

W SPRAWIE PRZEPISÓW NA PRÓBY ODBIORCZE KABLI.

Prof. K. Drewnowski.

Sprawa przepisów na badanie kabli przy ich odbiorze jest obecnie aktualna nietylko u nas, lecz i w krajach zachodnich. W Polsce P. K. E. opracowuje nowelizację przestarzałych przepisów na przewody izolowane i kable (PPNE — 5). Projekt nowych przepisów (PNE — 5) został ogłoszony w Nr. 23 i 24 „Przeł. Elektr.” z 1930 r. Na terenie międzynarodowym omawia się możliwość ujednostajnienia tych przepisów. Międzynarodowa Konferencja wielkich sieci elektrycznych powołała osobną komisję do tych spraw, która przeprowadziła w r. 1929 obszerną dyskusję i również na sesję r. 1931 przygotowuje nowe materiały dyskusyjne.

W zesz. 24 „Przeł. Elektr.” r. 1930 poruszał tę sprawę inż. S. Bła d o w s k i wskazując bardzo słusznie na potrzebę wprowadzenia do tych przepisów prób na straty dielektryczne w izolacji kabli, jako najważniejszego — według niego — kryterjum zachowania się kabla w pracy. (Przewidziane to zresztą zostało w ogłoszonym w tym samym zeszycie projekcie PNE — 5). Zbyt może — zdaniem mojem — odsunął on na dalszy plan próby na przebicie, które wszak są konieczne, aby wykręcić błędy wyrobu kabli.

W uwagach poniższych kierowałem się głównie materiałami dyskusyjnymi z Konf. Wielkich sieci oraz pracami badawczymi, przeprowadzonymi w Laboratorium Wysokich Napięć Politechniki Warszawskiej. Na tej podstawie spróbowałem nakreślić tekst odpowiedniego rozdziału z nowych przepisów PKE. Został on również przesłany do Komisji Kabli PKE. Nie uważam jednak, aby ta zawiła kwestja została przez taki tekst ostatecznie u nas załatwiona. Byłbym rad, gdyby ze sfer fachowych wpłynęły do PKE co do tego rzeczowe uwagi.

A. Ogólne uwagi o próbach kabli.

Próby kabli mają na celu przekonanie odbiorcy, że żądany kabel po założeniu będzie dobrze pracował. Są to więc próby odbiorcze, a nie próby wyrobu, które fabryka stosuje u siebie, według swoich wymagań. Odbiorcę interesuje przede wszystkim czy ustrój kabla zgadza się z żądanymi wymiarami, oraz czy stan izolacji kabla da dostateczną pewność ruchu. Pewność ta może być zagrożona, jeżeli:

a) kabel posiada „słabe punkty” izolacji, które mogą zostać przebite w razie przepięć, nawet krótkotrwałych;

b) jeżeli nasycenie olejem izolacji papierowej jest niewystarczające, przez co kabel podczas ruchu, a zwłaszcza podczas przepięć długotrwałych, może być zniszczony w różnych punktach;

c) jeżeli, skutkiem słabej giętkości kabla, podczas nawijania go do transportu i rozwijania przy układaniu, ustrój izolacji i jej osłona mechaniczna doznają uszkodzeń.

Stosownie do tego potrzebne są próby następujące:

1. próba na przebicie przed ułożeniem;
2. próba na straty dielektryczne;
3. próba giętkości;
4. próba na przebicie po ułożeniu; oraz ponadto
5. sprawdzenie ustroju, którym tu bliżej nie będąc się zajmował.

1. Próba na przebicie przed ułożeniem.

Ma ona wykazać, jak kabel będzie się zachowywał wobec przepięć krótkotrwałych. Przepięcia te mogą osiągnąć wartość 2 do 3 razy większą, niż napięcie robocze w razie, gdy punkt środkowy sieci jest uziemiony, a 3 do 4 razy większe, gdy jest izolowany. Próbowanie na te warunki skrajne powodowałoby niepotrzebne naprężanie kabla. Wystarczy napięcie niższe, nie mniejsze jednak od 2,5 razy nap. norm. (Przy kablach na napięcie niższe, niż 10 kV, należałoby może napięcie probiercze podnieść wyżej). Większość przepisów obcych krajów stosuje tu właśnie takie napięcia.

Próba powinna się odbywać na całym kablu, w fabryce. Czas jej trwania — 15 minut dla każdej kombinacji żył i płaszcz. W razie żądania zbadania kabla przy próbie odbiorczej na miejscu, trzeba z konieczności zadowolnić się próbą na odcinku kilkumetrowym, dając warunki surowsze, np. 2,75 razy napięcie nominalne. Nie da to jednak wyników w tym stopniu pewnych, jak próba całości.

