

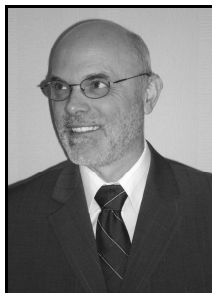
**Marek SZADKOWSKI**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI I STEROWANIA UKŁADÓW

**Szynoprzewody w izolacji stałej**

Dr inż. Marek SZADKOWSKI

Adiunkt na Wydziale Elektrycznym. Pracownik Zakładu Wysokich Napięć. Współautor książki Wysokonapięciowa Technika Izolacyjna w Przykładach Obliczeniowych. Autor ponad 70 publikacji z zakresu skutków mechanicznych prądu zwarciowego oraz wysokonapięciowej techniki izolacyjnej.



e-mail: marek.szadkowski@polsl.pl

**Streszczenie**

W referacie zaprezentowano wybrane wyniki pomiarów różnych parametrów prototypów szynoprzewodów z izolacją stałą. Prezentowane poniżej szynoprzewody różnią się od istniejących już na rynku z uziemioną obudową (ekranem). Jest to trudny do zaprojektowania i skonstruowania tor prądowy m.in. ze względu na wysoki poziom wyładowań niepełnych już przy niedużych napięciach.

**Słowa kluczowe:** wyładowania niepełne, tor prądowy, szynoprzewód, izolacja stała.

**Busbars with solid insulation****Abstract**

Chosen measuring results related to partial discharges and volume resistance of specific busbars are presented in the article. These busbars differ from existent one at the market from earthing enclosure (screen). Such a current path is difficult to design and construct among other things by reason of high level of partial discharges even under relatively low voltages. The next problem consists in tendency to growth of volume resistance of busbar insulation depending on the length of the path. Propositions how these faults can be limited are considered at the end of the article.

**Keywords:** busbars, solid insulation, volume resistance, partial discharges, construct.

**1. Wstęp**

Szynoprzewody, czyli tory prądowe przeznaczone do przewodzenia bardzo dużych prądów, budowane są od kilkudziesięciu lat. W międzyczasie technologia produkcji tych urządzeń ulegała bardzo poważnym zmianom. Obecnie podejmuje się próby budowy szynoprzewodów w izolacji stałej. W Polsce konstrukcję i produkcję tego typu torów prądowych podjęła jedna z firm. Opracowany przez tę firmę prototyp szynoprzewodu zbudowany jest z: szyn miedzianych, specjalnego tworzywa stanowiącego izolację, izolatorów przepustowych, elementów kompensujących i aluminiowej obudowy. Kompaktowa, zamknięta budowa eliminuje wpływ czynników zewnętrznych (takich jak kurz, wilgoć, korozja itp.). Według producenta, szynoprzewód taki można z powodzeniem stosować w miejscach gdzie dotychczas używane były kable lub przewody szynowe o izolacji powietrznej. Szynoprzewód w izolacji stałej można stosować do zasilania zarówno podstawowego jak i rezerwowego. Do głównych zalet takiego szynoprzewodu zalicza się: bardzo małe gabaryty, odporność na działanie szkodliwych substancji, bezobsługowość, dużą niezawodność, możliwość adaptacji do różnych warunków, trwałość.

Jednym z poważniejszych problemów przed jakim stoją konstruktorzy szynoprzewodów z izolacją stałą są intensywne wewnętrzne wyładowania niepełne (wnz), pojawiające się już przy niewielkim napięciu rzędu kilku kilowoltów. Między innymi z tego powodu większość producentów tego typu torów prądowych buduje je jako izolowane od ziemi. Poniżej zaprezentowano

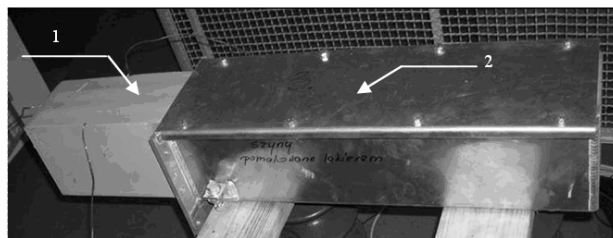
wybrane wyniki pomiarów uzyskane w czasie badania szynoprzewodu w izolacji stałej z uziemioną obudową. Dzięki modyfikacjom konstrukcji udało się w dużym stopniu ograniczyć wnz oraz wyeliminować inną wadę szynoprzewodów w izolacji stałej – silny wpływ długości szynoprzewodu na rezystancję skrośną izolacji.

