



Marek SZADKOWSKI

Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów

## Układ izolacyjny szyn giętkich rozdzielni WN i NN w warunkach przepływu prądu zwarciovego

**Streszczenie.** W prezentowanym poniżej tekście zarysowano problem dynamicznych zmian powietrznego układu izolacyjnego oszynowania giętkiego w rozdzielniach WN i NN w wyniku przepływu prądu zwarciovego. Przedstawiono narzędzia ułatwiające analizę skutków przepływu prądu zwarciovego przez oszynowanie giętkie oraz zaprezentowano metody ograniczania tych skutków.

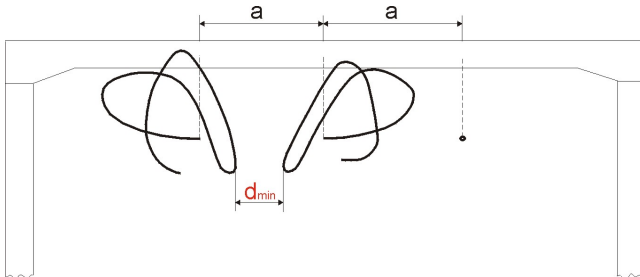
**Abstract.** (An insulation system of HV and EHV flexible bus-bars in switching stations during short-circuit current). The problem of dynamic changes in air insulation system of flexible HV bus-bar systems is presented and as a result of flow of short-circuit currents by flexible bus-bars. Has been mentioned of the tools facilitated on analysis of short-circuit current effects in flexible bus-bars and methods used to limitations of these effects.

**Słowa kluczowe:** zwarcie, dynamika przewodów, układ izolacyjny, odstęp powietrzne.

**Keywords:** short-circuit current, dynamics of conductors, insulation system, air distance.

### Wstęp

Przepływ prądu elektrycznego w dowolnie usytuowanych względem siebie torach prądowych powoduje powstawanie sił (tzw. sił elektrodynamicznych) działających na przepływające ładunki, a więc na tory prądowe. W przypadku prądu zwarciovego działania te mogą być znaczne. W oszynowaniu sztywnym rozdzielni może dojść do powyginania szyn, zniszczenia odstępników, uszkodzenia izolatorów wsporczych itp. W oszynowaniu giętkim problem jest bardziej złożony. W wyniku np. zwarcia dwufazowego, w przewodach tworzących sąsiednie fazy popłynię prąd w przeciwnych kierunkach. Powstałe siły elektrodynamiczne spowodują „odpychanie się” przewodów (rys.1). W wyniku uzyskanej energii kinetycznej i potencjalnej, a także sprężystej, przewody będą poruszać się dalej również po wyłączeniu zwarcia, „kreśląc” w środku trajektorię np. taką jak na rysunku 1 [1, 2, 3, 4].



Rys.1. Trajektorie ruchu przewodów w środku przęsła w wyniku przepływu prądu zwarciovego

Poruszające się przewody mogą zbliżyć się na odległość  $d_{min}$  (rys.1). Jeżeli odległość ta będzie mniejsza niż dopuszczalna dla wytrzymałości elektrycznej odstępów izolacyjnego może dojść do zwarcia wtórnego (w chwili zbliżenia przewodów płynie już przez nie prąd roboczy w wyniku zadziałania automatyki SPZ). Zbliżenie przewodów na niebezpieczną odległość jest jednym ze skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN i NN. Wielkość tego zbliżenia zależy od wielu czynników: wartości i rodzaju prądu zwarciovego (prądu początkowego  $I_k'$ ), długości przęsła  $L$ , temperatury otoczenia i związanej z nią początkowej siły naciągu  $F_{st}$ , odległości między fazami  $a$ , czasu trwania zwarcia  $T_k$ , działania automatyki SPZ, typu przewodów tworzących oszynowanie,

„sztywności” konstrukcji wsporczych, kąta zwarcia, rodzaju zwarcia itp. Wpływ tych czynników na efekty mechaniczne prądu zwarciovego jest bardzo zróżnicowany [4]. Jak wykazują analizy, największe znaczenie mają długość przęsła i wartość prądu zwarciovego. Żeby to sprawdzić należy zastosować jedną z wielu metod szacowania skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni

### Metody szacowania skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni

Przepływowi prądów przez oszynowanie giętkie towarzyszą złożone zjawiska, które mogą być opisane wyłącznie przy pomocy skomplikowanych modeli obliczeniowych. Analiza tych modeli stała się możliwa dopiero po pojawieniu się komputerów i po wprowadzeniu zaawansowanych metod komputerowych. W połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia badania wpływu oddziaływań elektrodynamicznych na oszynowanie giętkie rozdzielni WN i krótkich przęsł linii napowietrznych podjęto w kilku krajach Europy Zachodniej, głównie Francji, Holandii, Belgii i RFN. Skupiono się głównie na badaniu sił i przemieszczeniach dotyczących przewodów. Stosowano przy tym dwie grupy metod: tzw. **metody proste i zaawansowane** [1,4]. Metody proste oferują tablice oraz wzory analityczne ustalone na podstawie doświadczeń oraz prostych zależności mechanicznych i geometrycznych. Metody takie zaprezentowane są m.in. w normie [10] oraz w artykule [5]. Mimo dużej prostoty, podstawową wadą tych metod jest to, że przy ich pomocy można szacować skutki mechaniczne prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni dla ściśle określonych parametrów tych rozdzielni. Ogranicza to w dużym stopniu zakres ich stosowania.

W metodach „zaawansowanych”, układ składający się z izolatorów, osprzętu i przewodów rozważa się jako strukturę o parametrach rozłożonych; współpracującą mechanicznie z konstrukcjami wsporczymi, opisanymi jako systemy dynamiczne także o parametrach rozłożonych. Idea tych metod polega na wykorzystaniu różniczkowych równań ruchu, opisujących zagadnienia początkowo-brzegowe skończonych odkształceń przewodów [1].

Metody te posiadają wiele zalet, ale żeby je zastosować należy przygotować bardzo duży zbiór danych wejściowych. Jest to dosyć uciążliwe, gdy w grę wchodzi analiza kilku, kilkunastu czy nawet kilkudziesięciu wariantów jakiegoś rozwiązania konstrukcyjnego. Systemy komputerowe opra-

cowane na podstawie tych metod (belgijski SAMCEF i polski STANAN) są ponadto trudno dostępne.

Między innymi z tych powodów największą popularnością cieszą się tzw. **metody pośrednie** analizy wpływu prądów zwarciovych na oszynowanie giętkie rozdzielni WN. Idea tych metod opiera się na całkowaniu niewielkiej liczby (przeważnie dwu, trzech) równań różniczkowych ruchu przewodów w środku przęsła. W celu wyprowadzenia tych równań rzeczywiste przęsło zastępuje się modelem skupionym (najczęściej modelem wahadła), któremu przypisuje się cechy rzeczywistego przęsła. Jednym z wielu istniejących programów komputerowych opracowanych na podstawie takiej metody, jest program WASP stworzony na Politechnice Śląskiej w Gliwicach [4, 6]. Większość wyników obliczeń prezentowanych w niniejszym opracowaniu została uzyskana przy pomocy tego właśnie programu.

### Wpływ długości przęsła i wartości prądu zwarciovego na wielkość odstęp powietrzny między poruszającymi się przewodami

Dopuszczalny odstęp  $d_{dop}$  między przewodami można określić deterministycznie, na podstawie zależności napięcia przeskoku od odległości elektrod w układzie ostrze-ostrze. Dla maksymalnego napięcia roboczego 123 kV odstęp ten wynosi przykładowo 30 cm. Problemem otwartym przy takim wymiarowaniu odstępów jest ewentualne uwzględnienie przepięć łączeniowych, a nawet atmosferycznych. W niniejszym opracowaniu przyjęto, że prawdopodobieństwo wystąpienia takich przepięć w momencie maksymalnego zbliżenia przewodów różnych faz jest pomijalnie małe.

Długość przęsła wynika w przypadku szyn zbiorczych z szerokości pola oraz liczby pól w przęsle. Przykładowo w rozdzielniach napowietrznych 110 kV szerokość pola wynosi w większości przypadków 9 m. Przy liczbie pól przypadającej na jedno przęsło 3 do 4 daje to długość przęsła  $27 \div 36$  m. Przęsła o większej długości występują jedynie w wyjątkowych przypadkach. Przęsła krótsze występują natomiast w rozdzielniach uproszczonych (np. przęsła o długości 8 i 16 m wg [2, 3]).

