

wysokiego napięcia, dążąca do możliwie najlepszego rozwiązania tej, tak doniosłej, sprawy dobrego odizolowania przewodów; każdy bowiem nieostrożny lub zły izolator jest źródłem zakłóceń prawidłowego ruchu linii, mogących często narazić urządzenie na bardzo znaczne straty. To też nowoczesna technika wysokich napięć dąży do zastosowania takich materiałów i wyrobów izolatorowych, które dawałyby całkowitą pewność ruchu.

Jako materiał, używany do wyrobu izolatorów przewodowych, stosuje się przeważnie porcelanę, najlepiej dzisiaj do tego się nadającą. Kwestja stosowania szkła, wysuwana silnie przed 20 laty, a potem prawie zarzucona, zjawia się znowu obecnie, znajdując zarówno zwolenników, jak i zdecydowanych przeciwników. Nie można jednak jeszcze wyrobić sobie co do tego obiektywnego sądu; trzeba poczekać na nowe wyniki z praktyki dzisiejszej. W tym artykule zajmiemy się tylko izolatorami porcelanowymi.

Izolatory przepustowe i wsporcze, zwłaszcza w pomieszczeniach zamkniętych, stosuje się coraz więcej z przetworów bakelitowych.

1. Wymagania ogólne, stawiane izolatorom.

Trzy czynniki elektryczne mają wpływ na budowę izolatorów: a) upływ prądu roboczego po powierzchni izolatora, uwarunkowany oporem powierzchniowym; b) przeskok iskry naokoło izolatora, a więc wytrzymałość na przeskok i c) przebicie elektryczne izolatora, a więc jego wytrzymałość na przebicie. Czynniki te zjawiają się pod wpływem napięcia, przyłożonego do izolatora. Izolator taki naprężany bywa elektrycznie (względem ziemi) przy układach jednofazowych połową napięcia roboczego, a przy trójfazowych — napięciem fazowym. Trzeba być jednak przygotowanym na to, że w razie zwarcia jednego przewodu z ziemią, wystąpi na nim względem ziemi całe napięcie robocze, wzgl. międzyfazowe. Poza tem ważnym czynnikiem są tu d) naprężenia mechaniczne, jakim izolator ma sprostać.

Rozpatrzmy po kolei te czynniki:

a) *Opór powierzchniowy.* Powierzchnia izolatora ma być takiego kształtu, aby prąd nie mógł po niej upływać nadmiernie do ziemi lub do drugiego przewodu. Poza własnościami samego materiału ma tu jeszcze bardzo duże znaczenie stan czystości powierzchni. Zanieczyszczenie, brud, sadza, pył, osady i t. d. bardzo znacznie zmniejszają izolacyjność po-

wierzchni. Pozatem deszcz, wilgoć, opary, mgła i t. p. wpływają, rozumie się, na to jeszcze bardziej, podważając prawie straty mocy, wywołane zanieczyszczeniem powierzchni (te ostatnie wynoszą ok. 1—2 watów na izolator). Unikać więc należy głębokich i wąskich szczelin, gdzie osadza się brud, który potem trudno daje się usuwać.

Z tego względu kształt izolatora przewodowego powinien być taki, aby nawet podczas deszczu pozostawały suche pasma powierzchni, oddzielające część zmoczoną od trzona izolatora. Z drugiej strony, deszcz lub wiatr oczyszczają powierzchnię izolatora, o ile ta pozostaje gładką i niewrażliwą na wpływy atmosferyczne. Porcelana posiada właśnie takie własności, w przeciwieństwie do szkła.

W ostatnich czasach stosują nawet periodyczne zmywanie izolatorów strumieniem wody, zwłaszcza w okolicach fabrycznych.

b) *Wytrzymałość na przeskok iskry.* Wyładowania powierzchniowe, których następstwem może być przeskok iskry, zależą od stanu powierzchni izolatora, wilgotności powietrza, stałej dielektrycznej materiału, pojemności izolatora i t. d., oraz od naprężenia wzdłuż powierzchni, zjawiającego się pod wpływem panującego napięcia. Te wszystkie czynniki uwzględnia się przy obliczaniu i budowie izolatora.

Inaczej pod tym względem zachowują się izolatory przewodowe, przepustowe i wsporcze; w każdym z tych typów inaczej bowiem kształtuje się pole elektryczne, co wynika z różnorodnego ułożenia ich okuć, stanowiących elektrody. Również przeznaczenie ich do pracy na powietrzu, czy też pod dachem, ma wpływ na ukształtowanie powierzchni izolatora.

