

WITOLD PAPUŻYŃSKI
Katedra Wysokich Napięć

WPLYW ZJAWISK JONIZACYJNYCH
W IZOLACJI PAPIEROWO-OLEJOWEJ KABLI
NA DOBÓR NAPIĘĆ PROBIERCZYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono aktualny stan badań nad rozwojem procesów jonizacyjnych w izolacji papierowo - olejowej kabli elektroenergetycznych przy napięciu 50 Hz i napięciu stałym.

Przedstawione materiały pozwalają wysnuć wnioski na temat możliwości podniesienia wartości napięć probierczych.

Wprowadzenie

Stały wzrost mocy przenoszonych liniami kablowymi, a jednocześnie konieczność zapewnienia jak największej pewności ruchu, zmuszają do coraz bardziej wnikliwych badań nad rozwojem procesów fizycznych w izolacji kabli elektroenergetycznych.

Celem artykułu, omawiającego obecny stan badań nad rozwojem procesów jonizacyjnych w izolacji uwarstwionej, jest wykazanie możliwości podniesienia wartości napięć probierczych, dla prób odbiorczych i profilaktycznych dokonywanych napięciem wyprostowanym, jako czynnika wpływającego na obniżenie awaryjności ruchowej kabli.

Ze względu na odmienny charakter procesów fizycznych, rozwijających się w izolacji papierowo-olejowej, w zależności od rodzaju przyłożonego napięcia, procesy te zostaną omówione odrębnie dla napięcia zmiennego i stałego. Jednocześnie, również ze względu na odmienny charakter rozwoju procesów fizycznych, tematyka zostanie ograniczona do omówienia jedynie kabli t.z. masowych nasyconych gęstymi olejami kablowymi.

Procesy jonizacyjne wywołane działaniem napięcia zmiennego

Omawiając rozwój zjawisk fizycznych w izolacji kabli należy stwierdzić, że ze względu na budowę kabli masowych istnieją w nich tak sprzyjające warunki rozwoju pęcherzy gazowych, tj. wtrącin gazowych, że powstawaniu ich nie zapobiega nawet najstaranniejsze wysuszenie i nasycenie kabla.

Powstawanie wtrącin gazowych tłumaczy się w sposób następujący: papierowo olejowa izolacja kabla, otoczona mało sprężystym płaszczem ołowianym, ogrzewa się w czasie pracy, zarówno na skutek wydzielania się ciepła z żyły jak i dielektryka. Niejednakowe współczynniki rozszerzalności cieplnej poszczególnych elementów konstrukcyjnych kabla, współczynnik rozszerzalności syciwa jest o około 20-30 razy większy od współczynnika rozszerzalności ołowiu, powodują deformację, rozciągnięcia płaszcza ołowianego. Przy zmianach obciążenia, np. cykle obciążenia dobowego następują skurcze syciwa. Mała sprężystość płaszcza ołowianego powoduje, że w izolacji kabla powstaje podciśnienie.

Znaczne siły włoskowate występujące w papierze nie dopuszczają do ucieczki syciwa z papieru, stąd wtrąciny gazowe powstają w syciwie.

Wtrąciny wypełnione są gazami. Gazami tymi mogą być: zarówno gazy rozpuszczone w oleju, jako pozostałość niezbyt starannego odgazowania oleju w czasie przygotowywania do nasycenia, jak i rozpuszczone w oleju gazy, powstałe na skutek rozłożenia oleju pod wpływem wysokich natężeń pola, może to być również para wodna w przypadku zawilgocenia izolacji.

Powstawaniu pęcherzy szczególnie sprzyja przegrzanie kabla znacznymi prądami zwarciovymi. Powstałe w ten sposób wtrąciny gazowe, mogą nie zanikać nawet przy ponownym ogrzaniu kabla do maksymalnej temperatury pracy.