W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń, uzyskane przy pomocy programu WASP [4, 6], dla przęsła o różnych długościach, z przewodami pojedynczymi AFL-8 525. Obliczenia wykonano dla zwarć dwufazowych, zakładając trzy poziomy prądu początkowego  $I''_{k2}$ : 16, 21,7 i 34,6 kA.

Tabela 1. Wpływ długości przęsła i wielkości prądu zwarciovego na odstęp powietrzny między poruszającymi się przewodami oszynowania giętkiego w rozdzielni napowietrznej WN

Dane wejściowe do obliczeń								
$L$	m	8	16	27	30	36	40	45
$F_{st}$	kN	1,3	1,1	3,15	3,0	3,0	3,0	3,0
Wyniki obliczeń przy prądzie 18,5 kA ( $I''_{k2} = 16$ kA)								
$d_{min}$	m	2,17	1,58	1,55	1,14	0,77	0,4	<b>0,21</b>
Wyniki obliczeń przy prądzie 25 kA ( $I''_{k2} = 21,7$ kA)								
$d_{min}$	m	2,15	1,47	1,03	0,93	<b>0,3</b>	0,99	<b>0</b>
Wyniki obliczeń przy prądzie 40 kA ( $I''_{k2} = 34,6$ kA)								
$d_{min}$	m	2,05	1,4	0,55	<b>0,25</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Pozostałe dane wejściowe: przewody AFL-8 525; $a = 2,2$ m; $S = 4,4 \cdot 10^5$ N/m; $m_{zkw} = 185$ kg; $l_p = 11$ m; $l_{p1} = l_{p2} = 3,3$ m; $\varphi = 180^\circ$ ; $R/X = 0,07$ ; $\psi = 0^\circ$ ; $T_k = 0,2$ s, gdzie: $L$ - długość przęsła, $F_{st}$ - początkowa siła naciągu przewodów, $d_{min}$ - minimalna odległość między poruszającymi się przewodami, $a$ - odległość między fazami, $S$ - współczynnik sprężystości konstrukcji wsporczych, $m_{zkw}$ - masa zastępcza konstrukcji wsporczych, $l_p$ - długość poprzeczki konstrukcji wsporczych, $l_{p1}$ i $l_{p2}$ - odległości między punktami zaczeplenia skrajnych faz a końcami poprzeczki, $\varphi$ - kąt przesunięcia między prądami fazowymi, $\psi$ - kąt zwarcia								

Analizując wyniki obliczeń umieszczone w tabeli 1 łatwo zauważyć, że zbliżenie przewodów  $d_{min}$  (minimalny odstęp między fazami) w czasie ich ruchu jest ściśle związane z długością przęsła, a właściwie z początkową siłą naciągu  $F_{st}$  oraz z poziomem prądu początkowego  $I''_{k2}$ . W przypadku prądu  $I''_{k2}$  nie większego niż 16 kA, dla przęsła o długości do 40 m, zbliżenia przewodów nie są niebezpieczne. W przypadku prądu  $I''_{k2} = 21,7$  kA zbliżenia przewodów nie są niebezpieczne dla przęsła o długości nie większej niż 30 m. Niebezpieczeństwo nadmiernych zbliżeń przewodów i w konsekwencji zwarć wtórnych pojawia się dla przęsła o długości powyżej 36 m. Przęsła takie nie występują w nowoprojektowanych rozdzielniach 110 kV. W analizie uwzględniono celowo przypadek przęsła o długości do 45 m między innymi dla pokazania ograniczeń w zwiększaniu długości przęsła z oszynowaniem giętkim. W przypadku prądu  $I''_{k2} = 34,6$  kA niebezpieczeństwo nadmiernego zmniejszenia odstępów powietrznych pojawia się już dla przęsła o długości 30 m.

Z powyższej analizy wynika ponadto, że na minimalną odległość między poruszającymi się przewodami istotnie wpływa także wielkość prądu zwarciovego. Dla przęsła o dowolnej długości można wyznaczyć pewną krytyczną wartość prądu początkowego, przekroczenie której może spowodować nadmierne zbliżenie przewodów. Przykładowo dla przęsła o długości 30 m wartością tą jest  $I''_{k2} = 34,6$  kA, ale dla przęsła o długości o 6 m dłuższych krytyczna wartość dwufazowego prądu zwarciovego maleje już do wartości 21,7 kA.