Częścią konstrukcyjną izolatora przewodowego, mającą zabezpieczać go przed zbyt wczesnymi przeskokami iskry, jest klosz, wzgl. klosze. Kształt klosza powinien być tak dobrany, aby izolator sprostał stawianym mu w tym względzie warunkom. Klosz tylko w bardzo nieznacznym stopniu jest naprężany na przebicie tak, że przy obliczaniu izolatora prawie nie trzeba tego uwzględniać; natomiast trzeba go brać pod uwagę ze względu na wyładowania ślizgowe i przeskokowe. Przy omawianiu typów izolatorów zajmiemy się tem bliżej.

Właściwe wyładowanie powierzchniowe występuje na izolatorze w stanie suchym. Podczas deszczu powierzchnia górna izolatora staje się mokrą i przewodzącą aż do krawędzi klosza tak, że pod wpływem nadmiernego napięcia może nastąpić przebicie

powietrza między krawędzią klosza a trzonem lub zamocowaniem izolatora, ewentualnie w kilku stopniach, od klosza do klosza. Stan czystości powierzchni izolatora zatem na sam przeskok prawie nie wpływa.

Wysokość napięcia, przy którym występują wyładowania ślizgowe i przeskoki iskry, jest szczególnie ważnym czynnikiem przy ocenianiu izolatorów. Z jednej strony staramy się bowiem nie dopuścić do powstawania iskier ślizgowych znacznie wcześniej przed przeskokiem, aby nie ogrzewały zbyt długo izolatora; kształt zatem izolatora oraz napięcie początkowe wyładowań smużystych muszą być takie, aby wyładowania ślizgowe zjawiały się późno, tuż przed przeskokiem iskry. Z drugiej zaś strony przeskoki iskry musi stanowczo następować wcześniej, niż przebicie izolatora, które powoduje trwałe zniszczenie izolacji, podczas gdy przeskoki stanowią tylko chwilowe zwarcie przewodu z ziemią lub z drugim przewodem.

W ten sposób napięcie, przy którym następuje przeskoki iskry naokoło izolatora, czyli napięcie przeskoku iskry, jest szczególnie charakterystyczne dla danego typu izolatora. Napięcie to musi być zawsze niższe od napięcia przebicia izolatora. Napięcie przeskoku jest inne przy stanie suchym i przy stanie mokrym izolatora; napięcie przeskoku „na sucho” jest zwykle wyższe 20 do 50%, niż „na mokro”. Dążymy jednak do tego, aby obie wartości napięcia przeskoku były możliwie zbliżone do siebie, gdyż wtedy izolator jest lepiej wyzyskany; miarodajnym tu jest kształt izolatora „na mokro” — niekorzystniejszy.

Napięcie przeskoku oczywiście powinno być zawsze mniejsze od napięcia roboczego, aby urządzenie pracowało z pewnym stopniem pewności przeskoku (Δ_s), który jest przeto określony stosunkiem napięcia przeskoku V_s do napięcia nominalnego izolatora V ; zależnie od stanu powierzchni izolatora rozróżniamy stopień pewności przeskoku „na su-

cho” $\Delta_{ss} = \frac{V_{ss}}{V}$ i „na mokro” $\Delta_{sm} = \frac{V_{sm}}{V}$, gdzie indeksy s i m

oznaczają stan izolatora. Przy niższych napięciach stopień pewności przeskoku przyjmuje się większy, przy wyższych — mniejszy; robi się to ze względu na to, że naprężenie izolacji przewodów skutkiem fali wędrownych jest stosunkowo mniejsze przy napięciach wyższych, niż przy niższych. Np. projekt norm na izolatory opracowany przez Polski Komitet Elektrotechniczny (Przeł. Elektr. 1926, Nr. 12, str. 229

przepisuje, że izolator ma wytrzymać bez przeskoku przy sztucznym deszczu napięcie przynajmniej równe $(2. V + 10)$ kV, gdzie V jest napięciem nominalnem.

Stopień pewności „na sucho” jest zwykle 1,5 razy większy, $\Delta_{ss} = 1,5 \Delta_{sm}$.

c) *Wytrzymałość na przebicie.* Przy niskiem napięciu czynnikiem, warunkującym konstrukcję izolatora, jest głównie dążność do zapobieżenia wpływom elektrycznym po powierzchni w stanie mokrym; stąd zwiększenie drogi wpływów przez rowki, karby i t. p. Wytrzymałość zaś elektryczna na przebicie izolatora jest zwykle zapewniona już względami na wytrzymałość mechaniczną, która wymaga stosunkowo dużych przekrojów.

Przy wyższem napięciu jednak trzeba uwzględnić specjalne warunki elektryczne, w jakich izolator znajduje się pod napięciem, naprężającym go nie tylko na przeskok — o czem była mowa poprzednio, — ale także, w dużym stopniu, na przebicie. Przy obliczaniu zatem izolatorów należy ich kształt i wymiary tak dobrać, aby nigdzie nie było nadmiernego naprężenia, ani na przebicie, ani też na przeskoku iskry.

