

Henryk Boryń, Stanisław Wojtas, Adam Rynkowski

WPŁYW KONSTRUKCJI EKRANU ZEWNĘTRZNEGO NA WŁASNOŚCI
ELEKTRYCZNE KRAJOWYCH KABLI O IZOLACJI POLIETYLENEWEJ

1. Wstęp

W krajowych kablach elektroenergetycznych o izolacji polietylenowej zewnętrzny ekran wykonuje się zwykle w postaci obwoju z półprzewodzących taśm nawiniętych na zakładkę na pografitowanej powierzchni izolacji. Na tak wykonany ekran nawija się żyłę powrotną z dwu miedzianych taśm, bądź kilkunastu drutów i jednej taśmy. Podobną konstrukcją ekranu zewnętrznego mają również niektóre zagraniczne kable średnich napięć o izolacją wytłaczaną.

W takiej konstrukcji ekranu zewnętrznego stosunkowo łatwo dochodzi do rozwoju wyładowań niezupełnych (wnz) w miejscach rozluźnionego styku powłok półprzewodzących i żyły powrotnej przy czym okresowe nagrzewanie i studzenie kabla sprzyja rozluźnieniu spójności ekranu. Publikowane wyniki badań [4] wskazują, że wnz powodują stopniową degradację warstw półprzewodzących i powierzchni polietylenu, prowadząc do przerwania izolacji kabla na zasadzie mechanizmu erozyjnego.

Rozpatrując problem obecności wnz w zewnętrznych warstwach kablów należy wziąć pod uwagę wpływ dwu czynników konstrukcyjnych: sposobu wykonania żyły powrotnej oraz typu taśmy półprzewodzącej zastosowanej na ekran. Wielkość szczelin gazowych, a tym samym intensywność wnz, może zależeć od sposobu wykonania żyły powrotnej - żyła drutowa lub taśmowa. Typ taśmy półprzewodzącej, a dokładniej jej właściwości

dr inż. Henryk Boryń, dr inż. Stanisław Wojtas, dr inż. Adam Rynkowski
- Instytut Wysokich Napięć i Aparatów Elektrycznych Politechniki Warszawskiej.

chemiczne mogą również decydować o intensywności wyładowań i szybkości procesu degradacji. Zmniejszenie wnz można uzyskać przez zastosowanie taśmy o dobrej elastyczności /mniejsze szczeliny/ i dużej przewodności elektrycznej. Zasadnicze znaczenie powinna mieć jednak odporność taśmy na działanie wnz, których zupełne wyeliminowanie jest w takiej konstrukcji ekranu bardzo trudne.

Celem niniejszej pracy jest weryfikacja wniosków w sprawie wpływu konstrukcji żyły powrotnej i ekranu zewnętrznego na własności elektryczne krajowych kabli elektroenergetycznych średnich napięć o izolacji polietylenowej.

2. Wyniki badań

Do badań wpływu sposobu wykonania żyły powrotnej na intensywność wyładowań niezupełnych rozwijających się w ekranie zewnętrznym wybrano kable 15 kV o przekrojach 70 i 120 mm² z żyłą powrotną drutową /YHdAKX/ oraz z żyłą powrotną taśmową /YHAKX/.

Żyła powrotna drutowa składa się z 18 drutów miedzianych ułożonych na taśmach półprzewodzących i jednego obwoju taśmy miedzianej łączącej druty. Żyła taśmowa ma postać obwoju z dwóch taśm miedzianych. W obu typach kabli ekran zewnętrzny był wykonany z papieru półprzewodzącego.

Po 4 odcinki kabli o długości pomiarowej 4,75 m zakończono laboratoryjnymi głowicami, wolnymi od wyładowań niezupełnych do napięcia 36 kV przy czułości pomiarowej 0,4 pC [1]. W tak przygotowanych próbkach mierzono napięcie zapłonu wyładowań niezupełnych oraz wartości ładunku pozornego wyładowań przy napięciu próbierczym 21,6 kV /2,5 U₀/. Wartości średnie mierzonych wielkości podano w tabeli 1.