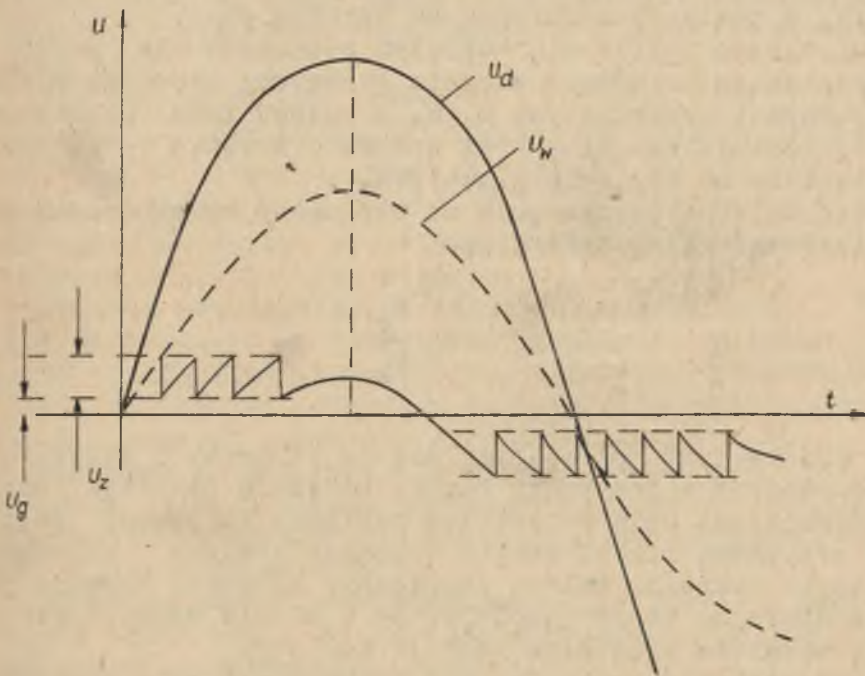
Badania nad rozpuszczalnością gazów w olejach, dochodzącej dla odgazowanych olejów do 10% objętościowo, doprowadziły do wysnucia wniosków [1], że w izolacji papierowo olejowej nie mogą istnieć pęcherze gazu. Wnioski takie są słuszne i sprawdzają się w przypadku układów izolacyjnych napełnionych płynnym syciwem ze sprężystymi ścianami obudowy a więc kondensatorów, hermetyzowanych transformatorów a także kabli ciśnieniowych.

W przypadku kabli masowych nasyconych gęstymi olejami, utrudniającymi poprzeczny przepływ syciwa, obecność wtrącin gazowych jest nieunikniona.

Istnienie wtrącin gazowych w izolacji kabli masowych powoduje, że napięcie robocze kabla o częstotliwości 50 Hz musi być tak dobrane, aby naprężenie powstające we wtrącinie gazowej nie przekraczało naprężenia jonizacji.

Po przekroczeniu napięcia jonizacji, we wtrącinie rozpoczynają się wyładowania, które doprowadzają z czasem, w zależności od intensywności wyładowań, do zniszczenia i przebicia izolacji. Intensywność wyładowań jonizacyjnych może być obliczona na podstawie tzw. względnej intensywności jonizacji

$$I_j = \Delta Q \cdot n \quad (1)$$



Rys. 1. Przebieg czasowy napięcia na wtrącinie. Napięcie zmienne

U_d - napięcie na dielektryku, U_w - napięcie na wtrącinie,
 U_z - napięcie zapłonu, U_g - napięcie gaszenia

gdzie $\Delta Q = \Delta U \cdot C$ jest zmianą ładunku na pojemności obiektu C , wywołaną pojedynczym wyładowaniem we wtrącinie, "n" jest średnią ilością wyładowań jonizacyjnych we wtrącinie w czasie jednej sekundy.

Ilość wyładowań jonizacyjnych w pojedynczej wtrącinie w czasie jednego okresu można obliczyć [2] na podstawie rys. 1 wg wzoru

$$n_1 = 2 \cdot \frac{2U_w - U_z}{U_z - U_g} \quad (2)$$

gdzie U_w jest napięciem jakie by panowało na wtrącinie gdyby nie występowały w niej zjawiska jonizacyjne, U_z - napięcie zapłonu, U_g - napięcie gaśnięcia wyładowania.

Największe natężenia pola występują we wtrącinach w pobliżu żyły, w obszarze największych natężeń pola.

Analityczne obliczenie naprężeń roboczych dla kabla, z uwzględnieniem istnienia wtrącin gazowych, napotyka na szereg trudności wynikających m.in. z wpływu pola elektrycznego na kształt wtrąciny oraz wpływu ciśnienia panującego we wtrącinie na napięcie przebicia.

Obliczanie natężenia pola we wtrącinie wg zależności dla uwarstwionego układu płaskiego

$$K_w = K_o \frac{\epsilon_o}{\epsilon_w} \quad (3)$$

gdzie indeksy "w" "o" odnoszą się do wtrąciny i oleju, może być słuszne w przypadku bardzo wielkich płaskich wtrącin zajmujących całą przestrzeń pomiędzy warstwami papieru. W przypadku rozpatrywania drobnych wtrącin gazowych, otoczonych syciwem, należy uwzględnić zjawisko napięcia powierzchniowego, które powoduje, że w stanie beznapięciowym kabla, wtrącina przyjmuje kształt kulisty.

