

Narażenia osłon/powłok kabli 110 kV od przepięć w układach ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych na wprowadzeniu do stacji o dużej mocy zwarciowej – układ SPB

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę napięć indukowanych w żyłach powrotnych kabli 110 kV, przykładowego systemu kablowego w układzie uziemienia jednostronnego żył powrotnych, zrealizowanego jako skablowanie linii napowietrznej na podejściu do stacji elektroenergetycznej, gdzie poziom prądu zwarciowego na szynach stacji wynosi 40 kA wraz z procedurą konfiguracji modelu w oprogramowaniu ATP-EMTP. Analizę zjawisk dynamicznych w aspekcie pracy ograniczników przepięć wykonano w odniesieniu do przepięć dorywczych.

Abstract. This paper presents an overvoltage analysis of a sample high voltage single point bonded cable system, including ATP-EMTP model preparation, which is a mixed overhead-cable line incoming to a substation with short circuit current value of 40 kA. Overvoltage analysis is presented for induced voltages as a result of a fault in the system and its effect on sheath voltage limiter operation. (110 kV cable sheaths overvoltage exposure in specially bonded systems incoming to a substation with high short-circuit power – Single Point Bonded system).

Słowa kluczowe: uziemienie jednostronne, napięcia indukowane, wzrost lokalnego potencjału ziemi, ograniczniki przepięć do ochrony żył powrotnych, modelowanie w ATP-EMTP.

Keywords: single point bonding, induced voltages, earth potential rise, sheath voltage limiter, ATP-EMTP modelling.

Wstęp

Analizując dotychczasowe trendy budowy i modernizacji stacji operatora systemu przesyłowego w Polsce spotykamy się z wymogiem wprowadzenia linii 110 kV jako kablowych. Poziom mocy zwarciowej na tych obiektach często przekracza 7 GVA, a wartość prądu zwarciowego, na który należy dobrać parametry urządzeń sięga 40 kA na szynach rozdzielni 110 kV. Odcinki linii wprowadzanych na podejściu do stacji nie przekraczają 1 km długości, a wykonane są zazwyczaj z zastosowaniem specjalnego uziemienia żył powrotnych w celu optymalizacji doboru przekroju żyły roboczej. Najczęściej ze względów ekonomicznych wybierany jest układ uziemienia jednostronnego tzw. SPB (Single Point Bonding).

Aktualnie nie ma standardu, zarówno w Polsce jak i na świecie, który kompleksowo przedstawiałby wytyczne projektowania i budowy linii kablowych przy zastosowaniu specjalnego uziemienia żył powrotnych, przede wszystkim w aspekcie koordynacji izolacji. Obecnie w powszechnym użyciu funkcjonują jedynie pewne wytyczne i wskazówki dla inżynierów i projektantów, na bazie których projektuje się i buduje współczesne systemy kablowe. Oparte są one jednak na badaniach i doświadczeniach eksploatacyjnych systemów kablowych zainstalowanych w sieciach, gdzie poziom prądu zwarciowego nie przekraczał 25 kA. Z tego względu brak jest ugruntowanej wiedzy z zakresu zjawisk występujących w systemach kablowych ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych pracujących w sieci o dużej mocy zwarciowej – przede wszystkim w zakresie pracy ograniczników przepięć, które należy instalować na „odziemionym” końcu żyły powrotnej kabla w układzie SPB, w celu zapewnienia ochrony powłoki/osłony kabla od przepięć natury atmosferycznej oraz łączeniowej. Wszelkie wytyczne w aspekcie doboru parametrów ograniczników przepięć sprowadzają się do określenia maksymalnej wartości napięcia, które może zaindukować się na nieuziemionym końcu żyły powrotnej kabla w różnych warunkach pracy systemu, czyli wyznaczenia wartości przepięć dorywczych, których ograniczniki nie są w stanie zredukować. W dalszych krokach należy sprawdzić warunek ochrony przy przepięciach łączeniowych i atmosferycznych, czyli o charakterze udarowym. Z tego względu kluczowym jest wyznaczenie napięcia indukowanego w żyłach powrotnych w przypadku przepływu