### Wpływ innych czynników na wielkość odstęp powietrzny między poruszającymi się przewodami

Spośród innych czynników mających wpływ na wielkość odstępów powietrznych między poruszającymi się przewodami największe znaczenie mają [4]: początkowa odległość między fazami  $a$  oraz „sztywność” konstrukcji wsporczych wyrażana zastępczym współczynnikiem sprężystości  $S$  [7]. Ponieważ najbardziej wrażliwe na zmiany ww. parametrów są przęsła o długości 30 m i większej, poniżej przedstawiono wyniki obliczeń dla przęsła o długości 36 m i dla prądu  $I''_{k2} = 34,6$  kA.

W tabeli 2 porównano minimalne odległości między poruszającymi się przewodami przy zmianie początkowego odstępów między fazami w granicach od 2 do 3 m.

Tabela 2. Wpływ początkowego (stacynowego) odstępów między fazami na minimalną odległość między poruszającymi się przewodami

Dane wejściowe do obliczeń					
$a$	m	2,0	2,2	2,5	3,0
Wyniki obliczeń					
$d_{min}$	m	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,076</b>	0,82
Pozostałe dane jak w tablicy 1					

Widać, że ze wzrostem odległości wzrasta minimalny odstęp między wychylającymi się przewodami. Z tabeli 2 wynika, że zwiększając w analizowanym przypadku odległość między fazami powyżej 2,5 m można znacznie zmniejszyć niebezpieczeństwo zwarć wtórnych. Oczywiście rozwiązanie takie może dotyczyć tylko rozdzielni nowoprojektowanych i tylko wtedy, gdy inwestor ma do dyspozycji odpowiednią ilość terenu.

Zgodnie z wynikami przedstawionymi w [7] współczynnik sprężystości  $S$  dla typowych konstrukcji wsporczych w rozdzielniach WN wynosi: ok.  $4,4 \cdot 10^5$  N/m w przypadku układu bramek szyn zbiorczych rozdzielni dwusystemowej w układzie grzebieniowym, ok.  $3,5 \cdot 10^5$  N/m lub  $4,1 \cdot 10^5$  N/m w przypadku układu bramek szyn zbiorczych rozdzielni

trójsystemowej w układzie grzebieniowym i ok.  $4,5 \cdot 10^5$  N/m w przypadku rozdzielni w układzie kilowym. Podane wartości to łączna sprężystość konstrukcji znajdujących się po obu stronach przęsła. W przypadku pojedynczej konstrukcji wsporczej wartość współczynnika sprężystości wynosi ok.  $8,8 \cdot 10^5$  N/m (w rozdzielni dwusystemowej w układzie grzebieniowym). Z badań zagranicznych wynika, że współczynniki sprężystości mogą dla różnych konstrukcji przyjmować wartości od  $10^5$  do  $10^7$  N/m [8]. Poniżej przedstawiono, jaki wpływ na minimalny odstęp między wychylającymi się przewodami może mieć „sztywność” konstrukcji wsporczych. Dane przyjęte do obliczeń i wyniki obliczeń podano w tabeli 3.

Tabela 3. Wpływ współczynnika sprężystości konstrukcji wsporczych na minimalne odstępki spowodowane wychyleniami przewodów

Dane wejściowe do obliczeń					
S	N/m	$0,8 \cdot 10^5$	$4,4 \cdot 10^5$	$8,8 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^7$
Wyniki obliczeń dla przęsła 27 m przy prądzie $I_{k2}'' = 21,7$ kA					
$d_{min}$	m	0,73	1,09	1,1	1,24
Wyniki obliczeń dla przęsła 36 m przy prądzie $I_{k2}'' = 21,7$ kA					
$d_{min}$	m	<b>0,05</b>	0,73	1,95	1,72
Wyniki obliczeń dla przęsła 27 m przy prądzie $I_{k2}'' = 34,6$ kA					
$d_{min}$	m	<b>0</b>	0,68	87,9	1,14
Wyniki obliczeń dla przęsła 36 m przy prądzie $I_{k2}'' = 34,6$ kA					
		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,32</b>	<b>0,35</b>
Pozostałe dane jak w tablicy 1					