Lokalizację wnz w badanych odcinkach kabli wykonano zgodnie z metodą podaną w [2], stwierdzając, że obserwowane wyładowania rozwijają się w zewnętrznych warstwach ekranujących kabli.

Zestawione wartości wskazują wyraźnie, że kabel z taśmową żyłą powrotną charakteryzuje się prawie 2-krotnie mniejszym napięciem zapłonu wyładowań, większymi wartościami ładunku pozornego wnz oraz wyższym o dwa rzędy wielkości wskaźnikiem technologii wykonania niż kabel z żyłą powrotną o konstrukcji drutowej.

Tabela 1

Wpływ konstrukcji żyły powrotnej na parametry wyładowań
niezupełnych w odcinkach kabli 15 kV z ekranem papierowym

Lp.	Typ kabla	Żyła powrotna	S	U_z	q_m	q_s	J
			mm ²	kV	pC	10 ³ pC	10 ³ pC/kV/m
1	YHAKX	taśmowa	70	10,2	67	32	54,5
2	YHAKX	taśmowa	120	5,8	150	163	225
3	YHdAKX	drutowa	70	14,0	60	4,6	0,9
4	YHdAKX	drutowa	120	10,5	117	3,9	2,6

Oznaczenia :

U_z - napięcie zapłonu wyładowań przy czułości pomiarowej 4 pC

S - przekrój żyły roboczej ; q_m , q_s - ładunek maksymalny i suma ładunków pozornych wyładowań przy napięciu $2,5 U_0$; J - wskaźnik technologii wykonania kabla, równy

$$J = q_{sU} \frac{U - U_z}{2 l} \left[\frac{\text{pC kV}}{\text{m}} \right], \text{ gdzie } q_{sU} \text{ oznacza sumę odcinka}$$

kabla. Wskaźnik J ma wymiar energii wydzielonej przez wyładowania niezupełne w odcinkach jednostkowych kabla. Kable o dobrej technologii wykonania mają niski wskaźnik J.

Wpływ rodzaju zewnętrznej taśmy półprzewodzącej kabla na jego wytrzymałość długotrwałą badano na przykładzie kabli z drutową żyłą powrotną. Rozpatrywano kable z następującymi taśmami półprzewodzącymi : papierową oznaczoną jako A, tekstylną z wprasowanym grafitem - B oraz tekstylną z wprasowaną mieszaniną kauczuku i sadzy - C.

Wyniki badań żywotności kabli z ekranami zewnętrznymi
wykonanymi z różnych taśm półprzewodzących

U_n [kV]	S [mm ²]	Rodzaj taśmy	U [kV]	Parametry rozkładów do przebi- cia		Parametry wnz		
				T_0 [h]; a	U_z [kV]	q_s [pC]	q_s [10 ³ pC]	
15	120	A	34,6	753	2,8	1,4 U_0	65	16
15	120	B	34,6	998	2,9	1,6 U_0	36	9
20	70	C	38,8	2500	-	1,6 U_0	34	14

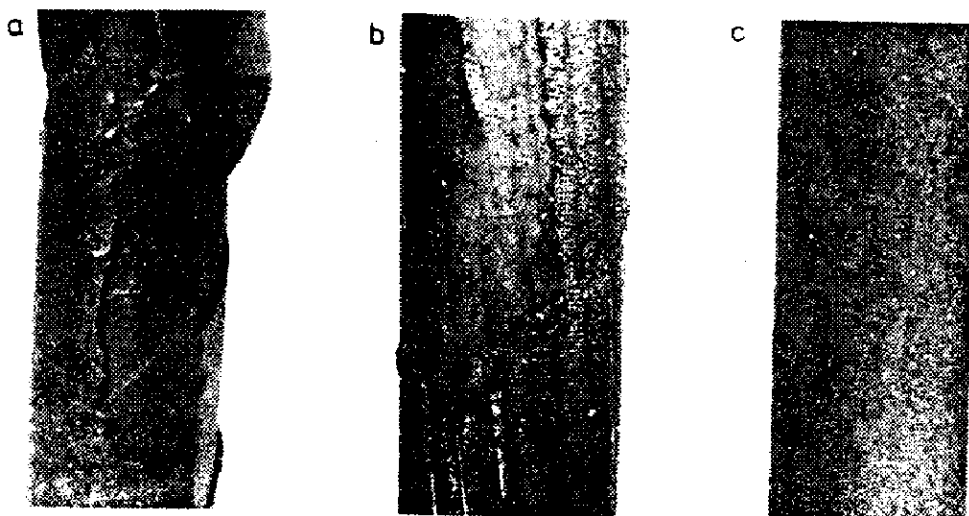
Oznaczenia jak w tabeli 1 oraz T_0 ; a - parametry skali i kształtu wg statystyki Weibulla.