2. Próba na straty dielektryczne.

Ma ona wykazać, jak kabel będzie się zachowywał przy trwałym ruchu, czy straty dielektryczne kabla pracującego (nagrzanego) mają tendencję do wzmagania się, co mogłoby doprowadzić do przebicia izolacji, mimo że kabel wytrzymał krótką próbę napięciową na przebicie.

Straty dielektryczne kabla normalnego — jak liczne próby wykazały — naogół maleją początkowo z rosnącą temperaturą, osiągają minimum przy 35—40° C i potem szybko rosną. Poniżej t. zw. punktu jonizacji zmienność strat z temperaturą jest mała, powyżej — bardzo znaczna. Idzie więc o to, aby kabel

a) pracował poniżej punktu jonizacji przy każdej temperaturze;

b) nie wykazywał znacznego zwiększenia strat z temperaturą, bo to wskazywałoby, że minimum strat przesunięte jest do obszaru temperatur niskich i przez to kabel znajduje się w stanie nierównowagi cieplnej.

Ażeby się przekonać, czy te warunki są spełnione, trzeba:

a) wyznaczyć punkt jonizacji przy temperaturze otoczenia i temperaturze około 40° C;

b) pomierzyć różnicę strat przy tych temperaturach, przyczem straty przy 40° C nie powinny być większe (np. niż 2 razy) aniżeli straty przy temperaturze otoczenia. U normalnych kabli będą one zwykle niższe. Jeżeli będą wyższe, to znaczy,

że minimum jest przesunięte do obszaru niższych temperatur.

Zamiast mierzyć straty wygodniej jest wyznaczać współczynnik strat dielektrycznych ($\text{tg} \delta = \frac{P}{\omega C U^2}$), gdzie P jest mocą, straconą w kW, U napięciem probierczym w kV, a C pojemnością kabla w F. Punkt załamania tej prostej ku górze jest punktem jonizacji, a odpowiednia wartość napięcia — napięciem jonizacji. Jeżeli $\text{tg} \delta = f(U)$ jest linia prosta, to oznacza to, że jonizacji nie ma.

Napięcie, występujące przez dłuższy czas w kablu, nie przekroczy $1,73 U_{nom}$ (w razie zwarcia z ziemią). Wypadałoby zatem przyjąć tę wartość jako napięcie probiercze; praktycznie wystarczy tu jednak $1,5 U_{nom}$.

Stratność dielektryczna kabla zmienia się z czasem trwania naprężenia; ustala się dopiero po kilku, lub nawet więcej, godzinach. Wykazuje jednak tendencję do ustalania się już po 1—2 godzinach. Wszelkie pomiary strat dielektrycznych powinny być robione praktycznie po 1 godzinie i to zawsze po tym samym czasie dla tego samego kabla.

Próby powinno się robić na całym kablu w fabryce. O ileby względy fabrykacyjne nie pozwoliły na to, lub skoro trzeba ją wykonać poza fabryką, wypada zadowolnić się próbą na odcinku kilkumetrowym.

3. Próba giętkości.

Ma ona wykazać czy płaszcz ołowiany i izolacja papierowa nie ucierpiałły po nawinięciu kabla na bęben, rozwinięciu go i ułożeniu w ziemi. Z natury rzeczy można ją przeprowadzić (przed przyjęciem kabla) tylko na odcinku; po ułożeniu zaś kabla, który przeszedł tę próbę, trzeba go jeszcze raz poddać krótkiej próbie napięciowej.

Próba giętkości polega na kilkakrotnym nawinięciu odcinka kabla na bęben i następnie

a) na sprawdzeniu stanu płaszczka przez oględziny,

b) na poddanie go szybkiej próbie napięciowej, kilka razy większym napięciem, aby wykryć ewentualne punkty słabe.

Prawie wszystkie przepisy międzynarodowe biorą tu $4 U_{nom}$.

4. Próba na przebicie po ułożeniu.

Ma ona wykazać, czy kabel zmontowany, t. j. wraz ze złączami, wykazuje dostateczną pewność izolacji. Jako napięcie probiercze przyjmuje się, prawie powszechnie, $1,5 U_{nom}$ (lub $3 U_{nom}$ przy prądzie stałym).

B. Projekt redakcji przepisów na próby kabli.

Wobec powyższych uwag proponuję następujące brzmienie rozdziału XI PNE — 5 o próbach kabli.

XI. PRÓBY KABLI.

§ 58. Próby kabli są następujące:

1. sprawdzenie ustroju;
2. próba na przebicie;

3. próba na straty dielektryczne;
4. próba giętkości;
5. próba na przebicie po ułożeniu.

