

Zbigniew GACEK
Tomasz RUSEK

IZOLATORY ODSTĘPNIKOWE W GAZOSZCZELNYCH PRZEWODACH SZYNOWYCH 123–420 kV

Streszczenie. W artykule omawia się problem wymiarowania i kształtowania izolatorów odstępnikowych w gazoszczelnych przewodach szynowych 123-420 kV. Analizowane są wymagania elektryczne stawiane izolacji tego typu urządzeń. Zasady dotyczące kształtowania dyskowych i kielichowych izolatorów odstępnikowych w gazoszczelnych przewodach szynowych oparte są na wynikach obliczeń rozkładu pola elektrycznego.

EPOXY SPACERS FOR THE 123-420 kV GAS-TIGHT BUSES

Summary. The problem of an effective dimensioning and shaping of epoxy spacers for the 123-420 kV gas-tight buses is presented in this paper. Electric requirements established for above kind of buses are analysed. The principles concerning shaping of disk and conic spacers for the unipolar busbars follow from electric field computations.

1. WPROWADZENIE

Przewody szynowe o izolacji gazowej w postaci sprężonego sześćciofluorku siarki (SF_6) są relatywnie nowym rozwiązaniem technicznym w grupie urządzeń elektroenergetycznych średniego i wysokiego napięcia. Znajdują one coraz szersze zastosowanie w energetyce światowej. Pierwszy odcinek polskiego doświadczalnego przewodu szynowego o napięciu roboczym 123 kV ma być zainstalowany w jednej z elektrowni w najbliższym czasie.

Gazoszczelne przewody szynowe składają się z szyn (torów) prądowych, izolatorów odstępnikowych (wsporczych i grodziowych), osłon zewnętrznych, odprowadzeń i odgałęzień oraz innych elementów konstrukcyjnych i pomocniczych. Służą one do przesyłania i rozdziału energii elektrycznej w obrębie jednego lub kilku obiektów elektroenergetycznych, np. elektrowni i stacji elektroenergetycznej.

Rozważane przewody są obecnie produkowane jedynie przez nieliczne wielkie firmy. W literaturze światowej brak jest informacji pozwalających na wykonanie obliczeń i konstruowanie takich rozwiązań technicznych. Przewody szynowe są budowane jako urządzenia jednobiegunowe (każda faza w osobnej obudowie), lub - znacznie rzadziej - jako trójbiegunowe (wszystkie trzy fazy we wspólnej obudowie). Poniżej rozpatruje się tylko przewody jednobiegunowe o najprostszej budowie, identycznej dla poszczególnych faz. Elementami przewodzącymi prąd, a będącymi jednocześnie elektrodami układów izolacyjnych w przewodach szynowych o izolacji gazowej (pod ciśnieniem) są rozmieszczone współosiowo szyny prądowe i uziemione osłony zewnętrzne. Szynę prądową (elektrodę wewnętrzną) stanowi rura wykonana zazwyczaj z aluminium, stopu aluminium lub miedzi (o grubości ścianki $5+15$ mm). Osłonę (elektrodę zewnętrzną) stanowi również rura wykonana z aluminium, stopu miedzi lub innego materiału (o grubości ścianki $2+6$ mm).

Podstawową zaletą przewodów szynowych izolowanych sprężonym SF_6 jest zdolność do przenoszenia znacznie większych mocy niż za pomocą porównywalnych konwencjonalnych kabli elektroenergetycznych. Nie opłaca się nimi wprawdzie zastępować linii napowietrznych lub kablowych, ale mogą być one korzystną alternatywą - szczególnie na krótkich odcinkach w nietypowych i trudnych warunkach terenowych. W wielu przypadkach jest to jedyna możliwość modernizacji i rozbudowy układu sieciowego, szczególnie w połączeniu z zainstalowaniem importowanych rozdzielnic gazoszczelnych. Gazoszczelne przewody szynowe mają również wiele innych zalet (patrz np. [1]), odznaczając się m.in. niewielkimi kosztami eksploatacyjnymi i dużym bezpieczeństwem pracy. Przykładowymi zastosowaniami rozważanych przewodów szynowych są: połączenia transformatora blokowego ze stacją przesyłowo-rozdzielczą, odcinek połączenia bardzo stromego, lub nawet pionowego, skrzyżowania linii z drogą albo rzeką.