prądu zakłóceniewego (prądu zwarcia jednofazowego, stanowiącego najgorszy przypadek zakłócenia dla układu SPB) płynącego w żyłach roboczej kabla, które powinno być mniejsze niż napięcie trwałej pracy ogranicznika (w układzie uziemienia lokalna-ekran). W celu zmniejszenia napięcia indukowanego w warunkach zakłóceń należy instalować równolegle do linii kablowej i możliwie jak najbliżej kabli 110 kV tzw. kabel ECC (Earth Continuity Conductor) oznaczany również jako NC (Neutral Conductor) lub PGCC (Parallel Ground Continuity Conductor). Dzięki indukcyjności wzajemnej oddziaływania od prądu płynącego w żyłach roboczych oraz prądu płynącego w kablu ECC napięcia indukowane wzajemnie znoszą się i pozostałe napięcie na ograniczniku jest znacznie mniejsze niż w przypadku systemu bez kabla ECC.

Obecnie notuje się wzrost awarii systemów kablowych, w których zastosowano specjalny system uziemienia żył powrotnych, spowodowanych w głównej mierze przez uszkodzenia ograniczników przepięć. Awarie te mają różne źródła i w większości dotyczą doziemień w wyniku zalania lub zawilgocenia skrzynek uziemiających i CB (Cross-Bondingowych), jednakże niektóre z nich dotyczą uszkodzenia ograniczników przepięć w wyniku przeciążenia. Zauważono również bardzo niebezpieczne przypadki wybuchów skrzynek z ogranicznikami przepięć w układach SPB, które miały miejsce w systemach o prądzie zwarciowym przekraczającym poziom 25 kA, ale nie znaleziono jednoznacznej przyczyny tych zjawisk. Niektóre spółki dystrybucyjne wprowadziły w swoich standardach konieczność zastosowania skrzynek do montażu ograniczników w wykonaniu przeciwybuchowym, aby nie dopuścić do narażenia na zagrożenie osób postronnych. Jedno z takich gwałtownych zdarzeń przestudiowano w artykule [1], w którym zwrócono uwagę na konieczność analizy zjawisk polegających na tzw. wzroście potencjału ziemi i jego wpływu na pracę ograniczników przepięć.

Wynik obliczeń poszczególnych stanów pracy systemu kablowego wykonanych według dostępnych metod analitycznych jest formułowany w odniesieniu do czasu ciągłego bez możliwości analizy zjawisk przejściowych, z tego względu aby badać zjawiska dynamiczne w zakresie oddziaływań elektromagnetycznych należy włączyć do tego celu techniki komputerowe. Na świecie dostępnych jest kilka wersji programów typu EMTP (ElectroMagnetic

Transient Program), jednakże najpowszechniejszym w środowiskach naukowych jest pakiet programowy ATP-EMTP z interfejsem graficznym ATPDraw™, ze względu na jego dostępność, konfigurowalność i mnogość pozycji literaturowych opisujących jego działanie i użytkowanie.

W artykule przedstawiono wyniki analiz określających wartości indukowanych napięć na ogranicznikach przyłączonych do „odziemionych” końców ekranów kabli WN 110 kV w odniesieniu do różnych wartości rezystancji uziemienia słupa kablowego, przy założeniu bardzo małej rezystancji uziemienia stacji elektroenergetycznej, jaką charakteryzują się stacje PSE, do której linia kablowa została wprowadzona. Sprawdzono również wpływ rezystancji uziemienia na wartość energii pochłanianej przez ograniczniki przepięć jak również wzrost jego temperatury, w przypadku zaindukowania się napięcia wyższego niż jego wartość znamionowa.

Budowa układu w ATP-EMTP

Zamodelowano linię kablową złożoną z kabli XRUHKXS 1x800RMC/210 64/110(123) kV oraz przewodu LgYcyw 1x240 (kabel ECC), jako skablowanie linii napowietrznej na podejściu do stacji 110/400 kV o poziomie prądu zwarciovego na szynach rozdzielni 110 kV wynoszącego 40 kA, przy założeniu maksymalnego czasu eliminacji zwarcia wynoszącego 0,6 s. Długość linii kablowej wynosi 500 m, kable ułożono w układzie trójkątnym na styk na głębokości 1,2 m. Natomiast długość linii napowietrznej wprowadzonej do stacji ościennej wynosi 25 km.