Największa wartość współczynnika sprężystości ( $S = 5 \cdot 10^7$  N/m) odpowiada sytuacji, w której obie konstrukcje wsporcze przęsła są praktycznie sztywne. Sytuacja taka mogłaby mieć miejsce wtedy, gdy przez sąsiednie przęsła szyn zbiorczych płynęłyby te same prądy, powodując takie same wychylenia przewodów. Siły działające wówczas na konstrukcję wsporczą równoważyłyby się – nie powodując jej wychyleń. Sytuacja taka w przęsłach rozdzielni jest jednak mało prawdopodobna i uwzględnienie jej w analizie ma jedynie charakter ilustracyjny.

Wyniki przedstawione w tabeli 3 wskazują, że wartość współczynnika sprężystości konstrukcji wsporczych może mieć istotny wpływ na maksymalne zbliżenia przewodów.

W przypadku przęsła o długości 27 m i prądzie początkowym 21,7 kA nie istnieje niebezpieczeństwo nadmiernego zbliżenia przewodów w całym zakresie analizowanych wartości  $S$ . Dla takich samych przęsła, ale przy prądzie początkowym 34,6 kA (zwarcie dwufazowe) niebezpieczeństwo nadmiernego zbliżenia przewodów nie istnieje w przypadku konstrukcji wsporczych o łącznym współczynniku sprężystości nie mniejszym niż  $4,4 \cdot 10^5$  N/m. Podobnie jest dla przęsła o długości 36 m i prądu początkowego  $I_{k2}'' = 21,7$  kA. Przy prądzie 34,6 kA przęsła o długości 36 m są narażone na zwarcia wtórne w całym zakresie analizowanych wartości  $S$ . Wniosek z tego jest bardzo prosty – dla przęsła w rozdzielniach WN i NN należy projektować w miarę możliwości konstrukcje wsporcze „sztywne”.

### Propozycje sposobów opanowania skutków oddziaływań elektrodynamicznych w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN

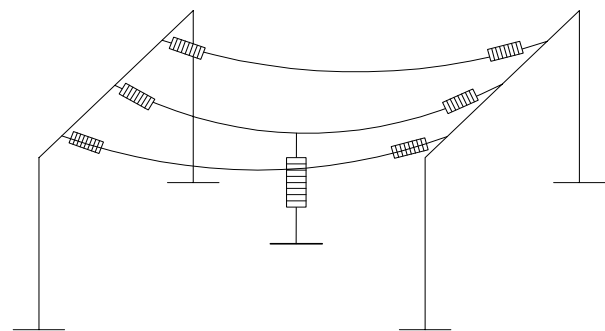
Wyniki powyższych i innych analiz [4, 5, 6] pozwalają na wskazanie całego szeregu środków powodujących zmniejszenie wychyleń przewodów wskutek zwarcia.

Dla uniknięcia nadmiernych zbliżeń między fazami można:

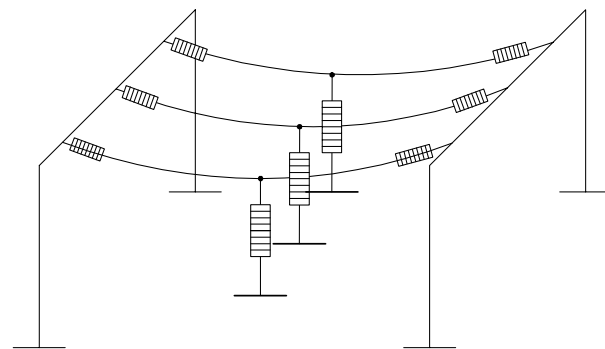
- zwiększyć odstęp statyczny między fazami,
- zmniejszyć długość przęsła,
- zwiększyć naciąg statyczny,
- zmniejszyć długość przęsła poprzez zastosowanie odstępników (rys. 4),
- „unieruchomić” wszystkie fazy w środku przęsła przy pomocy izolatorów wsporczych (rys.3),
- zmienić geometrię oszynowania poprzez obniżenie i zamocowanie szyny w fazie środkowej (rys.2),
- usztywnić konstrukcję wsporczą poprzez zastosowanie odciągów,
- zastosować specjalne mocowanie szyn do konstrukcji wsporczych, poprzez elementy pośredniczące (rys.5).