**2. Obiekt badań**

Badaniom poddano cztery różne rozwiązania konstrukcyjne elektroenergetycznego przewodu osłoniętego w izolacji stałej zwanego dalej szynoprzewodem. Badano m.in. wpływ zmian konstrukcji (patrz SZP1, SZP2, SZP3 i SZP4) na poziom i rodzaj wyładowań niepełnych pojawiających się w tych konstrukcjach oraz na rezystancję skrośną izolacji stałej. Badane szynoprzewody posiadały jednakowe gabaryty (wymiary) ale różniły się pewnymi elementami takimi jak: sposób izolowania torów prądowych oraz posiadanie lub nie specjalnego ekranu umieszczonego między zewnętrzną warstwą materiału izolacyjnego a obudową „szynoprzewodu”. Konstrukcje oznaczono w następujący sposób:

- ✓ SZP1 - konstrukcja bez dodatkowego ekranu ale z dodatkową izolacją torów prądowych (szyn) w postaci osłon termokurczliwych,
- ✓ SZP2 - konstrukcja niezmodyfikowana tzn. bez dodatkowego ekranu i z szynami bez dodatkowej izolacji,
- ✓ SZP3 - konstrukcja bez dodatkowego ekranu ale z szynami pomalowanymi lakierem izolacyjnym,
- ✓ SZP4 - konstrukcję z dodatkowym ekranem ale bez dodatkowej izolacji szyn.

Wszystkie badane odcinki szynoprzewodu posiadały długość 1,15 m w tym 0,7 m w obudowie (rys. 1). W celu eliminacji zakłóceń towarzyszących pomiarom wnz, z badanego szynoprzewodu, na długości 35 cm, usunięto przewodzącą obudowę zewnętrzną (rys. 1).



Rys. 1. Prototyp szynoprzewodu z izolacją stałą  
1. Izolacja stała, 2. Obudowa szynoprzewodu  
Fig. 1. Prototype of busbar with solid insulation  
1. Solid insulation, 2. Busbar casing

Ponieważ fragmenty szynoprzewodu dostarczone do badań były pozbawione osprzętu (w postaci głowic i muf), należało je odpowiednio przygotować do pomiarów. W odkrytej części izolacji stałej umieszczono przewody miedziane, połączone jednym końcem z określonym torem prądowym szynoprzewodu, a drugim końcem z układem pomiarowym.

**3. Pomiary****3.1. Pomiary rezystancji skrośnej izolacji stałej**

Pomiary rezystancji skrośnej, i innych parametrów izolacji stałej szynoprzewodów wykonano przy użyciu miernika rezystancji izolacji TERA OHM 5kV MI2077.

Temperatura otoczenia w czasie pomiarów wynosiła 21<sup>o</sup>C. Wyniki pomiarów rezystancji zestawiono w tabeli 1. Z porównania danych zawartych w tabeli 1 wynika, że najlepsze parametry układu izolacyjnego posiada szynoprzewód oznaczony symbolem SZP1. Jest to konstrukcja, w której na szynach (przed zalaniem izolacją stałą) umieszczono osłony termokurczliwe.

Tab. 1. Wyniki pomiaru rezystancji skrośnej izolacji szynoprzewodów w izolacji stałej

Tab. 1. Results of measurement of volume resistance of insulation of busbars with solid insulation

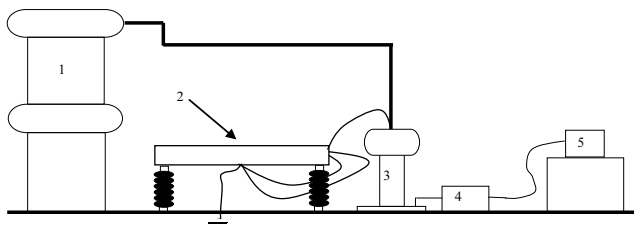
Miejsce pomiaru →		L1-E	L2-E	L3-E	L1-L2	L1-L3	L2-L3
SZP1	R <sub>15</sub> w GΩ	1,55	1,23	1,47	1,77	2,44	1,82
	R <sub>60</sub> w GΩ	1,58	1,26	1,48	1,81	2,50	1,89
SZP2	R <sub>15</sub> w MΩ	27,00	29,80	24,80	26,30	43,10	26,00
	R <sub>60</sub> w MΩ	27,00	29,90	24,90	26,20	43,20	26,00
SZP3	R <sub>15</sub> w MΩ	36,30	37,70	33,50	35,70	62,40	34,70
	R <sub>60</sub> w MΩ	36,40	37,90	33,60	36,40	63,40	35,40
SZP4	R <sub>15</sub> w MΩ	28,40	33,90	26,20	35,50	48,20	36,40
	R <sub>60</sub> w MΩ	28,40	33,90	26,20	35,50	48,30	36,50

UWAGA: R<sub>15</sub> – Rezystancja skrośna po 15 s pomiaru,  
R<sub>60</sub> – rezystancja skrośna po 60 s pomiaru.