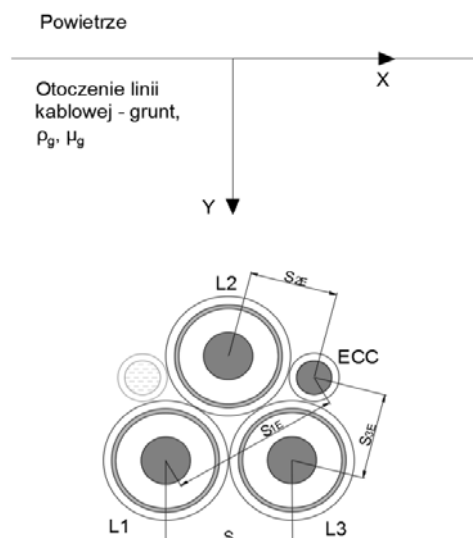
ATP-EMTP, podobnie jak pozostałe systemy EMTP, ma pewne ograniczenia w możliwościach obliczenia parametrów elektrycznych linii kablowej na podstawie konfiguracji geometrycznej oraz wiernego oddania budowy kabla (stałych fizycznych użytych materiałów). Z tego względu wymagane jest przekształcenie rzeczywistych parametrów układu na takie, które należy wprowadzić do oprogramowania aby uzyskać prawidłowe wartości parametrów elektrycznych. Do tego służy procedura „Cable Constants” (CC), która wymaga od użytkownika decyzji, w jaki sposób uwzględnić w niniejszym modelu parametry budowy żyły roboczej, poszczególnie warstwy półprzewodzącej oraz reprezentację ekranu metalicznego/żyły powrotnej.



Rys. 1. Model kabla według procedury CC (Cable Constants)

Tabela 1. Parametry kabli po przekształceniach

Lp.	Parametry kabla	XRUHKXS 1x800RMC/210 64/110(123) kV	LgYcyw 1x240
1	r1	17,30 mm	12,45 mm
2	r2	35,20 mm	17,55 mm
3	r3	37,39 mm	-
4	r4	43,85 mm	-
5	ρc'	2,0779*10 ⁻⁸ Ωm	3,9005*10 ⁻⁸ Ωm
6	ρs'	3,8647*10 ⁻⁸ Ωm	-
7	εr1	2,965	4
8	εr2	2,400	-
9	ρg	100 Ωm	100 Ωm



Rys. 2. Ułożenie linii kablowej według procedury CC, kabel ECC w połowie trasy linii przełożono na przeciwną stronę linii kablowej w celu zminimalizowania strat od prądów indukowanych

Linie kablową w edytorze graficznym ATPDraw™ zamodelowano w bloku LCC jako model z rozłożonymi parametrami typu PI – obliczonymi dla częstotliwości sieciowej (50 Hz), zgodnie z rekomendacją znajdującą się w [2], aby otrzymać możliwie najwierniejsze odwzorowanie wartości napięć indukowanych.

Ogranicznik przepięć zamodelowano jako rezystor o nieliniowej rezystancji, z pominięciem członu zależnego od częstotliwości.

Norma [3] nie definiuje w jednoznaczny sposób zdolności pochłaniania energii przez ograniczniki przepięć w odniesieniu do stabilności termicznej. Zgodnie z informacjami zawartymi w [4], maksymalna temperatura, jaką może osiągnąć ogranicznik mieści się w granicach 190-220°C. W celu wyznaczenia temperatury ogranicznika pomierzono wartość prądu o składowej czynnej, który bezpośrednio odpowiedzialny jest za straty energii w ograniczniku przepięć i wzrost temperatury warystorów (zgodnie z [5, 6]).

Z powodu bardzo dużej nieliniowości charakterystyki V-I ogranicznika, wartość skuteczna napięcia przyłożonego do jego zacisków nie odgrywa znaczącego wpływu na warunki pracy, na jakie jest narażony. Jedynie wartość chwilowa może być brana pod uwagę w przypadku wyznaczenia energii jaką ogranicznik może pochłonąć w celu wyznaczenia punktu stabilności termicznej.

