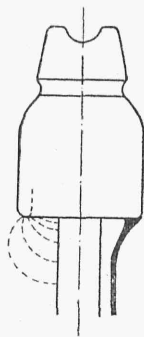


prac i badań, niestety — jak dotąd — bez zdecydowanie korzystnego wyniku.

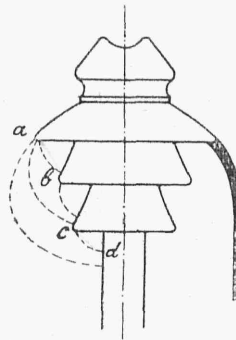
## 2. Izolatory stojące.

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.



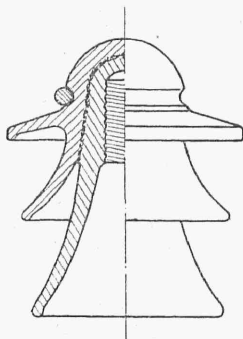
Rys. 33, b.

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 odstępy niezmoczonych części kloszy.

Poznanwanie praw naprężeń w polu elektrycznym oraz praktyczne doświadczenia nasuwały więc myśl rozszerzenia klosza, a więc zwiększania odstepu jego dolnej krawędzi od trzona. Napięcie przeskoku się zwiększało, brud i kurz w szczelinach był unoszony z wiatrem i deszczem, wyładowania jarzące w szczelinach były utrudnione. To doprowadziło do kształtu t. zw. *d e l t a* (od litery greckiej  $\Delta$ , jaką tworzy przekrój izolatora), wprowadzonego w r. 1897 przez fabrykę porcelany w Hermisdorfie (Niemcy) i później przez wszystkie inne fabryki przyjętego. Kształt ten stopniowo się ulepsza, aż wreszcie dzisiejszy typ deltowy przedstawia się, jak np. *Rys. 34*, przepisany przez związek niemieckich elektrotechników.

Przy obliczaniu izolatora ze względu na przeskoc iskry ma się na uwadze rozkład pola elektrycznego między drutem wiązałkowym, okręconym naokoło szyjki, a trzonem izolatora. Gdy izolator jest zmoczony z wierzchu, powierzchnie zmoczone kloszy stają się przewodzące,—pole rozciąga się zatem od krawędzi górnego klosza mokrego do drugiego klosza, wzgl. do trzona. Ta droga wolnego przeskoku iskry jest miarodajna.



Rys. 34.

Przewód, umocowany na izolatorze, oraz poprzecznik i t. d. wpływają znacznie na rozkład pola i mogą się przyczynić do wcześniejszych wyładowań.

Okoliczność, że zmoczony klosz zewnętrzny izolatora staje się przewodnikiem, nasunęła myśl pokrycia klosza zewnętrznego daszkiem metalowym, połączonym elektrycznie z przewodem. W ten sposób otrzymujemy stale bardziej jednostajny rozkład pola, a przez to zmniejszenie naprężeń. Pojemność, a także i ciężar takiego izolatora przez to znacznie się zwiększają, co nie zawsze jest pożądane.

Pole elektryczne będzie jeszcze korzystniejsze, jeżeli zastosujemy u spodu izolatora pierścień lub kosz ochronny. Wtedy wyładowania odbywać się będą między daszkiem i pierścieniem, zdala od części izolacyjnych, które w ten sposób nie będą narażone na lokalne ogrzania, mogące uszkodzić izolator mechanicznie i elektrycznie.

Zwiększenie odstepu dolnej krawędzi klosza od trzona nie jest jednak jedynym środkiem do zwiększenia napięcia przeskoku, a więc do przystosowania typu izolatora do większego napięcia roboczego. Według praw przebicia powietrza, które można tu zastosować, napięcie przebicia rośnie wolniej, niż odstęp elektrod. W ten sposób zwiększając średnicę klosza doszlibyśmy wkrótce do zbyt wielkich wymiarów izolatora. Można to natomiast osiągnąć przez rozłożenie drogi wyładowań na kilka części, oddzielonych od siebie — w razie deszczu — partjami suchymi, a więc nieprzewodzącymi. Otrzymuje się to przez zastosowanie kloszy pośrednich, mających na celu osłanianie części powierzchni izolatora od deszczu. W ten sposób na dolny klosz przypadnie tylko część napięcia, odległość c—d (na Rys. 33, b) może być zatem zmniejszona.