Po przyłożeniu napięcia, pod wpływem sił pola elektrycznego następuje spłaszczenie wtrącin. Siłę działającą na wtrącinę można obliczyć [3] [5] wg wzoru

$$P = \frac{9 \epsilon_o \epsilon_w (\epsilon_o - \epsilon_w)}{8\pi (\epsilon_w + 2 \epsilon_o)^2} K_o^2 \cos^2 \alpha \quad (4)$$

W zdeformowanej wtrącinie przyjmującej kształt elipsoidy obrotowej natężenie pola oblicza się wg wzoru

$$K_w = K_0 \frac{3 \varepsilon_0}{2 \varepsilon_0 + \varepsilon_w} \quad (5)$$

Wzór powyższy można stosować w przypadku niezbyt wielkich natężeń pola [4].

Z chwilą osiągnięcia natężenia jonizacji K_{wj} wtrącina zostaje przebita. Powstałe w czasie wyładowania jony zdążają do przeciwległych powierzchni wtrąciny i wytwarzają własne pole, skierowane przeciw polu działającemu na cały układ.

Współdziałanie ładunków we wtrącinie i pola zewnętrznego powoduje, że prócz chwilowego zaniku wyładowania we wtrącinie, następuje rozciągnięcie wtrąciny w kierunku działania pola.

Deformację wtrącin gazowych $\beta = \frac{R}{r}$, gdzie r jest promieniem nie zdeformowanej wtrąciny R , zdeformowanej w zależności od natężenia pola K_w podaje za [5] rys. 2.

Lewa część wykresu $\beta^3 > 1$ podaje deformację niezjonizowanej wtrąciny, prawa część wykresu $\beta^3 < 1$ podaje deformację zjonizowanych wtrącin.

Znaczne rozciągnięcie, szczególnie większych wtrącin może doprowadzić do rozerwania wtrąciny na kilka mniejszych. Rozrywanie wtrąciny może tłumaczyć zjawisko tzw. pieńnienia się syciwa. Zjawiska dającego się zaobserwować w kałach poddanych działaniu wysokich natężeń pola.

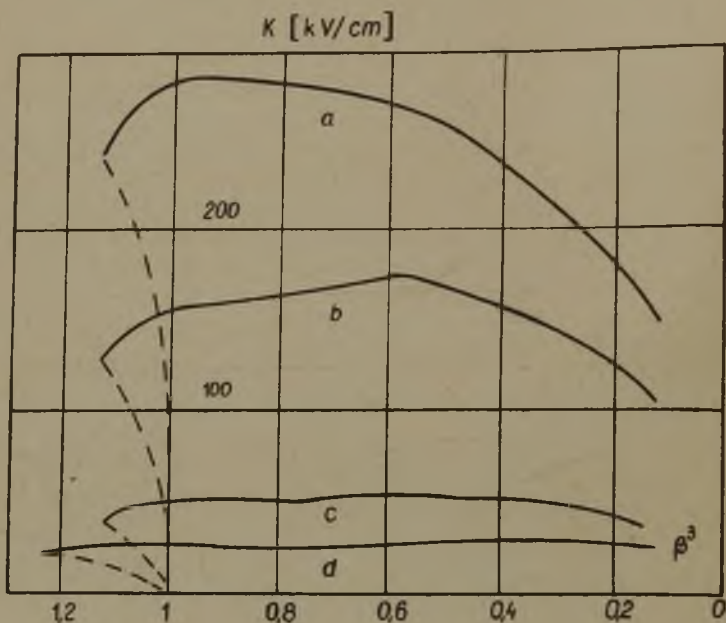
Omawiany rozwój procesów fizycznych w izolacji kabli, nie daje pełnego obrazu zagrożenia izolacji destrukcyjnym działaniem wyładowań jonizacyjnych, powstających pod wpływem napięcia zmiennego.

Właściwy obraz tego zagrożenia dają badania nad tzw. krzywą życia kabla τ , jako funkcją natężenia pola K lub względnej intensywności jonizacji I_j .

Związek ten można przedstawić w postaci

$$\tau = \frac{\Lambda}{K^m}$$

gdzie "A" jest wielkością stałą charakterystyczną dla danej konstrukcji, "m" jest wykładnikiem. Dla kabli masowych $m \approx 7$ [6].