Energię E traconą w ograniczniku przepięć obliczono na podstawie zależności:

$$(1) \quad E = \int_0^t u(t) \cdot i(t) dt,$$

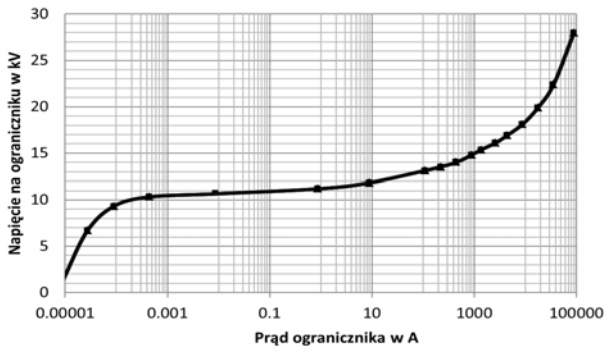
gdzie u(t) jest wartością napięcia obniżonego na zaciskach ogranicznika przepięć w chwili przepływu prądu i(t).

Wzrost temperatury ΔT w °C ogranicznika wyznaczono przy założeniu ciepła właściwego warystora wynoszącego c_w = 0.55 J/g°C, według zależności:

$$(2) \quad \Delta T = \frac{E}{m \cdot c_w},$$

gdzie: m – masa warystora w g.

Zamodelowano ogranicznik o następujących danych katalogowych: Ur = 7,0 kV, Uc = 5,6 kV, o maksymalnej wartości napięcia obniżonego przy udarze wynoszącym 19,8 kV, którego charakterystykę przedstawiono poniżej.



Rys. 3. Wykres zależności V-I ogranicznika przepięć

Linie napowietrzną zamodelowano przy wykorzystaniu procedury Line Constants (LC) w bloku LCC jako model typu PI, na podstawie wymiarów geometrycznych przęsła linii dla słupów serii S24 i stałych fizycznych użytych materiałów dla przewodów fazowych typu AFL-6 240 oraz odgromowych typu AFL-6 240 (na odcinku ok 1,5 km na podejściu do stacji) oraz AFL-1,7 70.

Dobór napięcia znamionowego ogranicznika przepięć

Dobór parametrów ogranicznika przepięć wykonano według wytycznych PSE [7], które odnoszą się do metod wyznaczenia napięcia indukowanego zawartych w artykułach [8, 9], gdzie podano zależność do wyznaczenia maksymalnej wartości napięcia trwałej pracy ogranicznika (wzór 2.3). W opracowaniu tym podano również wzór uproszczony (2.4), zakładający że cały prąd zakłóceniu wraca kablem ECC.

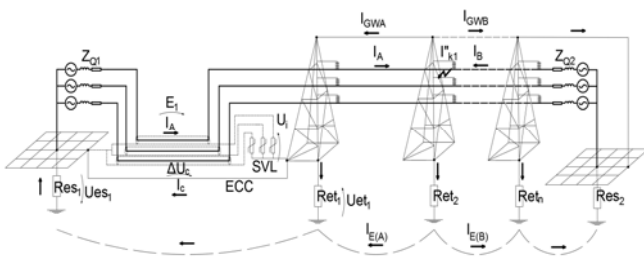
Podobną zależność na wyznaczenie napięcia na ogranicznikach przywołuje broszura CIGRE [10] w równaniu (D6), z tym, że pierwszy człon równania pozbawiony jest znaku minus, jak również wzór uproszczony (D7), który odpowiada zależności (2.4) podanej w wytycznych PSE.

Zgodnie z normą [11] wytrzymałość udarowa osłony kabla powinna być na poziomie 37,5 kV, według informacji zawartych w [4] napięcie obniżone przy znamionowym prądzie wyładowczym pomnożone przez współczynnik 1.4 powinno być mniejsze niż wytrzymałość udarowa urządzenia chronionego aby ta ochrona była skuteczna, czyli powinno wynosić maksymalnie 26 kV.

Biorąc powyższe pod uwagę dobrany ogranicznik spełnia wymagania odnośnie wartości napięcia trwałej pracy, jak również zapewnia odpowiedni poziom ochrony.

