



Marek Olesz*

WPŁYW NAPIĘĆ SKOJARZONYCH — PRZEMIENNYCH I UDAROWYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ DŁUGOTRWAŁĄ IZOLACJI POLIMEROWEJ

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań czasu do przebicia polietylenu kablowego sieciowanego w układzie ostrze- płyta uziemiona przy udarach łączeniowych nakładanych na napięcie przemienne 50 Hz w odstępach czasowych 200 ms i 2 s. Zwiększanie wartości skutecznej napięcia przemiennego współdziałającego ze stałą wartością napięcia udarowego powoduje wzrost, a następnie po osiągnięciu wartości maksymalnej spadek odporności izolacji na rozwój drzewienia. Udry łączeniowe ujemne nałożone na napięcie przemienne dają wolniejszy rozwój wyładowania w polietylenie w stosunku do udarów dodatnich. Fakt ten wynika prawdopodobnie z istnienia ładunku przestrzennego wprowadzanego do izolacji w czasie trwania udarów napięciowych.

Słowa kluczowe: skojarzone napięcie probiercze, badania starzeniowe

1. Wstęp

W warunkach eksploatacyjnych czynnikiem inicjującym wyładowanie niezupełne (wnz) może być przepięcie łączeniowe (udar długi) lub piorunowe nakładające się na napięcie robocze. Badania układów izolacyjnych za pomocą napięć skojarzonych tj. napięcia przemiennego i nałożonych na nie impulsów napięciowych o charakterze udarów łączeniowych lub piorunowych prowadzone są w laboratoriach naukowych od dawna. Początkowo przedmiotem badań wnz była izolacja papierowo-olejowa (IPO). Wpływ skojarzonych napięć udarowych i przemiennych na własności dielektryczne

* Politechnika Gdańska, Katedra Wysokich Napięć, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk

modeli IPO: suchej i zawilgoconej badał między innymi Wesolowski [1], który potwierdził tezę o możliwości przechwytywania przez napięcie robocze — U_{rob} wyładowań niezupełnych inicjowanych przez przepięcie — U_p w zależności od współczynnika przepięć $k_p = U_p/U_{rob}$. Można podejrzewać, że podobne zjawisko przechwytywania przez napięcie robocze wzn inicjowanych udarami może wystąpić w izolacji polimerowej.

Źródłem wyładowań niezupełnych w polimerze mogą być pęcherzyki gazowe wnikające z procesu sieciowania materiału, niejednorodności strukturalne lub zanieczyszczenia stałe. W tych miejscach powstaje lokalny wzrost natężenia pola elektrycznego — E , który może być przyczyną wzn przy przepięciach [2, 3].

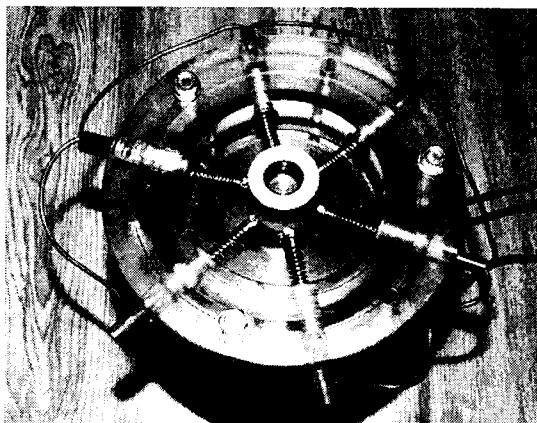
W celu określenia wpływu napięcia udarowego nałożonego na napięcie przemienne na wytrzymałość długotrwałą izolacji zdecydowano się na wykonywanie badań w układzie z polem niejedostajnym: ostrze–płyta uziemiona w polietylenie sieciowanym. Badano tempo rozwoju drzewienia w polimerze na podstawie pomiaru czasu do przebiccia izolacji o grubości 3 mm pod elektrodą ostrzową przy udarach łączeniowych nakładanych na napięcie przemienne.