Rys. 2. Deformacja pęcherzyków gazu pod wpływem działania pola elektrycznego

a) $r = 5 \cdot 10^{-4}$ cm, b) $r = 10^{-3}$ cm, c) $r = 10^{-2}$ cm, d) $r = 10^{-1}$ cm

Ocena zagrożenia izolacji kablowej działaniem napięć zmiennych, na podstawie badań krzywej życia, jest metodą bardzo pracochłonną i kosztowną, dlatego też nie nadaje się ona do powszechnego stosowania.

Najdogodniejszymi metodami, nadającymi się np. do badań ruchowych, są metody nieniszczące. Stosowaną od wielu lat metodą jest pomiar krzywej jonizacji za pomocą mostka Scheringa. Pomiar ten, szczególnie w przypadku dłuższych odcinków kabli, może się okazać niedostatecznie czuły, zwłaszcza gdy się ma do czynienia z lokalnymi osłabieniami i-

zolacji. Współczynnik strat dielektrycznych jest, jak wiadomo, wartością średnią współczynników strat dielektrycznych wszystkich elementarnych jednostek objętościowych badanego dielektryka.

Wartości współczynników strat dielektrycznych poszczególnych elementów zależą od występujących w nich natężeń pola elektrycznego.

Mierzony współczynnik strat dielektrycznych kabla określony jest przez średnią wartość natężenia pola. Dla najprostszego przypadku jednożyłowego kabla, o promieniu żyły r_1 , zewnętrznym promieniu izolacji r_2 oraz długości l , średnią wartość natężenia pola można obliczyć wg zależności

$$K_{sr} = \frac{1}{V} \int_0^{r_2} \int_0^l \int_0^{2\pi} \frac{U_0}{r \ln \frac{r_2}{r_1}} r d\varphi dl dr \quad (7)$$

Ponieważ elementarne współczynniki strat sumują się arytmetycznie wobec tego, jeżeli np. objętości dielektryka ΔV odpowiada $\text{tg } \delta_2$, a pozostałej części $\text{tg } \delta_1$ to mierzona wartość $\text{tg } \delta$ jest sumą

$$\text{tg } \delta = \text{tg } \delta_1 + \frac{\Delta V}{V} \text{tg } \delta_2$$

Jeżeli objętość V jest znacznie większa od ΔV to nawet znaczny wzrost $\text{tg } \delta_2$, a więc znaczne pogorszenie się lokalne izolacji, nie odbije się istotnie na wartości $\text{tg } \delta$.

Ze względu na szczególnie ważną rolę wyładowań jonizacyjnych w procesie starzenia izolacji, opracowano cały szereg metod i układów pozwalających, na podstawie rejestracji drgań wielkiej częstotliwości, których źródłem są wyładowania jonizacyjne w dielektryku, na ustalenie progów jonizacji, wykrywając nawet pojedyncze wyładowania. Metody te odgrywają na razie większą rolę w badaniach laboratoryjnych. Chociaż czynione są również próby zastosowań ruchowych.

Układem takim może się stać np. mostek Scheringa po zastąpieniu w gałęzi zerowej galvanometru oscylografem. Na

temat innych metod istnieje bogata literatura. Szereg pozycji wymienionych jest w [6]

Procesy jonizacyjne w izolacji kabli wywołane działaniem napięcia stałego

Procesy te zostaną omówione tylko z punktu widzenia prób napięciowych. Nie będą więc uwzględniały wpływu temperatury izolacji na rozkład naprężeń, jak również procesów elektrochemicznych, które mogą odgrywać rolę w procesie starzenia izolacji przy długotrwałym działaniu napięcia stałego.

Rozkład naprężeń w izolacji kabla, poddanego działaniu napięcia stałego, różni się od rozkładu występującego przy napięciu zmiennym.

Eksperymentalnie wyznaczona wytrzymałość elektryczna izolacji kablowej przy napięciu stałym jest znacznie wyższa od wytrzymałości przy napięciu zmiennym.

Naprężenia przebijające dla napięć zmiennych i stałych jako funkcję czasu podaje rys. 3 [6].