Przytoczone w tabeli 2 parametry wyładowań niezupełnych zostały pomierzone przy $2,5 U_0$ przed próbami długotrwałymi i wskazują, że izolacja poszczególnych typów kabli była narażona na wyładowania o zbliżonej intensywności.

Czas próby napięciowej wynosił 2500 godzin. Największą wytrzymałością charakteryzowały się kable z taśmą typu C przez 2500 godzin nie zanotowano przebiccia.

W trakcie prób napięciowych długotrwałych obserwowano stopniowe obniżanie się napięcia progu wyładowań niezupełnych i wzrost ładunku pozornego wyładowań. Dotyczy to kabli z taśmami A i B, np. dla kabla z taśmą B napięcie U_z zmalało po kilkuset godzinach próby z 14 kV /1,4 U_0 / do 6 kV. Parametry wyładowań niezupełnych odcinków kabla z taśmą C praktycznie nie zmieniały się podczas próby. Przyczyną wzrostu intensywności wyładowań niezupełnych jest postępująca degradacja warstw półprzewodzących. Taśma papierowa A ze względu na niewielką elastyczność pęka wskutek zmian objętości kabla poddanego nagrzewaniu. Taśma tekstylna z wprasowanym grafitem B łatwo ulega erozji pod wpływem wyładowań. Najbardziej odporna na wyładowania okazała się taśma z wprasowaną mieszaniną sadzy i kauczuku /C/.

Potwierdzeniem tych uwag są zamieszczone na rysunku 1 fotografie ekranów po próbach napięciowych długotrwałych.

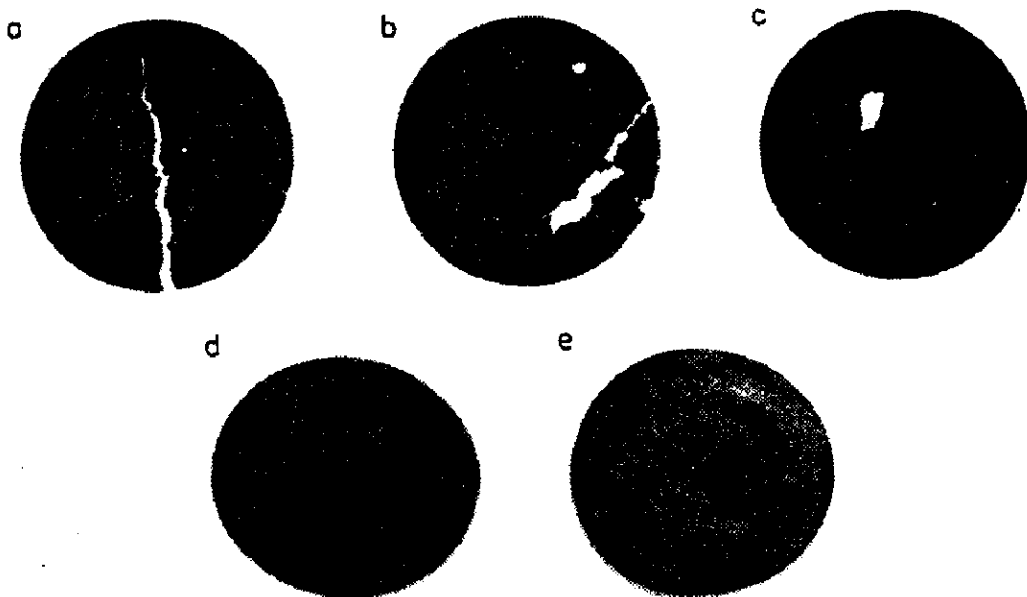


Rys.1. Stan warstw półprzewodzących kabli po próbie napięciowej długotrwałej a - kabel z papierem (A) , b - kabel z taśmą grafitową (B) , c - kabel z taśmą z wprasowaną sadzą (C) .