2. UWARUNKOWANIA KONSTRUKCYJNE I MATERIAŁOWE

Izolacją główną gazoszczelnego przewodu szynowego jest sprężony gaz (zwykle SF_6), a izolacją pomocniczą - spełniającą również istotne funkcje mechaniczne i uszczelniające - są izolatory odstępnikowe (wsporcze i grodziowe), wykonywane zazwyczaj z lanych żywic epoksydowych. Izolatory te stanowią na ogół najbardziej newralgiczne elementy przewodu szynowego. Wynika to z ogólnej prawidłowości, że - pod względem elektrycznym - najslabszym ogniwem nawet zupełnie poprawnie zaprojektowanego i skonstruowanego układu izolacyjnego o uwarstwieniu równoległym (np. izolator epoksydowy- SF_6) jest zawsze obszar, w którym stykają się różne rodzaje izolacji. Pod względem mechanicznym najslabszymi miejscami konstrukcji przewodu są obszary, w których występują połączenia jego podstawowych elementów funkcjonalnych.

Gazoszczelne przewody szynowe mają wprawdzie bardzo prostą budowę, ale wymagają stosowania najlepszych materiałów, a ponadto dużej staranności wykonania oraz kultury technicznej podczas montażu i eksploatacji. Są to zresztą uwarunkowania charakterystyczne dla większości tzw. nowoczesnych urządzeń technicznych. Dotyczy to również rozpatrywanego przypadku, ponieważ:

- układy izolacyjne gazowo-ciśnieniowe są bardzo wrażliwe na nierównomierności pola elektrycznego (znacznie silniejszego niż w większości układów izolacji powietrznej),
- większość elektrycznych i mechanicznych właściwości izolatorów odstępnikowych zależy w dużej mierze od stopnia jednorodności kompozycji epoksydowej, powtarzalności jej parametrów oraz możliwości praktycznego wyeliminowania wtrącin stałych i gazowych.

Zasadnicze znaczenie ma staranność montażu, a w szczególności - dokładność montażu izolatorów i wykonania wszystkich połączeń. Na przykład, niedostateczne dokręcenie elementu przewodu szynowego do okucia izolatora może spowodować obniżenie napięcia przeskoku nawet o kilkadziesiąt procent.

Szczególnie ważnymi i jednocześnie wrażliwymi elementami konstrukcyjnymi przewodu szynowego izolowanego sprężonym SF_6 są izolatory odstępnikowe (wsporcze i grodziowe). Oprócz zadań elektroizolacyjnych spełniają one określone zadania mechaniczne, polegające na zapewnieniu trwałej współosiowości szyny prądowej i osłony zewnętrznej oraz skutecznego i trwałego uszczelnienia gazoszczelnych przedziałów szynoprzewodów (izolatory grodziowe). Na izolację stałą w przewodach szynowych oddziałują bowiem różnorodne siły spowodowane statycznymi i dynamicznymi naprężeniami pochodzenia elektrycznego, mechanicznego i termicznego. Niezależnie od tego, izolacja stała może być narażona na działanie agresywnych chemicznie produktów rozkładu SF_6 . Dlatego też materiał stosowany do wytwarzania izolatorów odstępnikowych musi spełniać wymagania (tablica 1) w zakresie wytrzymałości elektrycznej skrośnej i powierzchniowej, a ponadto w zakresie następujących właściwości: wytrzymałości mechanicznej (statycznej i dynamicznej), odporności cieplnej i zgodności termomechanicznej z materiałem elektrod oraz jakości wykonania poszczególnych elementów konstrukcyjnych.