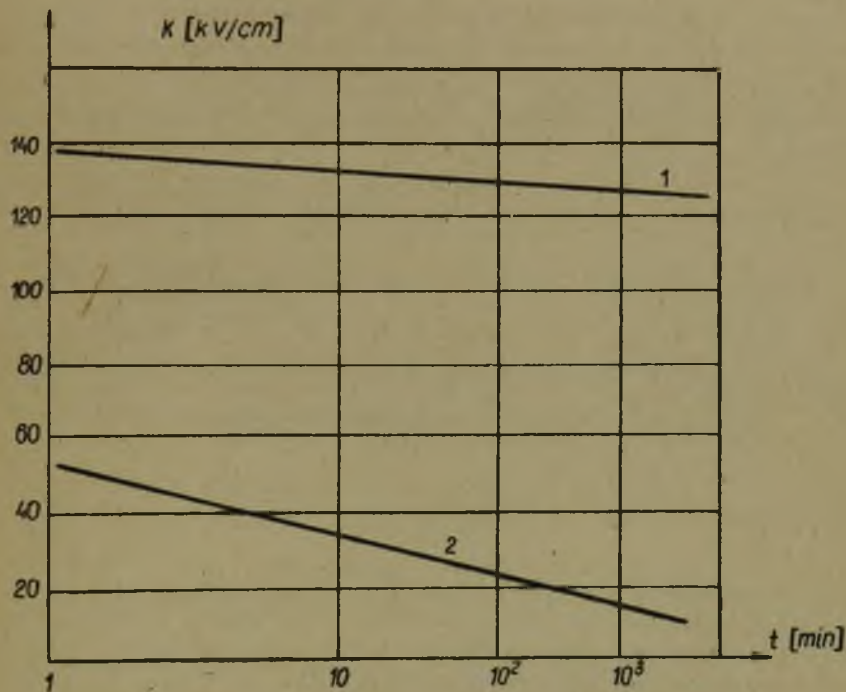
Wzrost wytrzymałości elektrycznej przy napięciu stałym spowodowany jest co najmniej dwoma czynnikami:

- a) upływnościowym charakterem rozkładu napięć,
- b) osłabieniem intensywności wyładowań jonizacyjnych ładunkami powstającymi we wtrącinie.

Upływność warstw papieru może być nawet kilkudziesięciokrotnie mniejsza od upływności syciwa [6] wobec czego najbardziej naprężoną częścią izolacji przy napięciu stałym staje się papier. Ponieważ wytrzymałość dielektryczna papieru jest znacznie wyższa od wytrzymałości syciwa zatem wytrzymałość dielektryczna izolacji papierowo olejowej przy napięciu stałym, będzie wyższa od wytrzymałości przy napięciu zmiennym rys. 3. Należy zwrócić uwagę, że na skutek istnienia upływności izolacji, wyładowania jonizacyjne występują w izolacji kabli, nie tylko przejściowo, w czasie podnoszenia i obniżenia napięcia stałego, ale również w stanie ustalonym. Przy czym intensywność wyładowań jonizacyjnych rośnie ze wzrostem upływności izolacji.

Rozwój wyładowania we wtrącinie, pod działaniem napięcia stałego, ma w fazie początkowej podobny charakter jak omówiony już rozwój wyładowania przy napięciu zmiennym.

Zapłon wyładowania we wtrącinie następuje gdy napięcie na niej panujące osiąga wartość U_z . Powstające w czasie wyładowania ładunki zdążają na skutek działania pola zewnętrznego do przeciwległych powierzchni wtrąciny i wytwarzają własne pole skierowane przeciw polu zewnętrznemu.



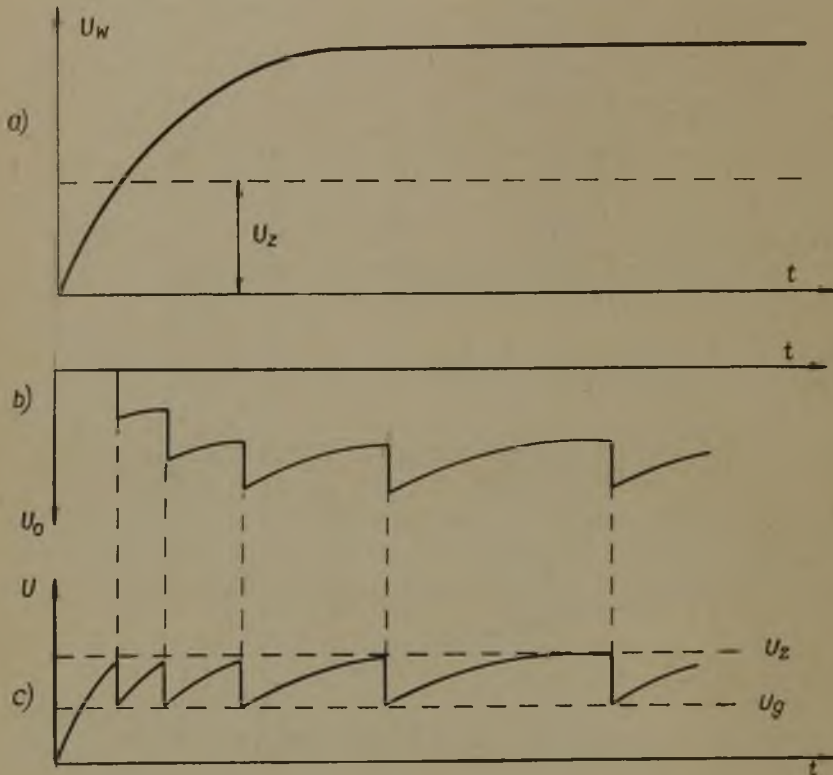
Rys. 3. Naprężenia przebijające dla izolacji papierowo-olejowej w funkcji czasu

