

## ROZDZIAŁ X.

### Wytrzymałość elektryczna izolatorów.

Wszystkie obwody elektryczne używane w technice są izolowane za pomocą materiałów izolacyjnych. Zadaniem każdego izolatora jest przede wszystkim powstrzymać przepływ prądu na drodze nieodpowiedniej.

Jeżeli izolator zaczyna przepuszczać znaczny prąd, to mówimy, że izolator przebiło prądem.

Wokoło obwodów elektrycznych mamy zawsze pole elektryczne. Wszystkie więc izolatory znajdują się w polu elektrycznym.

Izolator zostaje przebity wtedy, gdy natężenie tego pola elektrycznego, czyli spadek potencjału na jednostkę długości drogi w izolatorze będzie dość duży.

Miarą wytrzymałości elektrycznej izolatora jest liczba wyrażająca ten najmniejszy spadek potencjału w izolatorze na jednostkę długości linii elektrycznej, przy którym izolator zostaje przebity.

Tak np, gdy mamy izolator pomiędzy dwiema elektrodami t. j. przewodnikami  $A$  i  $B$ , — wytrzymałością tego izolatora na przebicie będzie najniższe napięcie między elektrodami  $A$  i  $B$  przypadające na jednostkę grubości izolatora, przy którym izolator przebije, o ile pole elektryczne w izolatorze jest wszędzie jednostajne. —

Wyznaczenie dokładne w ten sposób określonej wytrzymałości elektrycznej jest bardzo trudne, gdyż wytworzenie jednostajnego pola elektrycznego pomiędzy elektrodami dokładnie w całej przestrzeni wypełnionej izolatorem jest prawie niemożliwe. Drobne nierówności na powierzchni elektrod wywołują miejscowe skupienia linii elektrycznych.

Tem bardziej różne kształty elektrod i obecność przewodników postronnych, oraz uziemienie elektrod ma wpływ wyraźny na układ pola elektrycznego, a przez to najniższe napięcie przypadające na jednostkę długości najkrótszej linii elektrycznej, łączącej elektrody, nie jest bynajmniej wartością stałą dla danego izolatora i zależy od odległości elektrod, od ich kształtu i t. p.

Po za tem, ściśtemu wyznaczeniu wytrzymałości elektrycznej izolatorów stoi na przeszkodzie nieokreśloność składu chemicznego i własności

fizycznych izolatorów, które są zawsze mieszaninami różnych mniej lub więcej złożonych ciał o dość niejednorodnym składzie.

**1. Izolatory gazowe.** Prąd elektryczny w gazie może płynąć wtedy, gdy gaz jest zjonizowany. Jonizacja gazu jak wiadomo odbywa się pod wpływem najrozmaitszych czynników.

Gdy gaz zostaje przebity prądem jedynie pod wpływem pola elektrycznego, tłumaczymy to sobie jonizacją wywołaną przez oddziaływanie na obojętne atomy gazu wolnych elektronów, znajdujących się w przyspieszonym ruchu pod wpływem pola elektrycznego. Jeżeli prędkość ruchu elektronów będzie dość wielka, to gaz lawinowo jonizuje się, gdyż nowopowstające elektrony jonizują nowe atomy obojętne i t. d. Skąd się jednak biorą pierwsze elektrony? — niewątpliwie każdy gaz zawsze posiada chociaż drobną liczbę jonów obok atomów obojętnych elektrycznie, gdyż każdy gaz był chociaż przez chwilę pod wpływem czynników jonizujących.

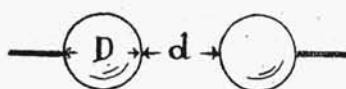
Jeżeli wystawimy sobie warstwę takiego gazu pomiędzy dwoma metalowymi płytkami, to jasne jest, że może wystarczyć tylko w jednym miejscu nadmierne natężenie pola, żeby gaz przebiło, gdyż jony powstające w tym jednym miejscu w wielkiej ilości rozlatują się wokoło i wypełniają przestrzeń między elektrodami.