Próba 3 wymagana jest tylko dla kabli od 10 kV. Próby 2 i 3 odbywa się w zasadzie w fabryce na całym kablu (na bębnie); w razie potrzeby można je przeprowadzić na odcinku kabla. Próby 1 i 4 odbywa się na odcinku; próba 5 — na zmontowanej linii kablowej.

Odcinek, potrzebny do prób, wynosi 6 m, z czego $\frac{1}{2}$ m z każdej strony poddaje się próbie 1, resztę kolejno próbom 2, 3, 4.

§ 59. Sprawdzenie ustroju.

— jak w tekście projektu PNE — 5.

§ 60. Próba na przebicie. Próby dokonywa się prądem zmiennym praktycznie sinusoidalnym o częstotliwości około 50 p/s, przy temperaturze otoczenia.

Napięcie probiercze (U_p) ma wynosić:

$$U_p = 2,5 U,$$

gdzie U oznacza napięcie nominalne międzyprzewodowe dla kabli wielożyłowych, a fazowe — dla jednożyłowych. Napięcie przykładania się kolejno między jedną żyłą a pozostałe, połączone z płaszczem, na przeciąg 15 minut dla każdej kombinacji. Próbę wykonywa się na całym odcinku kabla (w fabryce); w razie żądania próby na przebicie odcinka kabla napięcie probiercze ma wynosić $2,75 U$.

§ 61. Próba na straty dielektryczne. Próby dokonywa się prądem zmiennym praktycznie sinusoidalnym o częstotliwości około 50 p/s, przy temperaturze:

- a) otoczenia, oraz
- b) około 40°C .

Próba polega na wyznaczeniu współczynnika strat *) ($\text{tg} \delta$) dla 2 napięć i 2 temperatur. Do wyznaczenia tego zaleca się stosowanie mostku Scheringa.

Próba składa się z 2 części:

1. Wyznacza się współczynnik strat przy napięciu nominalnym, a zaraz potem przy napięciu $1,5$ razy większym; oba razy przy temperaturze otoczenia.

2. Powtarza się to samo przy temperaturze około 40°C .

Próba powinna wykazać, że:

1. Współczynnik strat przy temperaturze a) otoczenia, b) około 40°C , nie zmienia się więcej, niż o 10% przy podniesieniu napięcia w granicach przepisanych wyżej.

2. Współczynnik strat kabla nagrzanego nie jest większy, niż 2 razy od tego współczynnika dla kabla zimnego.

3. Wartość współczynnika strat nie przekracza w żadnym przypadku 0,02.

Napięcie probiercze przykładania się między jedną z żył a pozostałe połączone ze sobą i z płaszczem. Przy obu częściach próby pomiar rozpoczyna się dopiero po 1 godzinie pozostawiania kabla pod napięciem probierczym. Przed próbą w stanie nagrzanym musi kabel pozostawać pod temperaturą 40°C w ciągu pół godziny.

*) $\text{tg} \delta = \frac{P}{\omega C U^2}$, gdzie P jest mocą, straconą w izolacji kabla, mierzoną w watach, U — napięciem probierczym w woltach, C — pojemnością kabla w faradach, $\omega = 2 \pi f$.

Próbie wykonywa się w zasadzie w fabryce na całym kablu. W razie trudności można się zadowolnić próbą na odcinku.

§ 62. *Próba giętkości.* Próbie dokonywa się na odcinku przy temperaturze między 10 a 15° C.

Odcinek kabla, obnażony z pancerza i obwoju włóknistego, nawija się całkowicie na walec kolejno trzy razy w jedną i w drugą stronę naprzemiennie. Średnica walca ma być 15 razy większa od średnicy kabla wielożyłowego, a 25 razy — od kabla jednożyłowego.

Przy próbie kabel nie powinien wykazać pęknięć.

Po próbie giętkości poddaje się kabel próbie napięciowej, przy której w ciągu 2 minut napięcie probiercze wynosi:

$$U_p = 4 U,$$

gdzie U oznacza napięcie nominalne kabla. Napięcie przykładane się kolejno między żyłą a wszystkie inne, połączone razem z płaszczem, każdorazowo na przeciąg 2 minut. Kabel ma tę próbę wytrzymać.

§ 63. *Próba na przebicie po ułożeniu.* Zmontowane linje kablowe próbuje się napięciem zmiennym lub stałym. Napięcie probiercze ma wynosić:

$$U_p = 1,5 U \text{ przy prądzie zmiennym,}$$

$$U_p = 3 U \text{ przy prądzie stałym,}$$

gdzie U oznacza napięcie nominalne kabla.