Dwa pierwsze spośród wyżej wymienionych sposobów można stosować w czasie projektowania nowych rozdzielni. Pozostałe można stosować przy modernizacjach rozdzielni, mających na celu przystosowanie ich do pracy przy większych prądach zwarciovych. Oczywiście większość z wyżej wymienionych sposobów posiada oprócz zalet także wady. Przykładowo, powiększenie odstępów między fazami spowoduje zwiększenie przestrzeni zajętej przez rozdzielnię, a zwiększenie siły naciągu statycznego spowoduje zwiększenie obciążeń konstrukcji wsporczych, izolatorów i osprzętu. Stosowanie odstępników między fazami staje się realne dopiero z rozwojem technologii produkcji lekkich izolatorów kompozytowych – przypomnijmy, że odległości między fazami w rozdzielniach WN i NN zaczynają się od 2,2 m.

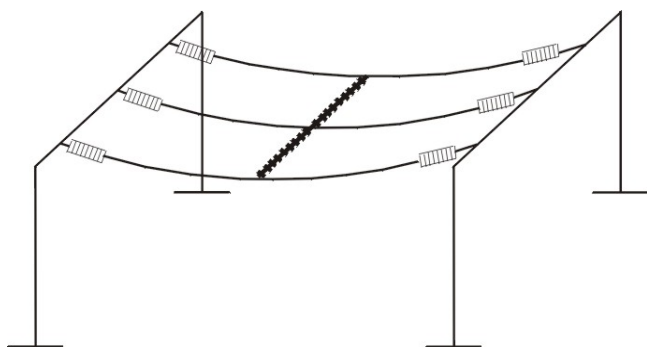
Decydując się na rozwiązanie problemu nadmiernych zbliżeń przewodów przez zastosowanie odstępników lub „kotwiczenie” faz przy pomocy izolatorów wsporczych należy rozważyć czy nie pogorszy to własności izolacyjnych całego układu w normalnych warunkach pracy.



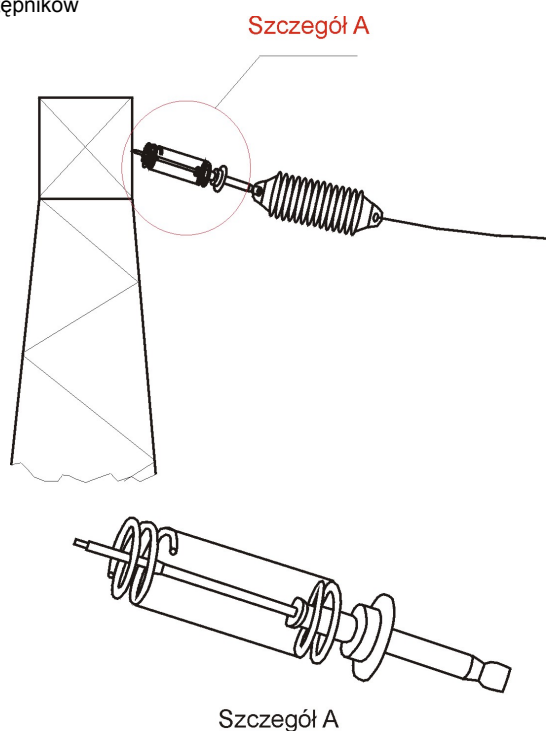
Rys.2. Zmiana geometrii układu oszynowania przez obniżenie i zamocowanie fazy środkowej



Rys.3. Zmniejszenie długości przęsła przez zastosowanie dodatkowych izolatorów



Rys.4. Zmniejszenie długości przęsła poprzez zastosowanie odstępników



Rys. 5. Mocowanie przewodów do konstrukcji wsporczych za pośrednictwem elementu tłumiącego

Z tego też między innymi powodu dosyć interesujący wydaje się pomysł ograniczenia skutków mechanicznych prądu zwarciovego (także dynamicznego zmniejszenia odstępów powietrznych między fazami) w oszynowaniu giętkim rozdzielni poprzez zastosowanie mocowania przewodów do konstrukcji wsporczych za pośrednictwem specjalnego „amortyzatora” (rys. 5) [9].

