkowo niekorzystnym (ekstremalnym) i jednocześnie mało prawdopodobnym położeniem obu zwarć doziemnych w sieci. Okres powtarzalności takich zdarzeń (wyrażony w latach) powinien być dostatecznie długi, dłuższy od przeciętnego okresu eksploatacji linii kablowej.

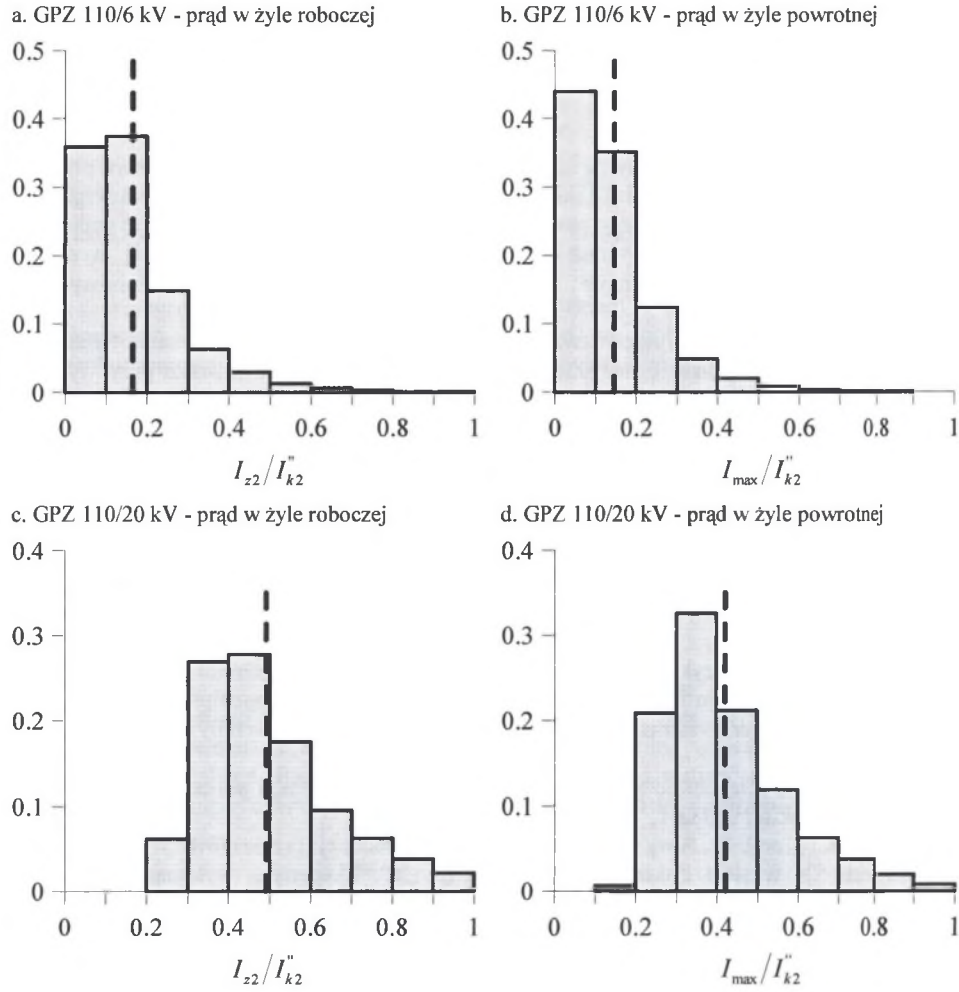
Na rysunku 3 przedstawiono dwa przykładowe histogramy prądów zwarcia w żyłach roboczych i w żyłach powrotnych kabli pracujących w dwóch sieciach miejskich 6 i 20 kV. Analizy takie zostały wykonane dla kilku rzeczywistych sieci zawierających ponad 300 odcinków kablowych, przy czym w każdym przypadku rozpatrywano trzy poziomy zwarciowe, odpowiadające różnym transformatorom zasilającym 110 kV/SN. Obliczenia wykonano pod kątem możliwości zastosowania w przyszłości w tych sieciach kabli typu 5C i 5F [3].

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wpływ czynników powodujących redukcję prądów w żyłach powrotnych kabli (rys. 3) rośnie przy zwiększaniu mocy transformatora zasilającego sieć SN. Bardzo istotne znaczenie ma także napięcie znamionowe sieci SN, ponieważ w sieciach 6 kV reaktancja transformatora zasilającego, po przeliczeniu na stronę 6 kV, jest bardzo mała. Prądy zwarcia na szynach rozdzielni 6 kV są więc z reguły bardzo duże, lecz szybko zmniejszają się w miarę oddalania się miejsca zwarcia od szyn tej rozdzielni. Należy tutaj zwrócić uwagę, że reaktancja kabli 6 kV jest niewiele mniejsza od reaktancji kabli wyższego napięcia, np. 20 kV.