3. ZASADY WYMIAROWANIA

Najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne promienia zewnętrznego szyny prądowej (R_1) i promienia wewnętrznego osłony (R_2) przewodów szynowych o napięciach roboczych 123-420 kV ze względu na wymagania elektryczne stawiane ich izolacji gazowej muszą być tak dobrane, aby spełniać jednocześnie kryteria cząstkowe, podane w tablicy 2.

Najtrudniejsze problemy techniczne i technologiczne, związane z konstruowaniem i wytwarzaniem izolatorów wsporczych i grodziowych w przewodach szynowych, polegają na:

Tablica 1

Zestawienie najważniejszych wymagań stawianych materiałom izolacyjnym stałym, przeznaczonym do konstruowania odstępników izolacyjnych

Lp.	Cecha materiału	Wymagania (dane dla lanych kompozycji epoksydowych-LKE)	Uwagi
1	Wytrzymałość elektryczna skrośna i powierzchniowa	<ul style="list-style-type: none"> • Duże napięcie przebicia skrośnego i przestoku powierzchniowego (wytrzymałość istotna $E_p \geq 20 \text{ kV/mm}$) 	Dotyczy wytrzymałości doraznej i długotrwałej
2	Przenikalność elektryczna względna	<ul style="list-style-type: none"> • Pożądana jak najmniejsza wartość ($\epsilon_r = 3-6$) 	Zmniejszenie nierównomierności pola elektrycznego
3	Stopień jednorodności	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwie największy 	Uniknięcie krytycznych gradientów pola
4	Stopień higroskopijności	<ul style="list-style-type: none"> • Jak najmniejszy (nasiąkliwość wodą mniejsza niż 0,3%) 	W zasadzie zbliżony do zera
5	Odporność na działanie tuku elektrycznego	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwie duża 	Wymaganie istotne, gdy wystąpi tuk elektryczny lub waz
6	Rezystywność elektryczna	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwie duża - zarówno skrośna (ρ_s), jak i powierzchniowa (ρ_p) ($\rho_s = 10^{12}-10^{15} \Omega \cdot \text{m}$, $\rho_p = 10^{11}-10^{12} \Omega$) 	Warunkuje m.in. napięciową krzywą życia materiału
7	Niektóre własności termiczne i termomechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> • Odporność na długotrwałe i krótkotrwałe działanie podwyższonej temperatury (np. temperatura ugięcia wg. Martensa min. 100°C) • Dostateczna zgodność termomechaniczna materiałów (wsp. rozszerzalności $(1-6) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, zależnie od rodzaju i ilości wypełniacza) 	W warunkach roboczych i zwarciovych. Celem uniknięcia dodatkowych naprężeń w skutek skurczu i rozszerzalności
8	Dobre własności mechaniczne	<ul style="list-style-type: none"> • Duża wytrzymałość mechaniczna (znacznie lepsza od porcelany) • Duża uderalność 	Dotyczy wytrzymałości mechanicznej statycznej i dynamicznej
9	Odporność na wzn i inne czynniki starzeniowe	<ul style="list-style-type: none"> • Możliwie duża (zależna od rodzaju i ilości wypełniacza oraz utwardzaczą także stopnia jednorodności kompozycji) 	Decyduje o długotrwałej wytrzymałości mechanicznej i elektrycznej materiału
10	Aktywność chemiczna	<ul style="list-style-type: none"> • Jak najmniejsza 	Szczególnie względem SF_6 i produktów jego rozkładu

Tablica 2

Sposoby wyznaczania najmniejszych dopuszczalnych wymiarów poprzecznych jednobiegunowych przewodów szynowych 123-420 kV izolowanych sprężonym SF₆ (wg [1] i [2])

Kryterium wystarczającej wytrzymałości elektrycznej dla:	Najmniejszy dopuszczalny promień osłony zewnętrznej:
● izolacji gazowej przy ciśnieniu roboczym SF ₆ i napięciach probierczych	$R_2 \geq \exp\left(\frac{U_d}{R_1 E_{wi}}\right)$
● rozhermetyzowanego przedziału gazowego przy napięciu roboczym	$R_2 \geq R_1 \frac{U_m}{8,22 R_1}$
● izolatora odstępnikowego przy napięciu roboczym	$R_2 > R_1 + \frac{\beta_i U_m}{\sqrt{3} E_d}$

gdzie:

R_1 - promień zewnętrzny szyny prądowej (mm),

U_d ($i = 1, 2, 3$) - znamionowe napięcie probiercze (kV),

$E_{wi} = 13,3 - 15,4 - 13,4$ kV/mm - największe natężenie pola elektrycznego, wytrzymałwane przez odstęp gazowy przy ciśnieniu roboczym $p = 0,25$ MPa i napięciach probierczych (odpowiednio): przemianym - ujemnym udarowym piorunowym - ujemnym udarowym łączeniowym,

U_m - najwyższe napięcie urządzenia (kV),

$E_d = 2,5$ kV/mm - wartość skuteczna największego dopuszczalnego długotrwałe natężenia pola elektrycznego wewnątrz izolatora,

$\beta_i = 1,2 \div 1,3$ - współczynnik nierównomierności pola elektrycznego wewnątrz izolatora.

- niedopuszczeniu do powstania i rozwoju jakichkolwiek form wyładowań niezupełnych,
- zapewnieniu dostatecznej wytrzymałości elektrycznej skrośnej i powierzchniowej.

Powyższe wymagania elektryczne można spełnić poprzez: dobór odpowiedniego materiału izolacyjnego stałego, odpowiednie ukształtowanie geometryczne powierzchni bocznych izolatorów i stosowanie wewnętrznych lub zewnętrznych ekranów sterujących.

Większość wymagań technicznych i technologicznych, stawianych materiałom służącym do wytwarzania izolatorów wsporczych i grodziowych, spełniają w dużym zakresie niektóre lane kompozycje epoksydowe (LKE), zawierające odpowiednio dobrane napełniacze nieorganiczne (patrz [3], [6]). Wytrzymałość elektryczna izolatorów epoksydowych zależy od następujących czynników:

- kształtu geometrycznego izolatorów,
- stanu powierzchni izolatorów (stopnia szorstkości i zdolności do adhezji cząstek zanieczyszczeń),

- jakości wykonania i montażu elementów konstrukcji przewodu szynowego (szczególnie na styku każdego z izolatorów z szyną prądową).

Kształt geometryczny izolatorów odstępnikowych jest uzależniony od rodzaju konstrukcji przewodu szynowego, poziomu jego napięcia roboczego i innych czynników. W praktyce stosuje się najczęściej dwa podstawowe rodzaje izolatorów: dyskowe i kielichowe (patrz szkice w tablicy 3). Izolatory dyskowe są prostsze do wykonania i częściej stosowane, lecz ich niektóre właściwości mechaniczne mogą być gorsze od właściwości izolatorów kielichowych.

Ogólna zasada obowiązująca w zakresie odpowiedniego kształtowania izolatorów odstępnikowych polega na wyborze stosownej kombinacji ich skoordynowanych wymiarów geometrycznych (średnic, kształtów profili krawędzi bocznych itd.) oraz - ewentualnie - wewnętrznych lub zewnętrznych ekranów sterujących. Dobierając kształt izolatora ze względu na stawiane mu wymagania w zakresie wytrzymałości elektrycznej należy kierować się następującymi kryteriami:

- 1) rozkład przestrzenny natężenia pola elektrycznego (wewnątrz i wokół powierzchni izolatora) powinien być możliwie najmniej nierównomierny;
- 2) natężenie pola elektrycznego wewnątrz izolatora w normalnych warunkach pracy urządzenia (przy napięciu roboczym) powinno być możliwie małe, a jego największa wartość nie może przekraczać poziomu uznanego za dopuszczalny długotrwałe;
- 3) natężenie pola elektrycznego w dowolnym punkcie powierzchni izolatora nie powinno przekraczać największego natężenia pola elektrycznego w gazowym odstepie izolacyjnym.