Napięcie przykładane się kolejno między jedną żyłą a pozostałe, połączone razem z płaszczem, na przeciąg 1 godziny dla każdej kombinacji. Kabel ma tę próbę wytrzymać.

W SPRAWIE OKREŚLENIA MOCY W OBWODACH ELEKTRYCZNYCH O PRZEBIEGACH ODKSZTAŁCONYCH PRĄDU I NAPIĘCIA.

Prof. dr. inż. Leon Staniewicz.

W ostatnich czasach na terenie międzynarodowym została poruszona sprawa określenia pojęć mocy prądów, mających przebieg odmienny od sinusoidy, czyli, jak je przyjęto nazywać, prądów odkształconych. Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (CEI) zbiera opinie Krajowych Komitetów Elektrotechnicznych i opinie te mają być rozpatrzone i uzgodnione w Podkomisji, która jest zwołana na wrzesień r. b. do Londynu. Najbardziej czynnym w tej sprawie okazał się Komitet Rumuński, który za pośrednictwem p. C. Budeanu, profesora Politechniki Bukareszteńskiej, wystąpił z własnym projektem. W obszernej książce p. t. „Puissances reactives et fictives” (Bucarest, 1927) prof. Budeanu omawia w pierwszej części moc urojoną prądów sinusoidalnych, a częścią drugą poświęca mocy prądów odkształconych.

Aby dobrze zrozumieć propozycję Komitetu Rumuńskiego, jak również inne opinie, przypomnijmy sobie, jakie określenia mocy prądów zmiennych były już dawniej znane i nie wzbudzały żadnych wątpliwości. Dla prądu o przebiegu sinusoidalnym, którego wartości skuteczne napięcia i natężenia oznaczymy przez U i I , zaś kąt przesunięcia fazy między temi wielkościami przez φ , mamy moc pozorną $P_p = UI$, moc rzeczywistą $P = UI \cos \varphi$ oraz moc urojoną $P_u = UI \sin \varphi$ czyli; $P = P_p \cos \varphi$, $P_u = P_p \sin \varphi$. Moc urojona stanowi więc różnicę geometryczną mocy pozornej i mocy rzeczywistej; można tę zależność ująć jeszcze we wzór $P_p^2 = P^2 + P_u^2$.

Przechodząc do prądów odkształconych, musimy przede wszystkim stwierdzić, że w elektrotechnice mamy do czynienia z funkcjami czasu, okresowo zmiennymi, które zawsze można rozłożyć w szeregi Fourier'a. Jak wiadomo, w najogólniejszym przypadku, szeregi te zawierają wyraz

stały oraz funkcje sinusoidalne ze wciąż wzrastającymi częstotliwościami. Tak np. wartość chwilowa napięcia prądu odkształconego może być ujęta we wzór

$$U_t = U_0 + U_1 \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_1) + \dots + U_k \sqrt{2} \sin(k\omega t + \psi_k) + \dots + U_n \sqrt{2} \sin(n\omega t + \psi_n) \quad (1)$$

gdzie U_0 oznacza wartość stałą tej funkcji czasu t , która w wielu przypadkach równa się zeru, U_k stanowi wartość skuteczną odpowiedniej sinusoidy,

$\omega = \frac{2\pi}{T}$, gdzie T oznacza okres naszej funkcji,

zaś ψ_k kąt przesunięcia fazy rozpatrywanej sinusoidy względem tak zwanej sinusoidy normalnej, której początek odpowiada początkowi liczenia czasu; n może być liczbą skończoną lub nieskończoną wielką. Wartość skuteczną napięcia prądu odkształconego określona jest wzorem

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + \dots + U_k^2 + \dots + U_n^2} \quad (2)$$

Analogicznie będziemy mieli dla natężenia prądu

$$I_t = I_0 + I_1 \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_1 + \varphi_1) + \dots + I_k \sqrt{2} \sin(k\omega t + \psi_k + \varphi_k) + \dots + I_n \sqrt{2} \sin(n\omega t + \psi_n + \varphi_n) \quad (3)$$

gdzie φ_k oznacza przesunięcie fazy natężenia prądu względem odpowiedniej sinusoidy napięcia, oraz

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + \dots + I_k^2 + \dots + I_n^2} \quad (4)$$

Iloczyn wartości skutecznych napięcia i natężenia prądu, tak samo jak i dla prądów sinusoidalnych, nazywamy mocą pozorną prądu odkształconego:

$$P_p = UI = \sqrt{(U_0^2 + U_1^2 + \dots + U_n^2)(I_0^2 + I_1^2 + \dots + I_n^2)} \quad (5)$$