Przeprowadzone symulacje pozwoliły na wyznaczenie wartości prądu cieplnego dla podwójnych zwarć doziemnych w sieciach 20 kV i 6 kV o dostatecznie długim okresie powrotu (powtarzalności), wynoszącym co najmniej $50 \div 100$ lat. Tak długi okres powrotu gwarantuje, że określone wartości prądu zwarcia praktycznie nie wystąpią w całym okresie eksploatacji danego odcinka kablowego. Przekrój żył powrotnych kabli SN powinien spełniać warunek:

$$s_p \ge \left(I_{\max}\sqrt{(m+n)T_k}\right)_T / S_{thr}\,, \tag{4}$$

w którym S_{thr} jest dopuszczalną gęstością jednosekundową dla danego typu kabla. Wyrażenie w nawiasie z indeksem T oznacza prąd obliczeniowy jednosekundowy o okresie powrotu (powtarzalności) $T \ge 50 \div 100$ lat w miejscu zainstalowania kabla. W wyniku przeprowadzonych symulacji zostały ustalone zasady obliczania wartości tego prądu dla typowych sieci miejskich 6 i 20 kV [3].



Rys.3. Histogramy prądu w żyle roboczej (prądu zwarcia przy podwójnym doziemieniu) oraz maksymalnego prądu w żyłach powrotnych kabli sieci SN dla mocy zwarciowej 200 MVA (6 kV) i 330 MVA (20 kV)
Fig.3. Histograms of short circuit current (short circuit current during double earth fault) and maximum current in metallic screen of medium voltage cables for 200 MVA (6 kV) and 330 MVA (20 kV) short circuit power

Należy podkreślić, że sprawdzenie przekroju żył powrotnych kabli SN wg wzoru (4) zawiera szereg dodatkowych współczynników bezpieczeństwa, wynikających m.in. z tego że:

- temperatura dopuszczalna przy zwarciu ustalona jest z pewnym marginesem bezpieczeństwa (czasem znacznym),
- w obliczeniach prądu zwarcia przyjmuje się nieskończenie dużą moc zwarciową po stronie 110 kV (stwarza to rezerwę rzędu 10 %),
- zakłada się metaliczne zwarcie doziemne w obu miejscach doziemienia, pomija się rezystancję połączeń, uziemień itp. (rezerwa rzędu 5...10 %),
- pomija się na ogół możliwość szybszego wyłączenia zwarcia przez zabezpieczenia zwarciowe (tzw. „odsieczkę") lub zabezpieczenia ziemnozwarciowe.

Podane okoliczności sprawiają, że można praktycznie wykluczyć wystąpienie prądów cieplnych zwarciowych przekraczających wartości obliczeniowe.

5. PODSUMOWANIE

Wykonane analizy pozwoliły na sformułowanie racjonalnych kryteriów doboru przekroju żył powrotnych kabli SN w sieciach miejskich w zależności od napięcia znamionowego sieci, sposobu pracy punktu neutralnego sieci oraz czasu działania zabezpieczeń zwarciowych. Określony został zakres zastosowania kabli różnego typu, ujętych w normie [4], w sieciach miejskich 6 i 20 kV, zasilanych z transformatorów o mocach znamionowych do 40/25/25 MVA [3].

Dzięki zastosowaniu przedstawionych zasad możliwe jest uzyskanie znacznych oszczędności na modernizację miejskich sieci kablowych, w tym zwłaszcza przy wymianie awaryjnych kabli z izolacją PE (polietylen nieusieciowany). Ustalono także zasady doboru żył powrotnych kabli o izolacji 12/20 kV, które początkowo będą pracować w sieciach o napięciu znamionowym 6 kV (z reguły prądy zwarcia trójfazowego w tych sieciach są większe niż w sieciach 20 kV). Szczegółowe wytyczne doboru przekroju żył powrotnych kabli SN przedstawiono w opracowaniu [3].

LITERATURA

1. Bartodziej G., Popczyk J., Żmuda K.: Verification of the short–circuit withstand of wires of 6–20 kV cables in industrial networks. IV International Symposium on Short–Circuit Currents in Power Systems, Universite de Liege, Technical University of Lodz, Liege, 6–8.10.1990.
2. Długosz B.: Obciążalność zwarciowa cieplna kabli SN o izolacji polietylenowej. Biuletyn Elektroprojektu 1986 nr 1.
3. Żmuda K., Korab R., Siwy E.: Analiza możliwości redukcji przekrojów żył powrotnych w kablach SN w sieci Zakładu Energetycznego „X". Ekspertyza wykonana na zlecenie Zakładu Energetycznego „X", Gliwice 2004 (niepublikowane).
4. PN–HD 620 S1: 2002(U). Kable energetyczne o izolacji wytłaczanej na napięcie znamionowe od 3,6/6(7,2) kV do 20,8/36 (42) kV.

Wpłynęło do Redakcji dnia 14 kwietnia 2004 r. Recenzent: Prof. dr hab. inż. Gerhard Bartodziej