1. Napięcie stałe, 2. Napięcie zmienne

Wpływ ładunków przestrzennych powoduje omówioną poprzednio deformację wtrąciny oraz tak znaczne osłabienie natężenia pola we wtrącinie, że wyładowanie gaśnie. Napięcie panujące na wtrącinie w momencie zaniku wyładowania

$$U_g = U_w - U_o \quad (8)$$

gdzie U_w jest napięciem jakie by panowało na wtrącinie gdyby nie nastąpiło w niej wyładowanie, U_o napięcie wytworzone przez ładunek przestrzenny we wtrącinie.



Rys. 4. Przebieg czasowy napięcia na wtrącinie. Napięcie stałe

a) przebieg napięcia na wtrącinie bez wyładowań, b) napięcie na wtrącinie wywołane działaniem ładunku przestrzennego, c) przebieg czasowy wypadkowego napięcia na wtrącinie

Przebieg zmian napięcia na wtrącinie pod wpływem działania napięcia stałego podaje rys. 4. W części a) podany jest wykres napięcia U_w w części b) napięcie U_o oraz w części c) wykres wypadkowego napięcia na wtrącinie.

Zanik wyładowania we wtrącinie nie jest jednak zjawiskiem trwałym. Na skutek upływności izolacji, ładunki wytworzone we wtrącinie i pole z nimi związane zaczynają maleć.

Napięcie U_0 wytworzone przez ładunki zaczyna maleć wg zależności

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9)$$

w wyrażeniu tym τ jest stałą czasową zależną od iloczynu R.C rozpatrywanego elementu kabla z wtrąciną. $R.C = \rho \varepsilon$

Jak wynika z rys. 4 w stanie ustalonym powtórny zapłon wyładowania we wtrącinie nastąpi gdy

$$U_z - U_g = U_0 (1 - e^{-\frac{T}{\tau}}) \quad (10)$$

Na podstawie wzoru 10 łatwo obliczyć czas, T pomiędzy kolejnymi zapłonami wyładowania w pojedynczej wtrącinie.

$$T = \tau \ln \frac{U_0}{U_0 - U_z + U_g} \quad (11)$$

Z uwagi na małą wartość napięcia U_g w porównaniu z napięciem U_w można na podstawie wzoru 8 napisać

$$U_0 \approx U_w$$

Wobec czego wzór 11 przyjmuje postać

$$T \approx \tau \ln \frac{U_w}{U_w - U_z + U_g}$$

lub po rozłożeniu w szereg

$$T \cong \tau \frac{U_z - U_g}{U_w}$$

Dla starannie wysuszonej i dobrze nasyczonej izolacji kabla stała czasowa τ ma wartość

$$\tau = 3000 \text{ sek}$$

Dla izolacji takiej $\rho = 1 \cdot 10^{16} \Omega \text{ cm}$ $\epsilon = 3 \cdot 10^{-13} \text{ F/cm}$ [6].
W przypadku kabla, dla którego $U_w = 20 \text{ kV}$ $U_z = 3 \text{ kV}$ oraz
 $U_g = 2,5 \text{ kV}$ [6]

$$T = 3000 \ln \frac{20}{20-0,5} = 75 \text{ sek}$$

A więc odstęp czasu pomiędzy kolejnymi zapłonami w pojedynczej wtrącinie jest rzędu jednej minuty.