2. Metodyka badań

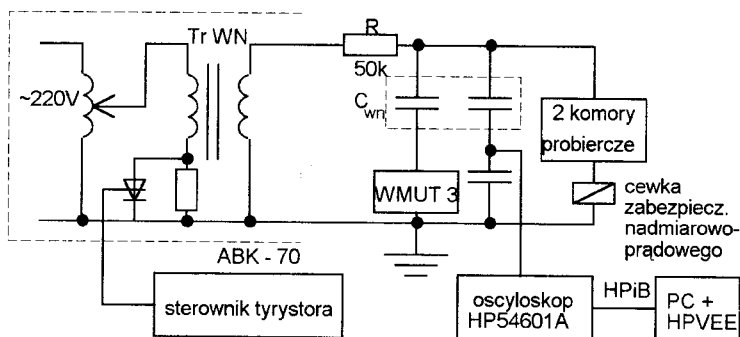
Próbkę izolacji stanowił kabel elektroenergetyczny z polietylenu sieciowanego przycięty na długość 35 mm z usuniętą żyłą roboczą, powrotną i ekranem zewnętrznym, obtoczony zewnątrz do średnicy 34 mm. Igły o promieniu ostrza $5 \mu\text{m}$ selekcjonowane pod mikroskopem o powiększeniu 600 razy wbijano w próbkę na głębokość ograniczoną specjalnym gniazdem w którym była osadzana igła tak by grubość izolacji pomiędzy wierzchołkiem ostrza a ekranem żyły roboczej wynosiła 3 mm. Na obwodzie kabla nakładano w równych odstępach sześć igieł uzyskując 6 próbek w układzie ostrze–płyta uziemiona. Tak przygotowaną próbkę umieszczano na uziemionym pręcie miedzianym w komorze probierczej pokazanej na rysunku 1. Igły dociskano sprężynkami doprowadzającymi wysokie napięcie probiercze oraz kompensującymi ciśnienie wytwarzane w przestrzeni pod igłą w trakcie rozwoju drzewka w izolacji.

Badania próbek izolacji przy udarach łączeniowych nałożonych na napięcie przemienne wykonywano w układzie przedstawionym na rysunku 2. W celu wytwarzania udarów skojarzonych z napięciem przemiennym wykorzystano w obwodzie niskiego napięcia szeregowo połączony z uzwojeniem transformatora rezystor zwierany synchronicznie w regulowanej fazie napięcia przemiennego specjalnie zaprojektowanym łącznikiem tyrystorowym [4]. Nagła zmiana prądu towarzysząca zwarcie rezystancji włączonej w szereg z uzwojeniem transformatora powoduje wygenerowanie impulsu napięciowego po stronie wysokiego napięcia o amplitudzie i czasie narastania zależnych od stałych RLC obwodu i momentu fazowego wyzwolenia tyrystora (rys. 3).

Badano czas do przebiccia przy wartości maksymalnej udaru łączeniowego 18,3 kV na tle napięcia przemiennego o wartościach skutecznych 10,5 kV, 8,8 kV, 5,5 kV, 3 kV, 0,5 kV co odpowiadało przyłączeniu rezystancji odpowiednio 50 Ω , 100 Ω , 220 Ω , 750 Ω , 2,7 Ω . Czas pomiędzy impulsami ustawiano na 200 ms lub 2 s. Udar nakładano na napięcie przemienne po czasie 3,2 ms od chwili przejścia napięcia sinusoidalnego przez zero. Stałą i wysoką wartość szczytową udaru łączeniowego 18,3 kV ustalono



Rys. 1. Komora probiercza z próbką polietylenu kablowego

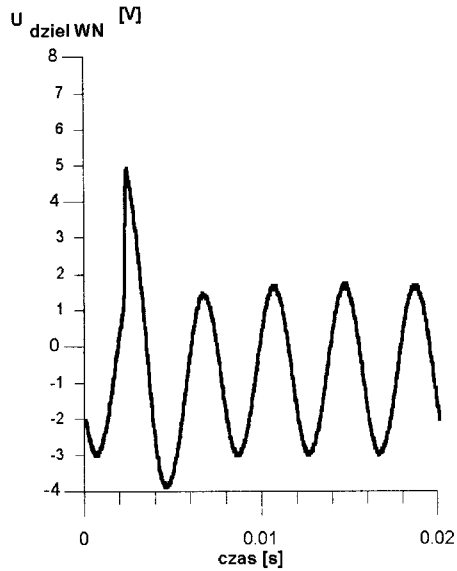


Rys. 2. Układ pomiarowy do prób starzenia przy uderzeniach łączeniowych nałożonych na napięcie przemiennie