Pierwsze kryterium ma na celu zapewnienie możliwie efektywnego wykorzystania właściwości elektroizolacyjnych sprężonego SF_6 i współpracującego z nim dielektryku stałego.

Drugie kryterium wynika z konieczności zapewnienia izolatorom dostatecznej trwałości i odporności na różnorodne procesy długotrwałej eksploatacji przewodu szynowego. Największe dopuszczalne długotrwałe natężenie pola elektrycznego wewnątrz epoksydowych izolatorów odstępnikowych, przyjmowane obecnie na dość niskim poziomie, jest określone zależnością:

$$\text{Max } E_i \leq E_d, \quad (1)$$

gdzie $E_d = 2,5$ kV/mm - największe dopuszczalne długotrwałe natężenie pola elektrycznego wewnątrz izolatora.

Trzecie kryterium wynika z konieczności ograniczenia do minimum ryzyka wystąpienia przeskoaku powierzchniowego. W praktyce można to uzyskać wtedy, gdy największa wartość natężenia pola elektrycznego na powierzchni izolatorów będzie mniejsza o ok. 10% od największego natężenia pola w gazowym odstepie izolacyjnym:

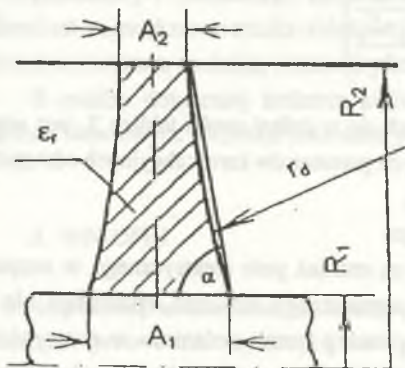
$$\text{Max } E_s \leq E_g = 0,9 E_g, \quad (2)$$

gdzie E_g - największe natężenie pola elektrycznego w odstepie gazowym.

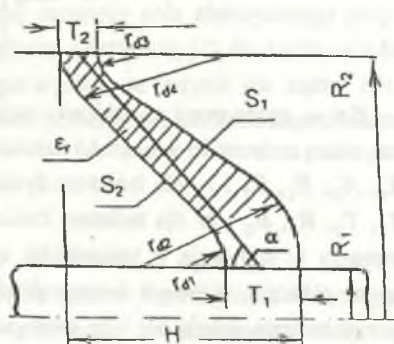
Tablica 3

Dane wejściowe do obliczeń numerycznych rozkładu pola elektrycznego

Wielkość	Dane obliczeniowe	Uwagi
Największe napięcie urządzenia U_m	420 kV	Wartości skuteczne
Promień zewnętrzny szyny prądowej R_1	100 mm	Wymiary poprzeczne uznane za najkorzystniejsze ze względu na własności elektryczne dla $p = 0,25$ MPa (wg [2])
Promień wewnętrzny osłony R_2	250 mm	
Grubość ścianki izolatora dyskowego przy osłonie A_2	20÷40 mm	Zależnie od napięcia U_m i wymagań mechanicznych
Grubość ścianki izolatora dyskowego przy szynie prądowej A_1	$A_1 = f(r_d)$	Dla promieni $r_d = 250 + 5000$ mm (patrz szkic a)
Długość poosiowa izolatora kielichowego H	150÷375 mm	Dla promieni kół decydujących o kształcie krawędzi bocznych: $r_{d1} = 30 + 60$ mm, $r_{d2} = 65 + 110$ mm, $r_{d3} = 22,5$ mm, $r_{d4} = 52,5$ mm (patrz szkic b)
Grubość ścianki izolatora kielichowego przy osłonie T_2	30 mm	
Grubość ścianki izolatora kielichowego przy szynie prądowej T_1	40÷50 mm	
Przenikalność elektryczna względna ϵ_r	6	



a - izolator dyskowy



b - izolator kielichowy

Zaproponowane rozwiązania wymiarowe izolatorów odstepnikowych umożliwiające określenie danych wejściowych do dalszych obliczeń sprawdzających i optymalizacyjnych; nie są one pełnymi projektami technicznymi. Na podstawie rezultatów wykonanych obliczeń numerycznych można było ustalić jedynie najważniejsze prawidłowości w zakresie wzajemnych uwarunkowań wybranych właściwości elektroizolacyjnych i ukształtowania geometrycznego izolatorów.