Dokładne obliczenie napięcia przeskoku takiego izolatora jest prawie niemożliwe, gdyż nie można ściśle wyznaczyć przebiegu pola w takim układzie. Pewien punkt zaczepienia dać jednak może obliczenie empiryczne, na podstawie wykonanych konstrukcji izolatorów i ich pomierzonego napięcia przeskoku. Idzie tu o znalezienie długości drogi przeskoku a-b-c-d (Rys. 33, b) w zależności od napięcia krytycznego.

Obliczenie, dokonane na podstawie materiału, znajdującego się w rozporządzeniu autora, dało następujące wyniki dla napięcia przeskoku na mokro: Napięcie to ( $V_{pm}$ ) w kV, potrzebne do wytworzenia przeskoku na drodze przeskoku  $a$  w cm, da się wyrazić wzorami:

$$V_{pm} = (3,9 \ a + 8) \text{ kV (izol. niem. normal.)}$$

$$V_{pm} = (3,7 \ a + 8) \text{ kV (izol. franc. C}^0\text{. Gen. El. Cer.)}$$

$$V_{mp} = (5,2 \ a + 8) \text{ kV (izol. amer. Thomas C.)}$$

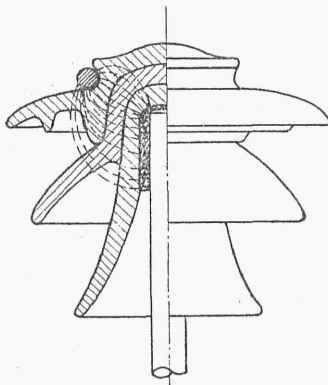
Wynika z tego, że izolatory francuskie i niemieckie są pod tym względem prawie równowartościowe, amerykańskie zaś bardziej wytrzymałe.

Cyfry powyższe dają naogół niezłą orientację przy pobieżnem ocenianiu izolatorów. Na podstawie prób i pomiarów można więc przyjąć orientacyjnie, że do wywołania przeskoku potrzeba 4 — 5 kV na 1 cm tej drogi. Rozumie się, że trzeba tu uwzględnić jeszcze stopień pewności, jak się chce dobrać dla dane-

go typu, to znaczy, że naprężenie będzie wtedy kilka razy mniejsze.

Typ deltowy odznacza się wydłużoną budową, przez co trzon takiego izolatora jest stosunkowo długi i gruby. Przy stosowaniu większych naprężeń mechanicznych w linjach jest to słabym punktem. Poza-tem szczeliny w izolatorach deltowych jeszcze mogą być za wąskie. To doprowadziło do izolatorów niższych, o szerszym kloszu, które ponadto wykazują specjalne własności elektryczne, mające na celu utrudnienie właściwych wyładowań powierzchniowych. Droga do tego prowadzi mianowicie przez odpowiednie ukształtowanie kloszy tak, aby na nich nie występowały naprężenia styczne; powinny więc one być ile możności prostopadłe do kierunku natężenia pola. Poza-tem rozkład napięcia wzdłuż tworzącej powierzchni klosza powinien być jednostajny, osiąga się to jednak tylko w polu jednostajnym, a więc przy izolatorach dzisiejszego kształtu tego nie można uzyskać.

W ostatnich paru latach pojawiły się izolatory, będące wyrazem dążenia do takich form, jakie wynikają z powyższych rozważań. Są to izolatory szerokokloszowe. (Rys. 35). Korpus takiego izolatora jest możliwie dostosowany do linii pola elektrycznego, a jego klosze są do nich prostopadłe, ponadto trzon izolatora leży poniżej szyjki, przez co korpus izolatora jest naprężany w górnej części na ścinanie. — Ukształtowanie pola jest właśnie wynikiem takiego ułożenia umocowania przewodu i trzona izolatora.



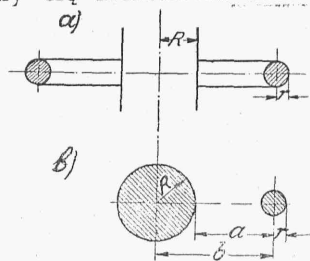
Rys. 35.