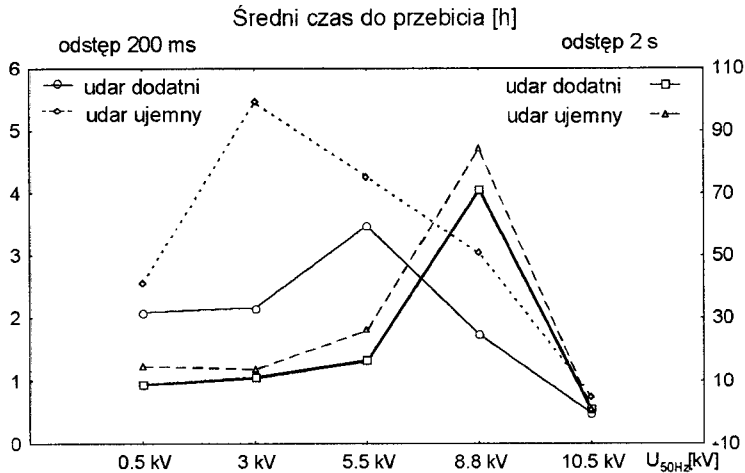
ze względu na skrócenie czasu pomiarów, który obejmował zakres czasu do przebicia w zakresie od kilkunastu minut do trzystu godzin. Obliczano wartość średnią czasu do przebicia oraz odchylenie standardowe z populacji 11 elementowej. Ostatnia, 12 próbka w serii pomiarowej służyła do obserwacji kształtu drzewka elektrycznego w celu ustalenia korelacji z warunkami napięciowymi starzenia.

3. Wyniki badań

Analizując wykres średniego czasu do przebicia w funkcji poziomu napięcia przemiennego dla 200 ms (rys. 5) można zaobserwować wyraźny wzrost odporności izolacji na rozwój drzewienia przy uderzeniach ujemnych nałożonych na napięcie przemiennie, przy czym maksimum występuje przy poziomie napięcia przemiennego 5,5 kV dla uderzeń dodatnich i 3 kV dla uderzeń ujemnych.



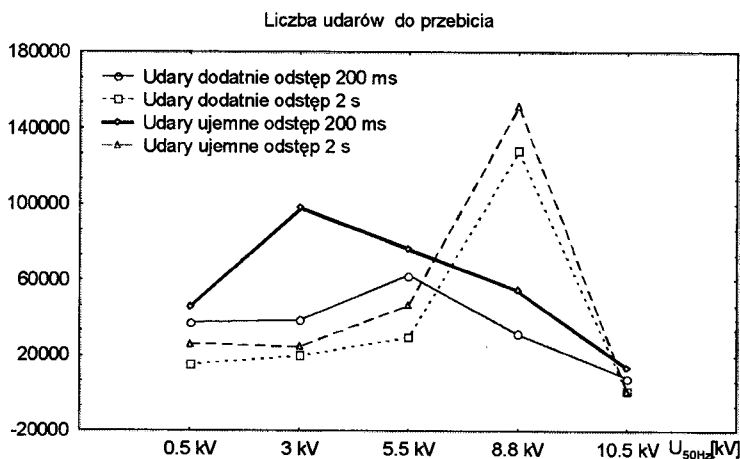
Rys. 3. Udary łączeniowe dodatnie o kształcie $600\ \mu\text{s}/3500\ \mu\text{s}$ nałożone na napięcie przemiennie $50\ \text{Hz}$, amplituda udaru $18,3\ \text{kV}$, wartość skuteczna napięcia przemiennego $6\ \text{kV}$



Rys. 4. Średni czas do przebicia przy udarach łączeniowych $18,3\ \text{kV}$ nałożonych na napięcie przemiennie przy odstępach czasowym pomiędzy udarami $200\ \text{ms}$ i $2\ \text{s}$

Początkowy wzrost odporności izolacji na drzewienie przy narastającej amplitudzie napięcia przemiennego wynika z osłabiania intensywności wyładowań wstecznych z polimeru do igły (tzw. ekstrakcji ładunku) w momencie nagłego zmniejszenia amplitudy napięcia w chwili zakończenia udaru [5]. W tym momencie izolacja naprężana jest różnicą potencjału ładunku przestrzennego i napięcia roboczego. Im różnica ta