4. PRZYKŁADY OBLICZENIOWE

Dla zilustrowania przeprowadzonych rozważań rozpatruje się modele obliczeniowe izolatorów odstepnikowych: dyskowego i kielichowego o zmiennych parametrach geometrycznych.

W celu uproszczenia rozważań oraz uwzględnienia wpływu podstawowych parametrów konstrukcyjnych na poziom największych wartości natężenia pola elektrycznego wprowadzono dodatkowy parametr geometryczny α , będący kątem nachylenia powierzchni bocznej izolatora odstepnikowego względem szyny prądowej (patrz [5]). Kąt ten zdefiniowany jest następująco:

- dla izolatora dyskowego

$$\alpha = \arctg \left(\frac{R_2 - R_1}{\frac{A_1 - A_2}{2}} \right). \quad (3)$$

- dla izolatora kielichowego

$$\alpha = \arctg \left(\frac{R_2 - R_1}{H - \frac{T_1 + T_2}{2}} \right). \quad (4)$$

Kąt α , zaznaczony na szkicach znajdujących się w dolnej części tablicy 3, jest uogólnioną miarą zmienności większości najważniejszych parametrów konstrukcyjnych odstepnika:

- A_1, A_2, R_1, R_2 i r_d dla izolatora dyskowego,
- T_1, T_2, R_1, R_2 i H dla izolatora kielichowego.

Parametry te wpływają w bezpośredni sposób na rozkład pola elektrycznego w rozpatrywanym układzie. Krawędź boczna przekroju poprzecznego izolatora dyskowego nie jest wprawdzie linią prostą, ale - ze względu na wysmukły kształt izolatora - w rzeczywistych układach zakrzywienie tej krawędzi jest do pominięcia (dla $\alpha \geq 75^\circ$). Zmiana parametru A_2 (grubości ścianki izolatora przy osłonie zewnętrznej) nie wpływa na kąt α . Jednakże grubość ścianki izolatora jest uwarunkowana przede wszystkim wymaganiami dotyczącymi wytrzymałości mechanicznej odstepnika.

W przypadku izolatora kielichowego korzystanie z analogicznego parametru α jest wprawdzie dość dużym uproszczeniem, ale możliwym jeszcze do zaakceptowania. Poza tym rozważania dla izolatorów kielichowych prowadzi się tylko dla niektórych układów rzeczywistych. Zmiana parametru T_1 (grubość ścianki izolatora przy szynie prądowej) jest uwarunkowana przede wszystkim wymaganiami wynikającymi z narażeń mechanicznych.

Dane wejściowe do obliczeń numerycznych zestawione są w tablicy 3. Promienie szyn prądowych i osłon jednobiegunowych przewodów szynowych 420 kV wybrano spośród wielu wartości, należących do zbiorów rozwiązań dopuszczalnych pod względem wymiarowym. Zostały one uznane za najkorzystniejsze ze względu na własności elektryczne izolacji gazowej i stałej.

Analiza dotyczy największych wartości natężenia pola elektrycznego:

- składowej normalnej wewnątrz izolatora przy powierzchni toru prądowego (E_n),
- składowej stycznej przy powierzchni izolatora (E_s).

Powyższe parametry pola elektrycznego są analizowane w zależności od ukształtowania geometrycznego układu elektrod walcowych i izolatorów odstępnikowych.

Zależności $E_n = f(\alpha)$ i $E_s = f(\alpha)$ dla fragmentu przedziału gazoszczelnego przewodu szynowego o napięciu roboczym 420 kV, zawierającego izolator odstępnikowy [4], przedstawiono na rys. 1 i 2.