Program WASP ułatwia dobór takich urządzeń. W tabeli 4 porównano wyniki obliczeń minimalnego zbliżenia między fazami dla czterech przęseł o różnych długościach z wynikami obliczeń dla takich samych przęseł, ale wyposażonych w urządzenia tłumiące. Analizując wyniki z tabeli 4 łatwo zauważyć, że mocowanie szyn giętkich do konstrukcji wsporczych za pośrednictwem odpowiednio dobranych urządzeń tłumiących, może znacznie poprawić zachowanie całego przęsła w warunkach zwarciovych oraz znacząco ograniczyć skutki mechaniczne prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN a zatem także nadmierne zbliżenie przewodów.

Tabela 4. Wpływ urządzenia tłumiącego na minimalny odstęp między fazami w czasie ruchu przewodów spowodowanego prądem zwarciovym

Dane wejściowe do obliczeń									
		Przęsło bez tłumienia				Przęsło z tłumieniem			
L	m	30	36	40	45	30	36	40	45
Wyniki obliczeń przy prądzie 40 kA ( $I_{k2}'' = 34,6$ kA)									
$d_{min}$	m	0,25	0	0	0	1,32	1,1	0,87	0,72

## Wnioski

W wyniku zwiększania się poziomu prądów zwarciovych w rozdzielniach WN i NN, w niektórych konstrukcjach przęseł tych rozdzielni może dojść do nadmiernych wychyleń przewodów tworzących oszynowanie sąsiednich faz. Konsekwencją tego może być gwałtowne zbliżenie się przewodów na niedopuszczalną odległość i powstanie tzw. zwarć wtórnych. Odpowiednio projektując nowe przęsła lub modernizując już istniejące, możliwe jest trwałe wyeliminowanie powstania wyżej wymienionych sytuacji.

## LITERATURA

- [1] Lilien J.L., Contraintes et conséquences électromécaniques liées au passage d'une intensité de courant dans les structures en câbles. *Thèse de doctorat., collection des publications nr 87*, (1983), Université de Liège
- [2] Markiewicz H., Urządzenia elektroenergetyczne. (2001), WNT, Warszawa, 146
- [3] Nartowski Z., Stacje elektroenergetyczne 110-750 kV., (1984) WNT, Warszawa. 133-140
- [4] Szadkowski M., Metoda obliczania skutków mechanicznych prądu zwarciovego w oszynowaniu giętkim rozdzielni WN. *Praca doktorska*, (1989), Politechnika Śl., Gliwice
- [5] Szadkowski M., Bartodziej G., Influence of Span Length on Mechanical Effects Due to Short-Circuit Current In Flexible Busbar Systems of High Voltage Switching Station. *Proc. Of 10<sup>th</sup> International Symposium "Short-Circuit Currents in Power Systems"*, (2002), Łódź
- [6] Szadkowski M., Przygodzki M.: Nowe możliwości analiz w nowym programie WASP, *VI Konf. Nauk.-Techn.: „Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice – ZkwE'2001”*, (2001), Poznań/Kiekrz, 299-302
- [7] Gołabek J., Kopia A., Szadkowski M., Metoda obliczania efektów mechanicznych działania prądu zwarciovego oraz współczynników sprężystości konstrukcji wsporczych w rozdzielniach WN. *Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej*, 68. Konf. 23. (1986), WPW Wrocław
- [8] Lilien J.L., Brokamp L., Mechanical effects of short-circuit currents in substations with a strain bus system parameter analysis and simple method of calculation, *CIGRE Symposium 06-85*, 330-07 (1985), Bruksela
- [9] Szadkowski M., Komputerowa analiza wpływu elementu tłumiącego na skutki mechaniczne prądu zwarciovego. *Mat. VIII Konf. Nauk.-Techn. Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice – ZkwE'2003*, (2003), Poznań/Kiekrz, 231-234
- [10] *International Standard IEC 865-1*, Short-circuit currents- Calculation of effects, Part 1: Definitions and calculation methods

**Autor:** dr inż. Marek Szadkowski, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. Krzywoustego 2, 40-100 Gliwice, E-mail: [marek.szadkowski@polsl.pl](mailto:marek.szadkowski@polsl.pl)