mniejsza (większe napięcie robocze) tym bardziej proces ekstrakcji ładunku i równocześnie degradacji izolacji mniejszy. Powyżej napięcia krytycznego wiodącą rolę przejmuje iniekcja ładunku z igły. Wówczas ładunek wstrzyknięty do izolacji w czasie trwania udaru napięciowego nagle zaczyna się zwiększać wskutek dodatkowej iniekcji podczas działania napięcia przemiennego. Większą odporność na drzewienie przy udarach ujemnych można wytłumaczyć łatwiejszym wstrzykiwaniem elektronów z ostrza powodującym kumulowanie ładunku przestrzennego w izolacji wokół ostrza igły. Ładunek ten powoduje zmniejszanie pola elektrycznego wokół igły w czasie trwania udarów napięciowych [6]. Potwierdzeniem tej tezy jest zależność liczby przyłożonych udarów na tle napięcia przemiennego do przebicia izolacji, która w przypadku udarów ujemnych przykładanych co 200 ms jest znacznie większa niż dla udarów dodatnich (rys. 5). Przy 10-krotnie większym odstępzie pomiędzy udarami tj. 2 s średni czas do przebicia izolacji występuje przy poziomie o tej samej wartości napięcia przemiennego 8,8 kV dla obu biegunowości, przy niewiele większej wartości czasu do przebicia dla udarów ujemnych (rys. 4).



Rys. 5. Liczba udarów łączeniowych 18,3 kV nałożonych na napięcie przemiennie przy odstępach czasowym pomiędzy udarami 200 ms i 2 s prowadząca do przebicia próbki

Niewielkie różnice w odporności izolacji na drzewienie dla obu biegunowości można wytłumaczyć tym, że w przeciągu dłuższych odstępów napięcie przemiennie po przyłożeniu udaru likwiduje ładunek przestrzenny i każdy kolejny udar wpływający na proces degradacji izolacji działa już przy znacznie mniejszym ładunku przestrzennym niż w przypadku odstępów między udarami 200 ms.

4. Podsumowanie

1. Napięcie udarowe o stałej amplitudzie przepięcia nałożone na napięcie przemiennie może w zależności od poziomu napięcia przemiennego prowadzić do przyspieszenia lub spowolnienia procesu degradacji izolacji.

2. Wzmocnienie odporności jest związane prawdopodobnie ze zmniejszaniem zjawiska ekstrakcji ładunku z polimeru do igły, natomiast osłabienie z wzrostem ładunku wprowadzanego z ostrza do polimeru także przez napięcie przemienne przy poziomach większych od napięcia progowego drzewienia określonego dla napięcia 50 Hz.
3. Ujemna biegunowość udaru nałożonego na napięcie przemienne daje większą odporność izolacji na drzewienie w stosunku do udarów dodatnich. Fakt ten jest szczególnie silnie widoczny przy małych odstępach między udarami — 200 ms, kiedy ładunek przestrzenny nie jest zbyt szybko likwidowany przez napięcie przemienne.

Literatura

- [1] **Wesołowski H.:** *Wpływ jednoczesnego działania napięć impulsowych i przemiennych na własności dielektryczne modeli izolacji papierowo-olejowej*, Gdańsk 1985
- [2] **Jenkinson C. G., Reynders J. P.:** *Partial Discharge Measurements using Tailored Excitation Waveforms*, IEEE Trans. on EI, vol. 28, No. 6, Dec. 1993
- [3] **Yoda B., Sekii Y.:** 1971, IEEE Winter Power Meeting, New York, Paper 71, TP 38-PWR, *Deterioration by treeing of rubber- and plastic-insulated cables caused by impulse voltage*
- [4] **Olesz M., Wasilenko E.:** *Elektroniczny układ do wytwarzania udarów łączeniowych skojarzonych z napięciem przemiennym w transformatorze probierczym*, II Ogólnopolskie Sympozjum Inżynieria Wysokich Napięć, Kiekrz 1994
- [5] **Tanaka T.:** *Charge Transfer and Tree Initiation in Polyethylene Subjected to ac Voltage Stress*, IEEE Trans. on EI, vol. 27, No. 3, June 1992
- [6] **Murata Y., Katakai S., Kanaoka M.:** *Impulse breakdown superposed on ac voltage in XLPE cable insulation*, IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 3, no. 3, June 1996

INFLUENCE OF SWITCHING IMPULSES SUPERIMPOSED ON AC VOLTAGE ON POLYMER INSULATION LIFE TIME

The paper presents preliminary time to breakdown results obtained with the point to plain electrode arrangement in cable crosslinked polyethylene under switching impulses superimposed on ac voltage with 200 ms and 2s time intervals. When rms voltage imposed on constant value of switching impulses increases, the time to breakdown rises at the beginning and then decreases. The insulation life-time is shorter under positive impulses than under negative ones. It is probably caused by homospace charge formed near the electrode tip under switching voltage.

Praca była częściowo finansowana przez Komitet Badań Naukowych,
Grant Nr 8-8250-91-02.