Ponieważ izolator nie ma kształtu geometrycznie prostego, nie można naprężeń w nim występujących obliczyć tak łatwo i prosto, jak w układach foremnych o polu prostolinijnym. Stosowanie metody wykresłej obliczania naprężeń jest niepraktyczne; uciekamy się przeto do metody przybliżonej, sprowadzając izolator do kształtów łatwo wyznaczalnych. W tym celu tę część izolatora, w której przypuszczalnie występuje największe naprężenie, rozpatruje się jako taki układ foremny, do jakiego najbardziej zbliża się kształtem. Obliczamy, rozumie się, tylko sam korpus, t. j. część izolatora, która głównie jest naprężana elektrycznie (na przebicie), i mechanicznie, po odzuceniu tych części, które nie przyczyniają się do zwiększenia wytrzymałości na przebicie (klosze i t. d.), lecz tylko mają na celu utrudnienie przeskoku iskry.

Przy izolatorach stojących oraz wiszących kołpakowych jest to stosunkowo proste, gdyż część izolatora między trzonem a zmoczoną główką lub kołpakiem można uważać jako układ walcowy lub kulisty wzgl. półkulisty. Jest to zresztą słuszne, choćby z tego powodu, że dążymy właśnie do tego, aby podobny kształt nadać izolatorom, gdyż wtedy rozkład pola jest najbardziej jednostajny, unikamy zaś ostrych zakrzywień i t. d.

Izolatory przepustowe zaś przedstawiają typowy przykład układu walcowego spółśrodkowego.

Napięcie przebicia izolatora powinno być wyższe, niż napięcie przeskoku, a zatem stopień pewności przebicia Δ_b , który jest określony stosunkiem napięcia przebicia V_b do napięcia nominalnego V , t. j. $\Delta_b = \frac{V_b}{V}$, powinien być większy od stopnia pewności przeskoku (na sucho i na mokro), czyli $\Delta_b > \Delta_s$. Np. według przepisów polskich (p. str. 77) Δ_b ma być przynajmniej $= 1,3 \Delta_{sm}$.

W ostatnich latach zaobserwowano jednak zjawisko, że izolatory, wykazujące przy próbach napięcie przebicia większe, niż napięcie przeskoku na sucho, zostają przebijane przy nagłych, bardzo znacznych przepięciach (fale uskokowe o bardzo stromym czole) przedtem, nim się wytworzy przeskok. Tłumaczy się to tem, że do przebicia warstwy powietrza (przeskok iskry naokoło izolatora) potrzeba, w warunkach pracy izolatora, czasu dłuższego, niż do przebicia porcelany, co przy nadmiernych naprężeniach następuje prawie momentalnie, podczas gdy tam wyładowania jarzące z ostrych krawędzi opóźniają powstawanie iskry. Jeżeli więc chcemy się uwolnić od takiego przypadku, należy dążyć, aby stosunek $\frac{V_b}{V_{ss}}$ był większy, niż stopień pewności przeskoku na mokro $\frac{V_b}{V_{ss}} > \frac{V_{sm}}{V}$.

Przy obliczaniu izolatorów przewodowych, kierujemy się następującymi założeniami: Zewnętrzny wymiar główki izolatora określony jest zwykle względami na wytrzymałość mechaniczną oraz na jego wyrób; z tego drugiego względu nie bierze się przy pewnych typach ścianek izolatora grubszych, niż 25 mm. O tem będzie jeszcze mowa później. Następnie uwzględnia się stopień pewności przebicia, jaki przepisujemy izolatorowi, t. zn. napięcie przebicia, krytyczne dla danego izolatora, bierze się kilka (2—6) razy większe, niż napięcie nominalne. Mając tak dobrane napięcie krytyczne, oblicza się największe naprężenia, występujące w dielektrykach, sprawdzając, aby nie przekroczyły granic dopuszczalnych dla danego układu, wzgl. materiału. Względę konstrukcji i wyrobu określają ostatecznie kształt i wymiary korpusu oraz zharmonizowanych z nim kloszy izolatora. Jeżeli izolator jest kilkukloszowy, obliczenie przerabia się dla poszczególnych kloszy i kontroluje dla całości.

Obliczenie izolatora przepustowego robi się podobnie; obliczenie na przeskok gra tutaj większą rolę.

d) *Wymagania mechaniczne.* Izolatory przewodowe są wystawione na bardzo duże naprężenia mechaniczne, pochodzące od ciężaru zawieszonych przewodów, parcia wiatru, sadzi i t. d., muszą zatem sprostać tym działaniom. Mogą to być zarówno naprężenia ściskające, jak rozciągające i zginające i to nie tylko występujące w normalnym kierunku, ale także w innych możliwych. Dużą rolę grają tu także uszkodzenia złośliwe (uderzenia kamieni i t. d.); klosze izolatora są tu szczególnie narażone. Z tego powodu daje się często izolatorom kolor ciemny, aby nie przyciągać uwagi białemi plamami.