Wytrzymałość na przebicie jest, z powodu grubszych ścianek, większa u takich typów, niż u deltowych. Z tego też względu wchodzą one coraz więcej w użycie w ostatnich czasach, kiedy zostało stwierdzone, że izolatory deltowe o cienkich ściankach są dosyć wrażliwe na nagłe przepięcia.

Obliczenie izolatora na przebicie można wykonać tylko w przybliżeniu, po-

nieważ izolator taki nie przedstawia układu foremnego podstawowego, którego naprężenia łatwo obliczyć. Przez sprowadzenie jednak jego do przybliżonego układu foremnego można, względnie łatwo, przeliczyć orientacyjnie występujące w nim naprężenia. Pamiętać jednak trzeba, że izolator inaczej jest naprężany w stanie suchym, a inaczej w mokrym.

Dla przykładu zajmijmy się izolatorem deltowym. Miejsce, w którym należy się spodziewać największych naprężeń w stanie suchym, jest przestrzeń między szyjką, okręconą drutem wiązałkowym, a trzonem. Część tę przedstawia w przybliżeniu układ (Rys. 36 a) pierścienia o przekroju okrągłym (promień  $r$ ) i współśrodkowy z nim walec (o promieniu  $R$ ).



Rys. 36.

Układ ten można sprowadzić do b): dwa walce równoległe ( $R$  i  $r$ ). Odległość  $a$  jest grubością izolacji, która ma wytrzymać napięcie robocze  $V$  z pewnym stopniem pewności ( $\Delta_b$ ). Obliczenie naprężeń, występujących w takich układach, można znaleźć w podręcznikach. Największe naprężenie będzie (na wewnętrznej stronie pierścienia):

$$F_r = V \frac{\sqrt{b^2 + r^2 - R^2 + 2br}}{b^2 + r^2 - R^2 - 2r} \cdot r \log_n \frac{b^2 - (r-R)^2 + \sqrt{m}}{b^2 - (r-R)^2 - \sqrt{m}} \quad (1)$$

gdzie  $m = (b^2 - r^2 - R^2)^2 - 4r^2 R^2$ .

Otrzymana w ten sposób wartość  $F_r$  będzie oczywiście mniejsza, niż w rzeczywistości i to tem bardziej, im bardziej przekrój  $r$  odbiega od kołowego (np. kilka razy okręcony drut wiązałkowy).

W stanie mokrym zmoczona główka izolatora przedstawia jedną elektrodę (zewnętrzną) układu kulistego współśrodkowego, którego drugą elektrodą (wewnętrzną) jest trzon, wzgl. jego koniec kulisto wyrobiony. Naprężenie w takim układzie łatwo obliczyć według znanych wzorów. Czasem izolator niema główki kulistej, lecz walcową; wtedy traktuje się go jako układ walcowy współśrodkowy.

Ze względu na to, że trzon izolatora jest umieszczony w spoiwie, oraz, o ile izolator jest złożony

z kilku części skitowanych ze sobą cementem, trzeba przy obliczeniach uwzględnić jeszcze to, że właściwie mamy tu do czynienia z układami uwarstwionymi, o różnych stałych dielektrycznych.

Proste przeliczenie pokaże, że przez dobór (małej) stałej dielektrycznej i grubości warstwy kitu, można zmniejszyć naprężenia elektryczne w ściance porcelanowej. Kit jednak musi być z materiału, wytrzymującego zwiększone naprężenia i musi szczelnie przylegać do trzona i do porcelany, aby nie tworzyły się wyładowania jarzące. — Umocowanie izolatora za pomocą materiału, ulegającego rozkładowi pod wpływem tych wyładowań, np. konopie surowe, nie nadaje się przeto przy wysokim napięciu. W razie konieczności ich użycia, powinny być dokładnie przesycone olejem (lnianym); wtedy przy obliczaniu można przyjąć jednolitą stałą dielektryczną (ok. 3) dla tej warstwy. Lepszy jest jednak kit cementowy.

Stosowanie do wyrobu izolatorów materiałów o różnych stałych dielektrycznych w celu wyrównania naprężeń elektrycznych jest niepraktyczne ze względów technicznych.