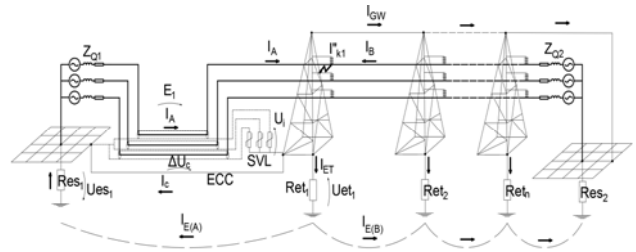
Opis badanego układu

Symulacje wykonano dla dwóch przypadków zwarć w linii napowietrznej, w celu wyznaczenia wartości największych spodziewanych prądów zwarciovych. Założono zwarcie odległe oraz, że następuje ono w momencie, gdy napięcie zwartej fazy przechodzi przez zero, czyli przy wystąpieniu prądu zwarciovego udarowego. Pierwszy przypadek (Wariant I) dotyczy zwarcia jednofazowego na słupie nr 2 linii napowietrznej, którego schemat ideowy przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat ideowy układu przy zwarcu na słupie nr 2

Drugi przypadek (Wariant II) dotyczy zwarcia jednofazowego na słupie kablowym, który zaprezentowano na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat ideowy układu przy zwarcu na słupie kablowym

Symulacje wykonano przyjmując następujące dane stałe układu: $R_{es1} = 0,34 \Omega$, $R_{es2} = 2,4 \Omega$, $R_{eti} = 10 \Omega$ (dla $i = 2, \dots, n$); dane zmienne oraz wyniki symulacji (wartości modułów poszczególnych wielkości zespolonych) umieszczono w tabeli 3 wraz z wynikami obliczeń napięć indukowanych otrzymanych według metod analitycznych.

Tabela 3. Wyniki symulacji i obliczeń napięć indukowanych

R_{eti} [Ω]	Wielkości wyznaczone podczas symulacji w ATP-EMTP					Wielkości obliczone przy pomocy wzorów uproszczonych			
	I_k'' [kA]	I_A [kA]	I_c [kA]	U_i [kV]	U_{et1} [kV]	U_i wg 2.3 [kV]	U_i wg 2.4 [kV]	U_i wg D6 [kV]	U_i wg D7 [kV]
Wariant I									
10	33,5	29,8	23,6	2,8	8,5	3,1	3,7	1,2	3,7
5	33,5	29,8	23,0	2,9	8,2	3,1	3,7	1,2	3,7
1	33,6	29,8	19,6	4,0	6,6	2,8	3,7	0,9	3,7
0,5	33,7	29,8	17,3	4,8	5,1	2,6	3,7	0,7	3,7
Wariant II									
10	37,4	33,3	28,7	2,2	10,4	3,7	4,1	1,5	4,1
5	37,4	33,6	28,2	2,4	10,2	3,7	4,1	1,5	4,1
1	37,8	33,9	24,2	3,9	8,3	3,3	4,2	1,2	4,2
0,5	38,0	33,9	21,4	5,0	6,5	3,1	4,2	1,0	4,2

Wartości napięć indukowanych wyznaczone według zależności (D6) nie korespondują z pozostałymi. Jest prawdopodobne, że zależność została błędnie wyznaczona, z tego względu nie powinna być stosowana.

Obliczenia wykonane według wzoru (2.3), który powinien być wyznaczony zgodnie z teorią obwodów ziemnopowrotnych z równania:

$$(3) \quad \underline{U}_i = \underline{E}_i - \underline{\Delta U}_c,$$

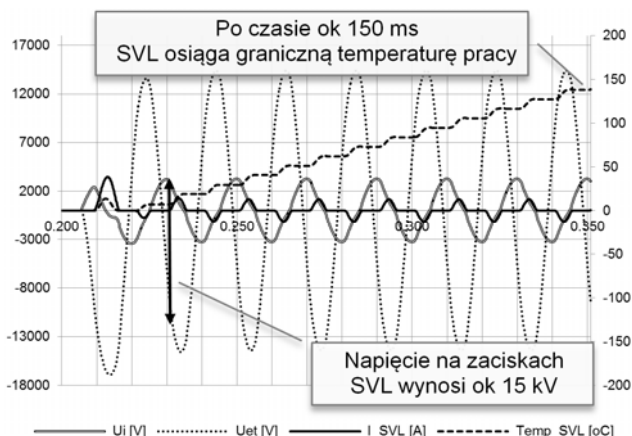
gdzie: \underline{E}_i - SEM wyindukowana na żyłę powrotnej kabla, $\underline{\Delta U}_c$ - strata napięcia na kablu ECC, SEM $\underline{\Delta U}_c$ są wprost proporcjonalne do prądu płynącego w kablu ECC, co nie powinno mieć miejsca, gdyż by świadczyło o tym, że im większy prąd płynie w kablu ECC tym wyższe napięcie może zaindukować się na ograniczniku przepięć.

Napięcia indukowane wyliczone ze wzorów (2.4) i (D7), w przypadku bardzo małej rezystancji uziemienia słupa kablowego są mniejsze od wyznaczonego w wyniku symulacji. Stwarza to zagrożenie błędnego wymiarowania urządzeń do ochrony osłon/powłok kabli w systemach kablowych zlokalizowanych w miastach o rozbudowanej infrastrukturze podziemnej, gdzie uzyskanie małych rezystancji uziemienia słupa kablowego jest bardzo prawdopodobne.

Wyznaczone w wyniku symulacji wartości napięć indukowanych, są zgodne z zależnością (3). Napięcie indukowane na ograniczniku jest odwrotnie proporcjonalne do przepływającego kablem ECC prądu. Z tego również wynika, że skuteczność ograniczenia przepięć przez kabel ECC jest zależna od wartości rezystancji uziemienia słupa

kablowego, gdyż im wyższa wartość uziemienia słupa tym napięcie indukowane na ograniczniku jest mniejsze.

Na rysunku 6 przedstawiono wybrane przebiegi wielkości charakteryzujących pracę ogranicznika przepięć (SVL – z ang. Sheath Voltage Limiter) zainstalowanego na końcu kabla fazy dotkniętej zwarciem, przyłączonego do żyły powrotnej dla wariantu II symulacji oraz wartości rezystancji uziemienia słupa kablowego wynoszącej 10 Ω.



Rys. 6. Przebiegi napięcia indukowanego w żyły powrotnej kabla oraz wartości napięcia na uziemieniu słupa kablowego, prądu płynącego w ograniczniku oraz wzrostu temperatury ogranicznika

Wynik obliczeń, otrzymany w oparciu o dostępne metody analityczne w zakresie napięć indukowanych, formułowany jest w odniesieniu do czasu ciągłego bez możliwości analizy wartości chwilowych, które mają kluczowe znaczenie w odniesieniu do pracy ogranicznika przepięć. Na rysunku 6 można zauważyć, że pomimo znacznego zredukowania przez kabel ECC wartości napięcia indukowanego w ekranie kabla, napięcie na zaciskach ogranicznika wynosi ok. 15 kV i przekracza dwukrotnie wartość napięcia trwałej pracy. Spowodowane jest to wpływem wzrostu lokalnego potencjału ziemi, jaki wynika z przepływającego przez uziemienie słupa kablowego części prądu zakłócenia. Kąt fazowy przebiegu napięcia zaindukowanego w ekranie kabla nie jest zgodny z kątem fazowym prądu zakłócenia, generującego spadek napięcia na rezystancji uziemienia słupa. Także chwilowa wartość napięcia jaka odkłada się na zaciskach ogranicznika jest praktycznie sumą chwilowych wartości amplitud obu przebiegów.

W tabeli 4 zestawiono wyniki symulacji przeprowadzonej w celu określenia wartości energii wydzielanej na ograniczniku przepięć oraz wzrostu jego temperatury w zależności od rezystancji uziemienia słupa kablowego dla obu wariantów.