Próby kabli uzupełniono badaniami modelowymi materiałów półprzewodzących, których celem była ocena ich odporności na działanie wzn. oprócz wymienionych wyżej materiałów półprzewodzących oznaczonych jako A, B i C, badaniom modelowym poddano polietylen półprzewodzący /typ D/ oraz elastyczną taśmę półprzewodzącą firmy Bishop /typ E/ stosowanych w kablach zamkniętych. Wymienione materiały poddano w układzie płaskim długotrwałemu działaniu wyładowań niezupełnych powstających w szczelinie o grubości 0,5 mm przy napięciu 14 kV/mm. Przeprowadzono wizualną ocenę stanu próbek materiału po 50 i 150 godzinach badań.

Papier półprzewodzący A pod wpływem wyładowań staje się kruchy, łamliwy i ulega erozji. Rysunek 2a przedstawia kawałek papieru po 150 godzinach działania wyładowań niezupełnych, który został złamany podczas próby zgięcia. Taśma tekstylna z wprasowanym grafitem (B) w obecności wyładowań ulega dość szybko erozji, a także staje się sztywna i łatwo łamie się oraz rozpada - rys. 2b. Taśma tekstylna z wprasowaną mieszaniną kauczuku z sadzą (C) , mimo że również sztywnieje pod wpływem wyładowań, jest znacznie bardziej odporna na erozję - rys. 2c.

Największą odporność na wyładowania niezupełne wykazują : taśma półprzewodząca z polietylenu (D) oraz taśma importowana (E) . Po próbach nie widoczne jedynie niewielkie, płytkie ślady erozji powierzchniowej - rys. 2d oraz 2e. Materiały te zachowują dobrą elastyczność.



Rys.2. Krążki po 150 godz. działania wnz, a - materiał oznaczony jako A, b - B, c - C, d - D, e - E

Taśma importowana (E) jest taśmą tekstylną pokrytą dość grubą warstwą półprzewodzącego kauczuku butylowego.

3. Wnioski

Kable polietylenowe z żyłą powrotną drutową charakteryzują się mniejszą intensywnością wyładowań niezupełnych w porównaniu z kablami o żyłę powrotnej z taśm.

Kable z ekranem wykonanym z bardziej odpornych na wyładowania niezupełne materiałów półprzewodzących mają dłuższe czasy życia przy napięciu powyżej napięcia progu wyładowań niezupełnych.

Wśród materiałów półprzewodzących stosowanych obecnie w kablach krajowych najlepszymi własnościami charakteryzuje się taśma tekstylna z wprasowaną mieszaniną kauczuku i sadzy. Taśma ta jest jednak znacznie mniej odporna na działanie wyładowań niezupełnych niż podobne materiały produkowane przez przodujące firmy zagraniczne.

Literatura

1. Rynkowski A. : Opracowanie i badanie głowic bezzakłóceńowych dla kabli o izolacji polietylenowej na napięciu znamionowe 15 - 20 kV. Sprawozdanie IWNiAE PG nr 339/76, 1976.
2. Rynkowski A. : Metoda lokalizacji wyładowań niezupełnych występujących na zewnątrz izolacji kabli. "Doświadczenia w zakresie budowy i eksploatacji kablów i linii kablowych średnich i wysokich napięć". BPK i SEP, 1978, Bydgoszcz.
3. Wasilenko E. : Ocena odporności polietylenu na drzewienie elektryczne. Zesz.Nauk. P.G., Elektryka XLV, 1978, nr 289.
4. Wasilenko E., Boryń H., Wojtas S. : Wpływ zewnętrznych wyładowań niezupełnych na żywotność kabli elektroenergetycznych o izolacji polietylenowej. PTETiS oraz AGH, III Symposium "Problemy wznz w układach elektrcizolacyjnych", 1979, Zakopane.