Przy wyższych napięciach nie wystarczy proste zgrubienie ścianek izolatora i powiększenie jego wymiarów. Ze względu na wytrzymałość mechaniczną i własności porcelany nie jest wskazane stosowanie tutaj grubszych ścianek. Wtedy trzeba powiększyć liczbę oddzielnych kloszy do 2, 3 lub 4 (więcej się już obecnie nie stosuje) i klosze te odpowiednio ze sobą mocno złączyć. Można to zrobić za pomocą obsadzenia, zlepiania lub skitowania.

Obsadzenie, za pomocą przesyconych olejem konopi jest, jak to wyżej było mówione, niepraktyczne i zarzucone.

Zlepianie odbywa się za pomocą polewy w piecu; jest ono mechanicznie bardzo dobre, ale nie można zupełnie uniknąć pór i szczelin. Pozatem ściśle spójone części izolatora tworzą jednolitą całość, zbyt grubą tak, że istnieje możliwość występowania naprężeń wewnętrznych. Poszczególne części takiego izolatora nie mogą być próbowane oddzielnie, lecz dopiero po wypaleniu.

Skitowanie zaś odbywa się za pomocą cementu z dodatkiem żywicy lub parafiny. Izolatory skitowane są narażone na wpływy kitu, który, o ile rozszerza się silniej (jak też jest zwykle) od porcelany, może spowodować pęknięcia i t. d. Jak wyżej zaznaczono, robi się wysiłki, aby wynaleźć kit o tej samej rozszerzalności, co porcelana i niewchłaniający wody. Taki

wynalazek będzie rozwiązaniem kwestji izolatorów składanych.

Kit używany do sklejania poszczególnych kloszy izolatora musi być elastyczny. Próbowano podnieść elastyczność kitu przez dodanie lakierowanej powłoki, przez wkładki elastyczne i t. p., ostatnio zaś zalecają dodanie żywicy do cementu, co ma dawać dobre wyniki. Są to jednak niepewne środki, gdyż niewiadomo, jak długotrwałą jest ich elastyczność. Miejsce skitowania powinno się stykać z powietrzem tylko na bardzo wąskiej przestrzeni, aby wysychanie kitu trwało długo. Im warstwa kitu cieńsza, tem dłużej schnie. Izolatory o grubej warstwie kitu są mniej trwałe.

Stwierdzono, że izolator z biegiem lat się starzeje, wykazuje większą stratność i częstokroć, bez żadnej wyraźnej przyczyny, zostaje uszkodzony, być może, że właśnie kit jest tego przyczyną.

Liczba kloszy izolatora zależy od jego przeznaczenia. Normalnie stosuje się izolatory trójkloszowe. Tam zaś, gdzie mamy do czynienia z oparami słonecznymi i t. p. (np. na brzegu morskim), lepiej stosować dwukloszowe, które są łatwiejsze do oczyszczania przez deszcz, wiatr i t. p. Ponieważ jednak ich wytrzymałość na przeskok jest mniejsza, trzeba zwykle brać większy typ, niż wypada. Izolatory czterokloszowe stosuje się przy napięciach wyższych od ok. 50kV.

Wobec tego, że kit, sklejający izolatory, długo wysycha, powinno się je próbować tylko po dostatecznie długim czasie wysychania.

Izolatory umocowywa się za pomocą trzonów z żelaza kutego lub zlewnego, opatrzonych u góry nacięciem, aby się trzymały kitu. Podobnie jak kit, służący do spojenia kloszy izolatorowych, musi być kit, za pomocą którego umocowywa się izolator na trzonie, pierwszej jakości. Najlepszy jest kit cementowy; używany dawniej marmurowy, okazał się za mało wytrzymały na naprężenia mechaniczne. Trzon izolatora nie powinien być opatrzony występami, wzgl. rowkami na całej długości, wchodzącej w kit, gdyż to uniemożliwi mu swobodne rozciąganie się pod wpływem zmian temperatury; najlepiej dać na samym tylko końcu takie występy lub nacięcia zadzierzyste.

### 3. Izolatory wiszące.

Izolatory stojące nie mogą być stosowane przy wszelkich napięciach wobec tego, że ciężar ich, a więc i cena, szybko rosną z napięciem. Powyżej 60 kV zwykły izolator (deltowy) przybiera zbyt duże wy-