Ponieważ napięcia zapłonu i gaszenia przy napięciu stałym i zmiennym są w obu przypadkach praktycznie identyczne, wobec tego powstaje możliwość porównania częstości wyładowań jonizacyjnych w pojedynczej wtrącinie przy napięciu zmiennym i stałym.

Po podstawieniu podanych powyżej wartości U_w U_g U_z do wzoru 2 otrzymuje się w wyniku około 140 wyładowań jonizacyjnych w czasie jednego okresu. Częstość wyładowań przy napięciu zmiennym jest zatem o około $5 \cdot 10^5$ razy większa od częstotliwości wyładowań przy napięciu stałym.

Zawilgocenie kabla, a więc spadek oporności izolacji, wielkości wpływającej na τ , powoduje wzrost częstości wyładowań.

Zakładając, że oporność właściwa izolacji zmaleje do $5 \cdot 10^{11} \Omega \text{ cm}$ ilość wyładowań jonizacyjnych w pojedynczej wtrącinie wzrośnie do około 2000 wyładowań na sekundę. Jest to już rząd wielkości zbliżony do częstości wyładowań przy napięciu zmiennym.

Dobór napięć probierczych

W kablach energetycznych znajdujących się w eksploatacji, na skutek takich czynników jak wycieki syciwa, czy zawilgocenia, mogą rozwijać się złożone procesy fizyczne, które doprowadzają z czasem do przebicia kabla.

Celem badań profilaktycznych dokonywanych napięciem wyprostowanym, jest wcześniejsze wykrycie i wyeliminowanie z eksploatacji kabli o osłabionej izolacji.

Dogodną metodą oceny efektywności badań profilaktycznych jest porównanie stosunku $\frac{N_p}{N_p + N_r} = \eta$ gdzie N_p jest i-

lością przebić powstałych w czasie dokonywania badań profilaktycznych. N_r - ilość przebić w czasie eksploatacji, z wyłączeniem przebić powstałych na skutek uszkodzeń mechanicznych, η współczynnik efektywności.

Współczynnik efektywności η wg danych radzieckich [7] dla linii kablowych 6 kV przy napięciu probierczym 35 kV waha się w granicach 0,87-0,90. Wynika stąd wniosek, że około 10% kabli z lokalnie osłabioną izolacją zostaje dopuszczonych do eksploatacji dając w efekcie niepożądane a niekiedy groźne zakłócenia ruchowe.

Powstaje pytanie czy istnieje możliwość podniesienia efektywności badań profilaktycznych. Jednym ze sposobów podniesienia efektywności badań profilaktycznych jest podwyższenie wartości napięć probierczych.

Przedstawione w artykule materiały wykazały, że wyładowania jonizacyjne powstające w izolacji kablowej pod wpływem napięcia stałego są dla izolacji, starannie wysuszonej, nawet przy naprężeniach rzędu 40 kV/mm i bardzo długim czasie pracy, całkowicie niegroźne [6]. Naprężenia rzędu 40 kV/mm stosowane są w kablach na napięcie stałe [8]

Podniesienie wartości napięć probierczych, które dawałyby naprężenie w izolacji rzędu 40 kV/mm, pozwoliłoby podnieść efektywność prób profilaktycznych, nie zagrażając jednocześnie zdrowym partiom izolacji kabla.

Rozpatrując dla przykładu, bardzo niekorzystny pod względem rozkładu naprężeń, kabel 10 kV z żyłami sektorowymi o przekroju znamionowym żyły 25 mm², dla którego największe natężenie pola przy U_n wynosi 2,87 kV/mm [8], otrzymuje się przy założeniu napięcia probierczego $8 U_n$ naprężenia poniżej 40 kV/mm.

Napięcia probiercze o wartości $8 U_n$ stosowane są w Leningradzkiej sieci kablowej od roku 1954 [7] omawiany współczynnik efektywności badań profilaktycznych na skutek podniesienia wartości napięć probierczych do $8 U_n$ wzrósł dla leningradzkiej sieci kablowej od $\sim 0,9$ do $0,97$.

Proponowane podwyższenie wartości napięć probierczych z $5 U_n$ do $8 U_n$ spowoduje zapewne pewien wzrost ilości przebić występujących w czasie dokonywania prób profilaktycznych. Ilość tych przebić powinna być jednak równa ilości uszkodzenia, jakie by powstały w czasie eksploatacji na skutek dopuszczenia do ruchu kabli z izolacją, w których próby dokonane napięciem $5 U_n$ miejsce o osłabionej izolacji nie wykryły.