Tabela 4. Energia wydzielana na ograniczniku przepięć oraz wzrost jego temperatury w zależności od rezystancji uziemienia słupa kablowego

Wariant	R_{et1} [Ω]	Energia wydzielona na ograniczniku [kJ]	Wzrost temperatury ogranicznika ΔT [°C]
I	10	20,5	66
I	5	16,8	54
I	1	1,3	4
I	0,5	0,2	1
II	10	165,5	529
II	5	164,6	527
II	1	76,2	241
II	0,5	19,6	63

Wyniki symulacji zawarte w tabeli 4 jednoznacznie wskazują, że w przypadku wystąpienia zwarcia na słupie kablowym, praktycznie w każdym przypadku dojdzie do uszkodzenia ograniczników przepięć. Energię wydzielaną w ograniczniku o wartości 165 kJ można porównać z energią jaka wydziela się w momencie wybuchu ok. 40 g trotylu. Jest to wystarczające aby spowodować gwałtowne rozerwanie skrzynki z ogranicznikami, stwarzając jednocześnie niebezpieczeństwo dla osób postronnych, znajdujących się w pobliżu.

Podsumowanie i wnioski

Analizując doświadczenia eksploatacyjne systemów kablowych ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych, poza uszkodzeniami linii spowodowanymi przez czynniki zewnętrzne można stwierdzić, że to praca ograniczników przepięć stanowi o ich awaryjności. Z tego względu podstawową rzeczą jest odpowiedni dobór tych urządzeń.

Niniejszy artykuł przedstawia sytuację, w której pomimo wyznaczenia parametrów ograniczników z dużym marginesem bezpieczeństwa, według aktualnie praktykowanych metod, istnieje realne zagrożenie narażenia ich na przepięcia indukowane, które mogą doprowadzić do niekontrolowanego zniszczenia tych urządzeń i zagrożenia gwałtownego rozerwania obudowy, w której są zainstalowane. Wyniki analizy wskazują jednoznacznie na konieczność weryfikacji systemów kablowych w układzie SPB pod względem oddziaływania wzrostu lokalnego potencjału ziemi w otoczeniu uziemienia słupa kablowego, do którego przyłączony jest zacisk ogranicznika przepięć, na pracę tego ogranicznika. Niezbędnym w tym przypadku jest wykonanie analizy wartości chwilowych napięć, która jest możliwa wyłącznie w oparciu o techniki modelowania komputerowego.

Autor: mgr inż. Krzysztof Szuchnik, Eitel Networks Energetyka S.A., Gutkowo 81D, 11-041 Olsztyn, E-mail: krzysztof.szuchnik@eitelnetworks.com

LITERATURA

- [1] Nichols P., Woodhouse D., Yarnold J., The Effects of Earth Potential Rise on Surge Arrester Specification in Specially Bonded Cable Systems, *Australian Universities Power Engineering Conference*, AUPEC'08
- [2] Martinez-Velasco J. A., *Transient Analysis of Power Systems Solutions, Techniques, Tools and Applications* (2015)
- [3] PN-EN 60099-4:2015-01 *Ograniczniki przepięć - Część 4: Bezisłownikowe ograniczniki przepięć z tlenków metali do sieci prądu przemiennego.*
- [4] Hinrichsen V., *Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage Power Systems - Fundamentals* (2011)
- [5] Filipovic-Grcic B., Uglešić I., Milardic V., Xemard A., Guerrier A., Energy Stress of Surge Arresters due to Temporary Overvoltages, *the International Conference on Power Systems Transients*, IPST2011
- [6] Woodworth J., *ArresterFacts 030 Modeling Temperature Rise In Arresters From Energy Absorption* (2011)
- [7] Dobór ograniczników przepięć instalowanych na żyłach powrotnych kabli elektroenergetycznych 110, 220 i 400 kV, *Standardy sieci przesyłowej* (2015)
- [8] Duda D., Szadkowski M., Ochrona przeciwprzepięciowa osłon kabli WN w różnych układach połączeń żył powrotnych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr.10, 37-40
- [9] Duda D., Szadkowski M., Żmuda K., Aktualne problemy projektowania i eksploatacji linii kablowych 110 kV (głównie miejskich), *Wiadomości Elektrotechniczne*, 4 (2014), 22-26
- [10] Special Bonding Of High Voltage Power Cables, Working Group B1.18, *CIGRE Technical Brochure 283* (2005)
- [11] IEC 60840:2011 *Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV (Um = 36 kV) up to 150 kV (Um = 170 kV) - Test methods and requirements.*