Nowoczesne wymagania pod względem naprężeń idą coraz wyżej. Normalnie żąda się już, aby izolator wytrzymał kilka i więcej tysięcy kilogramów.

Pozatem występują w izolatorze naprężenia wewnętrzne, skutkiem wpływu dużych różnic temperatury, przy gwałtownej zmianie stanu pogody, np. ulewny deszcz w upalny dzień. Różnice temperatury działają szkodliwie, zwłaszcza wtedy, gdy materiał ma za małą wytrzymałość, gdy jest za mało elastyczny, i gdy się znacznie różnią współczynniki rozszerzalności cieplnej materiałów, wchodzących w skład izolatora. Porcelana jest właśnie takim materiałem, który nie wytrzymuje dużych naprężeń międzycząsteczkowych, a właśnie te naprężenia częściej, niż przyczyny mechaniczne lub elektryczne, są powodem zepsuć izolatorów i to tem częściej, im grubsza jest warstwa dielektryku. Wobec tego wymaga się, aby ścianki niektórych typów izolatorów, a właściwie poszczególnych jego kloszów, nie były grubsze od 25 mm. Naprężenia mechaniczne izolatora przewodowego leżą zwykle niedaleko granic dopuszczalnych i dlatego takie izolatory łatwiej są narażone na uszkodzenia. Grubość ścianki nie powinna być przeto większa, niż tego wymaga wytrzymałość elektryczna i mechaniczna i niż to daje odpowiednie, prawidłowo przeprowadzone, obliczenie.

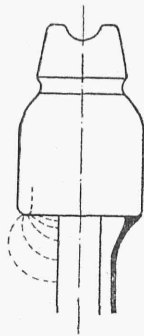
Duże naprężenie wewnętrzne w izolatorach może wywołać kit, używany do zmocowania kloszów izolatora ze sobą lub części żelaznych z porcelanowemi. Kit, przeważnie stosowany, ma rozszerzalność większą, niż porcelana, jest stosunkowo dosyć porowaty, skutkiem czego nasiąka wilgocią i pęcznieje tak, że może wywołać nadmierne naprężenia porcelany. To też kwestja wynalezienia kitu takiego, któryby nie miał tych ujemnych cech, jest obecnie tematem

prac i badań, niestety — jak dotąd — bez zdecydowanie korzystnego wyniku.

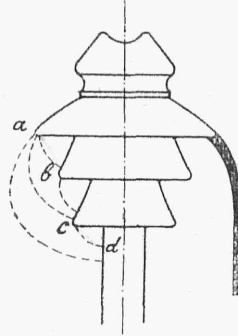
2. Izolatory stojące.

Pierwotny kształt izolatorów stojących wysokiego napięcia był taki sam, jak izolatorów napięcia niskiego, które początkowo były odpowiednio powiększonymi izolatorami telegrafowymi. Przez zwiększenie drogi wyładowań powierzchniowych chciano uzyskać większą wytrzymałość elektryczną. Mały odstęp krawędzi klosza od rdzenia i głębokie a wąskie szczeliny, — to były główne ich wady, powodujące nieprzydatność takiego kształtu izolatorów przy wysokim napięciu.

Izolator taki, najprostszej konstrukcji, z jednego nasadzonego na trzon klosza, mógł być używany tylko przy napięciach najniższych, ze względu na zachowanie się jego podczas deszczu (*Rys. 33, a*). Wsku-



Rys. 33, a.



Rys. 33, b.

tek tego, że zmoczona powierzchnia izolatora staje się przewodzącą i traci zdolności izolacyjne, droga wyładowań znacznie się zmniejsza, tworzy ją tylko odstęp dolnej powierzchni izolatora od trzona. Ponadto, podczas deszczu, krople spadającej wody starają się poruszać w kierunku natężenia pola, mają więc dążność do trzona izolatora, przez co zmniejszają wytrzymałość na przeskok iskry. — Przez zastosowanie szerszego klosza (*Rys. 33, b*), odchylającego się na zewnątrz, możemy nadać kroplom wody kierunek nieco odśrodkowy, przez co zwiększa się wytrzymałość na przeskok podczas deszczu.

Przy wyższych napięciach stosujemy dwa lub więcej takich kloszy. Droga przeskoku iskry wtedy zwiększa się i staje się równa sumie tych dróg między poszczególnymi kloszami. Podczas deszczu droga ta liczy się jako odstęp niezmochnych części kloszy.