Układ linii pola elektrycznego zależy od kształtu elektrod, to też wytrzymałość izolatora, liczona jako napięcie przypadające na jednostkę odległości między elektrodami, jest w wysokim stopniu zależna od właściwości powierzchni elektrod, a głównie od ich kształtu.

Te elektrody, które wywołują najmniejsze skupienia linii elektrycznych, a więc kuliste i wogóle ograniczone powierzchniami o dużych promieniach krzywizny najmniej narażają gaz na przebicie i układ takich przewodników wytrzymuje napięcie wyższe od innych bez przebicia.

Gęstość gazu ma wielki wpływ na jonizację. Im gaz jest gęstszy tem trudniej jonizuje się, to też tem większa jest jego wytrzymałość na przebicie.

Wytrzymałość elektryczna powietrza atmosferycznego w zwykłych warunkach wynosi około  $25,7 \frac{kV}{cm}$ <sup>1)</sup> oczywiście z zastrzeżeniem, że pole elektryczne jest możliwie jednostajne.



Rys. 87.

Praktyczne znaczenie szczególnie mają liczby, wyrażające skuteczną wartość napięcia sinusoidalnie zmiennego pomiędzy elektrodami kulistymi rys. 87, przebijającego iskrą powietrze o prężności 740 mm. rtęci, przy 20°

<sup>1)</sup> Dr. Ing. Günther-Schulze „Über die elektrische Festigkeit“.

i przy 50% względnej wilgotności:<sup>1)</sup> Zestawienie wartości skutecznych tych napięć w kilowoltach podajemy w tablicy:

Odległość elektrod, d	Średnica kul—D				
	1 cm	2 cm	5 cm	10 cm	15 cm
1 cm	19,9	21,5	22,8	21,0	21,0
2 "	26,6	36,4	41,2	41,9	41,3
3 "	30,3	44,5	55,7	59,9	58,6
4 "	33,0	49,5	67,3	75,5	75,6
5 "	35,0	53,4	76,2	88,2	91,4
6 "	36,2	56,4	83,2	100,0	105,6
7 "	—	59,0	88,9	110,3	118,5
8 "	—	61,2	93,8	120,0	130,7
9 "	—	63,0	98,3	128,2	141,5
10 "	—	64,6	102,3	135,4	151,3
11 "	—	66,0	105,8	142,0	160,0
12 "	—	67,2	109,0	148,1	168,0
13 "	—	—	111,7	153,3	175,1
14 "	—	—	114,7	158,5	183,4
15 "	—	—	117,3	163,6	189,0

W izolatorach gazowych duże praktyczne znaczenie mają jeszcze przebicia częściowe w pobliżu przewodników, skutkiem których mamy tak zwane wyładowania jarzące. Przy tych wyładowaniach w pobliżu powierzchni przewodników powstają zjawiska świetlne świadczące o przepływie prądu.

Wyładowania takie pochłaniają energję i muszą być brane pod uwagę przy projektowaniu urządzeń na wysokie napięcie.

Wyładowania jarzące wokół przewodów drutowych, prowadzących prąd, noszą nazwę „korony” i z tego względu mówimy tu o stratach energii na koronę.

W linjach przewodów stosowanych w praktyce straty znaczne spostrzegamy już przy napięciach kilkudziesięciu tysięcy woltów.

Metalowe części przyrządów dla wysokiego napięcia pograżamy często w oleju lub nadajemy im kształt i układ odpowiedni tak aby uniknąć wyładowań jarzących.

Zamiast oleju czasem stosuje się sprężony do 20 atm. dwutlenek węgla.

**2. Izolatory płynne.** Według współczesnych wyobrażeń prąd elektryczny przebija izolatory płynne w podobny sposób jak gazowe. Np. w oleju,

<sup>1)</sup> W. Weicker E. T. Z. 1911. str. 436.

który jest jedynym izolatorem płynnym używanym na szeroką skalę w praktyce, znajdują się zawsze chociaż drobne ilości wody, zawierającej w roztworze sole czy kwasy, słowem elektrolit zjonizowany. Pod wpływem silnego pola elektrycznego tam płyną lokalne prądy wywołujące ciepło i przejście elektrolitów w stan pary. Gdy wytworzy się taki kanalik wypełniony parą elektrolitu płyn izolujący zostaje przebity, gdyż tu może już płynąć silny prąd elektryczny wytwarzający wielkie ilości ciepła, przy małej mocy źródła prądu mamy iskrę przy dużej — łuk elektryczny. Jeżeli napięcie między elektrodami szybko obniży się, to prąd słabnie cząsteczki oleju zalewają powyższy kanalik.