Obliczenia wykonano dla typowych wartości parametrów konstrukcyjnych:

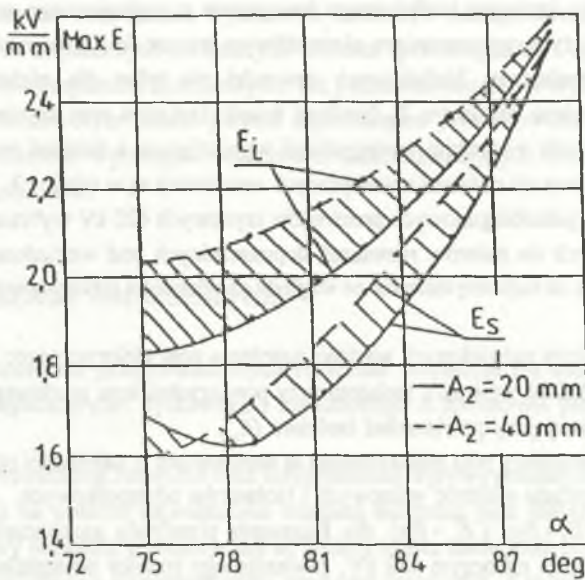
- dla izolatora dyskowego $\alpha = 75^\circ \pm 90^\circ$,
- dla izolatora kielichowego $\alpha = 20^\circ \pm 45^\circ$.

Z uzyskanych charakterystyk wynika, że wraz ze wzrostem wartości kąta α wartości obu składowych natężenia pola elektrycznego rosną. Największe wartości składowej normalnej natężenia pola elektrycznego wewnątrz izolatora nie przekraczają poziomu uznawanego za dopuszczalny i określonego zależnością (1), z wyjątkiem kilku punktów dla $\alpha > 87^\circ$. Natomiast największe wartości składowej stycznej natężenia pola elektrycznego przy powierzchni izolatora spełniają trzecie kryterium opisane zależnością (2) dla kątów $\alpha > 81^\circ$.

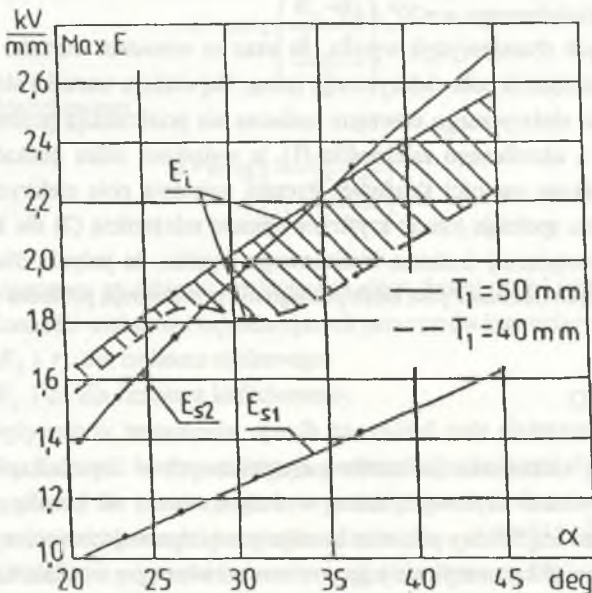
Z analizy dotyczącej izolatora kielichowego wynika, że jedynie dla kątów $\alpha < 35^\circ$ wartości składowych natężenia pola elektrycznego nie przekraczają poziomu dopuszczalnego.

5. WNIOSKI

● Wytrzymałość elektryczna izolatorów odstępnikowych w wysokonapięciowych gazoszczelnych przewodach szynowych zależy w dużym stopniu od kształtu geometrycznego odstępników. Jako uogólniony parametr kształtu geometrycznego izolatora odstępnikowego proponuje się przyjąć kąt nachylenia jego powierzchni bocznej α względem szyny prądowej. Uzyskane zależności składowych wektora natężenia pola elektrycznego od kąta α wynikają z analizy rozkładu pola elektrycznego w wybranych obszarach przewodu szynowego.