### 3.2. Pomiary wyładowań niezupełnych

Wszystkie pomiary wnz wykonywano w klatce Faradaya, wyposażonej w autonomiczny system uziemienia. Układ pomiarowy (rys. 2) był odseparowany od sieci zasilającej.

Pomiary wnz wykonywano z pomocą detektora TE 571 w trybie „analiza” (analysis). Pomiary w tym trybie polegają na rejestracji w określonym czasie bardzo dużej liczby parametrów charakteryzujących wyładowanie niepełne. Uzyskane wyniki są podstawą do zbudowania tzw. „odcisku wnz” (ang. fingerprint). Prezentowane poniżej wyniki uzyskiwano w czasie 2 min. dla każdej próby pomiarowej. W tabeli 2 zestawiono najbardziej istotne dla niniejszego referatu parametry wnz (napięcia zapłonu i gaśnięcia wnz oraz maksymalny ładunek pozorny) zmierzone dla czterech różnych konstrukcji szynoprzewodu.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego: 1 – transformator próbniczy, 2 – badany szynoprzewód, 3 – kondensator sprzęgający,

Fig. 2. Scheme of the measuring system: 1 - testing transformer, 2 - tested busway, 3 - coupling condenser, 4 - coupling four-terminal network AKV 573, 5 - detector TE 571

Z analizy tak zestawionych wyników wyraźnie wynika, że najmniejszy poziom wnz lub zupełny brak tych wyładowań występował we wszystkich konstrukcjach dla fazy (szyny) środkowej.

Jeżeli takie wyładowania się pojawiały to dopiero powyżej napięcia 11 kV i ich poziom był bardzo niski – do kilkudziesięciu pC. Nasuwa się tu zatem istotny wniosek – w celu zmniejszenia lub wyeliminowania wnz w rozpatrywanych szynoprzewodach przy planowanych napięciach znamionowych 6 lub 12 kV izolacja szyn musi być odpowiednio zaprojektowana. Należy przede wszystkim przewidzieć odpowiednie grubości dielektryka między fazami (szynami) skrajnymi a obudową. Dla badanych konstrukcji było to odpowiednio 20 i 10 mm. Zwiększenie tej grubości do 35 mm da prawdopodobnie pożądany efekt nawet bez konieczności stosowania innych zabiegów konstrukcyjnych. Oczywiście twierdzenie to wymaga eksperymentalnego sprawdzenia co jest przewidywane w niedalekiej przyszłości.

Tab. 2. Wybrane parametry wnz w różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych szynoprzewodów z izolacją stałą

Tab. 2. Chosen parameters PDs in different solutions of constructional busbars with solid insulation

Szynoprzewód	Miejsce pomiaru	U <sub>z</sub> w kV	U <sub>g</sub> w kV	Q <sub>9max</sub> w pC	Q <sub>15max</sub> w pC
SZP1	L1-E	6,5	6,5	336,0	366,0
	L2-E	12,5	11,0	0,0	2,0
	L3-E	7,5	4,5	244,0	356,0
SZP2	L1-E	8,0	4,8	220,0	408,0
	L2-E	9,0	3,0	1,0	2,0
	L3-E	6	3	152,0	364,0
SZP3	L1-E	8,0	6,5	348,0	416,0
	L2-E	11,5	10,0	0	49,0
	L3-E	8,0	6,5	344,0	388,0
SZP4	L1-E	9,0	6,0	1,0	380,0
	L2-E	11,0	10,0	0	2,6
	L3-E	8,5	7,5	136,0	244,0

UWAGA: U<sub>z</sub> i U<sub>g</sub> – odpowiednio napięcie zapłonu i gaśnięcia wnz,  
Q<sub>9max</sub> i Q<sub>15max</sub> – odpowiednio maksymalny ładunek pozorny przy napięciu 9 i 15 kV

### 4. Wnioski

Z analizy przedstawionych powyżej wyników pomiarów wynika, że przystępując do projektowania i budowy toru prądowego w postaci szynoprzewodu z izolacją stałą niezbędne jest uwzględnienie izolacji uwarstwionej szeregowo, złożonej co najmniej z dwu odpowiednio dobranych dielektryków.

Poziom wyładowań niezupełnych zdecydowanie zależy od grubości dielektryka (natężenia pola elektrycznego) między elektrodami. Zwiększenie odległości między szynami skrajnymi (fazy L1 i L3) a obudową może skutkować wyraźnym zmniejszeniem poziomu wnz. Wniosek ten powinien być potwierdzony dodatkowymi badaniami.

### 5. Literatura

- [1] Z. Gacek, M. Szadkowski, G. Malitowski: Analiza wyładowań niezupełnych w szynoprzewodach z izolacją stałą. Przegląd Elektrotechniczny - Konferencje, /2008.