Oleje używane w praktyce do chłodzenia i izolowania transformatorów i wyłączników mają wytrzymałość elektryczną około  $100 \text{ kV/cm}$  (według Petersen'a.)

Z powyższych rozważań wynika, że chcąc zapewnić dobre własności izolacyjne izolatorowi płynnemu należy zmniejszyć zawartość cząsteczek elektrolitu, a więc przede wszystkim usunąć wilgoć.

**3. Izolatory stałe.** Wszystkie izolatory stałe używane w praktyce: mika, porcelana, guma, papier nasycony, drzewo nasyczone i t. p. są w pewnym, chociaż bardzo słabym stopniu — przewodnikami elektryczności, a więc zawierają w niewielkiej ilości wolne jony. Z tego powodu niektórzy nazywają je „pseudodielektrykami”.

Ta okoliczność uważana jest obecnie za decydującą przy wyjaśnieniu zjawiska przebicia.

Pod wpływem wielkiego natężenia pola elektrycznego prąd w izolatorze może przybrać bardzo wielką gęstość (dużo amperów na  $\text{mm}^2$ ), gdyż jony w izolatorze są rozrzucone nierównomiernie i zawsze znajdzie się „żyłka” o lepszej przewodności; tam wywiązuje się dużo ciepła w małej przestrzeni — stąd wysoka miejscowa temperatura.

Pod wpływem wzrostu temperatury zwiększa się przewodnictwo a z nim rośnie prąd — ogrzewają się cząsteczki sąsiednie, „żyłka” rozszerza się, słowem izolator samoczynnie staje się coraz lepszym przewodnikiem.

Wreszcie wzdłuż rozszerzonej „żyłki” tworzy się kanalik wypełniony przewodzącym pseudoizolatorem; wtedy płynie silny prąd, który daje dużo ciepła, topi i spala izolator przebijając w nim dziurkę.

Wobec takiego poglądu na własności izolatorów stałych, lepsze są takie izolatory, których przewodność jest mniejsza, stałsza, a głównie mniej skłonna do wzrostu przy niewielkiem podwyższaniu się temperatury.

Najmniejszy spadek potencjału na jednostkę długości linii elektrycznej wewnątrz izolatora, przy którym zachodzi samoczynny wzrost przewodności aż do przebicia wyraża wytrzymałość elektryczną izolatora.

Liczby otrzymane z różnych doświadczeń naogół są chwiejne, głównie ze względu na różnorodny skład pozornie jednakowych materiałów.

Według Schweiger'a<sup>1)</sup> wytrzymałość elektryczna w kilowoltach na centymetr wynosi dla kablowego papieru nasyczonego: od 180 do 300  $\frac{kV}{cm}$ , a dla gumy twardej, szkła i miki: od 500 do 1000  $\frac{kV}{cm}$ .

Przy izolatorach stałych oprócz zdolności izolacyjnej skośnej, pewną rolę odgrywa przewodność powierzchniowa, gdyż prąd może zawsze ominąć izolator i znaleźć drogę od jednej elektrody do drugiej po powierzchni izolatora, może więc nastąpić przebicie powierzchniowe. Tu oczywiście odgrywają rolę własności powierzchni izolatora stałego i własności ośrodka płynnego czy lotnego, w którym stały izolator jest zanurzony.

Głównie tu chodzi o skłonność izolatora stałego do skupienia na powierzchni cząstek o charakterze elektrolitu, a więc przede wszystkim wilgoci.

Dobłą izolację powierzchniową zapewniają: smoły, oleje, bursztyn, parafina, których powierzchnia nie zwilża się tak łatwo.

---

<sup>1)</sup> Dr. Ing. A. Schwaiger. Lehrbuch der elektrischen Festigkeit der Isoliermaterialien.