Rys. 1. Zależności $E_L = f(\alpha)$ i $E_S = f(\alpha)$ dla izolatora odstępnikowego w kształcie dysku
 Fig. 1. Dependences $E_L = f(\alpha)$ and $E_S = f(\alpha)$ for the disk spacer



Rys. 2. Zależności $E_L = f(\alpha)$ i $E_S = f(\alpha)$ dla izolatora odstępnikowego w kształcie kielicha
 Fig. 2. Dependences $E_L = f(\alpha)$ and $E_S = f(\alpha)$ for the conic spacer

- Prezentowane zasady i kryteria mogą być wykorzystane - zarówno w zakresie teorii i metod obliczeniowych, jak i nowych rozwiązań konstrukcyjnych - w pracach prowadzących do uruchomienia w kraju produkcji gazoszczelnych przewodów szynowych 123÷420 kV.
- Jednoczesne spełnienie większości wymagań technicznych stawianych izolatorom odstepnikowym w przewodach szynowych izolowanych sprężonym SF₆ jest możliwe tylko w przypadku zastosowania nowoczesnych, często specjalnie w tym celu wytwarzanych materiałów. Korzysta się w tym względzie z doświadczeń inżynierii materiałowej.

LITERATURA

1. Baron B., Gacek Z., Kiś W.: Obliczanie rozkładu pola elektrycznego, wymiarowanie układów izolacyjnych i wyznaczanie temperatur w przewodach szynowych izolowanych sprężonym SF₆. Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej nr 1196 "Elektryka", z. 131, Gliwice 1993 (monografia).
2. Baron B., Gacek Z.: Computation of electric field distribution inside high voltage metal-clad SF₆ buses. 7th Int. Symp. on High Voltage Engineering, Vol. 1, Paper 12-09, Dresden 1991.
3. Gacek Z., Rusek T.: Gazoszczelne przewody szynowe - uwarunkowania materiałowe. Mat. II Sem. Techn. "Materiały i układy elektroizolacyjne w przemyśle elektrotechnicznym", ss. 193-200, Ustroń-Jaszowiec 1995.
4. Rusek T.: Procedura obliczeniowa wymiarowania izolatorów odstepnikowych w gazoszczelnych przewodach szynowych. Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej "Elektryka", z. 137, ss. 173-182, Gliwice 1994.
5. Trinh N. G., Rizk F. A. M., Vincent C.: Electrostatic Field Optimization for the Profile of Spacers for Compressed SF₆-Insulated Cables. IEEE Trans. on Power App. and Syst., Vol. PAS-99, № 6, Nov./Dec. 1980, pp. 2164-2174.
6. Winkler J.: Lane kompozycje epoksydowe w technice wysokich napięć. Prace Inst. Elektrotechniki, z. 127, Warszawa 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Pohl

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 czerwca 1995 r.

Abstract

The principles of an effective dimensioning and geometrical shaping of epoxy spacers for SF₆-insulated buses are considered in the paper. The problem is analysed in regard to

electric requirements established for the above kind of buses. Specification of the main requirements related to insulating solid materials applied in the above epoxy spacers constructions (Table 1) and criteria for calculation of transverse dimensions of the 123-420 kV unipolar busbars (Table 2) are presented.

Two examples selected from among a lot of numerical computations, realised for the models of disk and conic spacers, are presented in the graphic form in Figs. 1 and 2. They are succeeding relationships between the highest values of electric field intensities (E_1, E_2) and the tangent of the dielectric cone angle (α), as a geometrical parameter of spacers. The input data for numerical computations are presented in Table 3.

From the multi-variant numerical computations follows that the highest values of electric field intensities inside the spacer and on internal side of the spacer surface do not exceed the permissible levels, supposing that the dielectric cone angle has the following values: $\alpha \leq 35^\circ$ for the conic spacer and $\alpha \leq 87^\circ$ for the disk spacer.