Jest sprawą oczywistą, że przebicie izolacji kabla w czasie dokonywania prób profilaktycznych jest znacznie mniej groźną dla ruchu, od uszkodzenia powstałego w czasie pracy kabla pod obciążeniem. Dlatego wydaje się, że podwyższenie wartości napięć probierczych, szczególnie w przypadku nowych linii kablowych, od których wymaga się bardzo dużej pewności ruchu, byłoby korzystne.

Wnioski końcowe

1. W papierowo-olejowej izolacji kabli pod wpływem napięć zmiennych, rozwijają się procesy starzenia jonizacyjnego. Procesy te prowadzą do przebicia, przy czym czas do przebicia jest funkcją intensywności wyładowań jonizacyjnych.

2. Procesy jonizacyjne, wywołane działaniem napięć stałych w przypadku izolacji nieuszkodzonej, charakteryzują się tak małą intensywnością wyładowań, że rola ich w procesie niszczenia izolacji jest praktycznie całkowicie pomijalna.

W przypadku zawilgocenia izolacji, intensywność wyładowań jonizacyjnych przy napięciu stałym może wzrosnąć tak znacznie, że podobnie jak w przypadku jonizacji przy napięciu zmiennym może doprowadzić do przebicia izolacji.

3. Współczynnik efektywności badań profilaktycznych czy odbiorczych, dokonywanych napięciem wyprostowanym o krotności 5 Un jest zbyt niski i pewien procent kabli, o lokalnie osłabionej izolacji, zostaje dopuszczony do eksploatacji, co jest przyczyną powstawania groźnych niekiedy awarii ruchowych.
4. Podwyższenie wartości napięć probierczych z 5 Un do 8 Un, nie stanowiąc zagrożenia dla kabli z pełnowartościową izolacją, pozwoli podnieść efektywność wykrywania uszkodzeń w kablach o lokalnie osłabionej izolacji, nie dopuszczając tym samym do powstania zakłóceń ruchowych.

Rękopis złożono w Redakcji w grudniu 1965 r.

LITERATURA

- [1] Kaufmann, Schimanski, Mac Fadyen: Gas and Moisture Equilibriums in Transformer Oil. Tr. A. I.E.E. 74 1955.
- [2] Giercik A.K.: Jonizacjonnyje charakteristiki bumažno-masliannoj kondensatornoj izolacji pri iskażenoj formie wozdejstwujuszczewo napriaženija. Izw. N.I.I.P.T. Nr 3 1958.
- [3] Buchholz H.: Elektrische und mahnetische Potentialfelder. Springer 1957.
- [4] Kapłan D.: Fiziczeskaja priroda jonizacjonnych procesow w bumažno-maslianoj izolacji I.W.U.Z. Energietika 3/1962.
- [5] Stepanczuk K., Tiniakow N.: Deformacja gazowych wkluczenii w żidkosti w elektriczeskom pole. I.W.U.Z. Energietika 4/1965.

- [6] Grejsuch, Kuczynskij, Kapłan, Messerman: Bumażno - maslianaja izolacija w wysokowoltnych konstrukcjach. Gosenergoidat, 1963.
- [7] Kosowski A.A., Sziriajewa P.P.: Analiz szestilietnich profilakliczeskich ispytanii kabielnich linii wypryamliennym napriażenijem 50 kV. Elektriczeskije Stancji 4/1962.
- [8] Kolbiński K.: Kable elektroenergetyczne PWT 1957.

ИСПЫТАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ КАБЕЛЕЙ В СВЕТЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
В БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Р е з ю м е

В статье автором приводятся актуальные результаты исследований над развитием физических явлений в бумажно-масляной изоляции электроэнергетических кабелей, вызванных действием переменных напряжений с частотой 50 Гц и наравне стационарных.

На базе затронутых вопросов сделаны выводы, которые, по мнению автора, могут иметь влияние на улучшение важной для эксплуатации надежности работы электроэнергетических кабелей.

VOLTAGE TESTS OF THE CABLES FROM THE STANDPOINT OF THE
PHYSICAL PHENOMENA IN THE PAPER - OIL - INSULATION

S u m m a r y

Description of the actual results of the investigations about the development of the physical phenomena in the paper - oil insulation of the electro-energetic cables, caused by the a.c. voltages of the 50 Hz frequency and d.c. voltage.

Based on the described problems were drawn conclusions which may influence the correction of the so important for exploitation of the motion reliability of the electroenergetic cables, taking the authors point of view.