

obliczyć pojemność takiego układu (izolatory przepustowe, kable, przewody).

Najważniejsze znaczenie dla konstrukcji izolacyjnych mają układy kuliste i walcowe.

3. Układy izolacyjne kuliste.

Kula izolowana. — Najprostszym układem kulistym jest kula metalowa o promieniu r cm, znajdująca się dielektryku o stałej dielektrycznej ϵ w takiej odległości od innych przedmiotów, że działanie jej ładunku $+Q$ na tamte przedmioty można pominąć. Wiemy, że ładunek takiej kuli możemy sobie wyobrazić jako skupiony w jej środku i że potencjał kuli w każdym jej punkcie jest ten sam i równy

$$V = \frac{1}{\epsilon} \frac{Q}{r} \quad 9 \cdot 10^{11}.$$

Ładunek kuli wytwarza pole, którego linie wychodzą promieniowo z powierzchni kuli. Naprężenie w punkcie odległym o x od środka kuli otrzyma-

my, podstawiawszy we wzorze (1. a) $D = \frac{Q}{4\pi x^2}$,

$$F_x = \frac{Q}{\epsilon x^2} \cdot 9 \cdot 10^{11} \text{ V/cm};$$

jest więc ono odwrotnie proporcjonalne do stałej dielektrycznej i do kwadratu odległości od środka kuli. Wprowadziliśmy do ostatniego wzoru wartość na potencjał V_x w tym punkcie, pochodzący od ładunku

Q i uwzględniając, że $Q = \epsilon \frac{V_x x}{9 \cdot 10^{11}}$, otrzymamy wreszcie

$$F_x = \frac{V_x}{x} \text{ V/cm} \quad (14)$$

Naprężenie w jakimś punkcie dielektryku otaczającego kulę naładowaną jest więc równe potencjałowi w tym punkcie, podzielonemu przez odległość tego punktu od środka kuli.

Największe naprężenie dielektryku będzie dla $x = \text{minim.} = r$, t. j. na powierzchni kuli. Ponieważ potencjał tam ma wartość V , przeto

$$F_m = \frac{V}{r} \text{ V/cm.} \quad (15)$$

Wzór ostatni stwierdza nader ważne zjawisko, że im elektroda ma mniejszy promień krzywizny, tem większe jest naprężenie



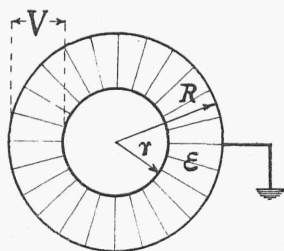
nr 894

nie na jej powierzchni, a więc i w dielektryku tuż przy jej powierzchni.

Daje to ogromnie ważną wskazówkę, aby przy wszelkich konstrukcjach o wysokim napięciu unikać ostrych zakrzywień i załamania, a tembardziej ostrzy i występów, na których powstaje większe naprężenie, niż na sąsiednich częściach przewodzących pod napięciem. Tam też zjawiają się przedewszystkiem wyładowania, będące następstwem nadmiernego naprężenia izolatora. Jest to t. zw. wpływ ostrzy, bardzo dający się we znaki wszelkim konstrukcjom przy wysokim napięciu. Aby go uniknąć, dążymy do stosowania form o zakrzywieniach możliwie łagodnych.

Jako układy kuliste izolowane można uważać kuliste końcówki jednej elektrody, dostatecznie oddalone od drugiej, stosowane przy wysokich napięciach dla uniknięcia wcześniejszych wyładowań. Wreszcie, w pewnych razach, można każdy występ powierzchni przewodzącej sprowadzić, z pewnem przybliżeniem, do powierzchni kulistej.

Kondensator kulisty (Rys. 7). — Powierzchnia



Rys. 7.

naładowanej kuli metalowej o promieniu, r jest powierzchnią ekwipotencjalną. Powierzchnia kulista, zatoczona do niej koncentrycznie promieniem $R > r$, będzie również ekwipotencjalna. Wypełniwszy przestrzeń między temi powierzchniami dielektrykiem o stałej ϵ , otrzymamy kondensator kulisty.

$$\text{Pojemność jego } C = \frac{\epsilon R r}{R - r} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-11} \text{ far.}$$

Według wzoru (1. c) naprężenie na powierzchni kuli wewnętrznej

$$F_r = -Q \frac{d}{dr} \left(\frac{R - r}{\epsilon R r} \right) \cdot 9 \cdot 10^{11} = \frac{Q}{\epsilon r^2} 9 \cdot 10^{11} \text{ V/cm.}$$

Ponieważ $Q = C.V$, gdzie V jest napięciem przyłożonem do kondensatora, przeto

$$F_r = \frac{R V}{r(R - r)} \text{ V/cm} \quad (16)$$

Jest to zarazem największe naprężenie występujące w tym układzie.

Naprężenie zaś najmniejsze będzie na powierzchni wewnętrznej kuli zewnętrznej:

$$F_R = - \frac{r V}{R (R - r)}$$

Jeżeli założymy $R = \text{const.}$, to najmniejsze naprężenie F po stronie wewnętrznej otrzymamy dla $r = R - r$, czyli dla $r = \frac{R}{2}$. Aby więc otrzymać

najmniejsze naprężenie dielektryku znajdującego się między dwiema kulistymi okładzinami koncentrycznymi, trzeba przyjąć promień okładziny wewnętrznej dwa razy mniejszy od promienia okładziny zewnętrznej. Wtedy $F = \frac{4V}{R}$.

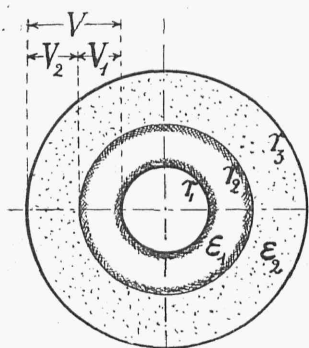
Powiększając zaś promień zewnętrzny R do nieskończoności, otrzymamy:

$$\lim_{R \rightarrow \infty} F = \frac{V}{r \left(1 - \frac{r}{R}\right)} = \frac{V}{r};$$

nie można zatem spodziewać się tu zmniejszenia naprężenia do zera, przyjmuje ono bowiem wartość, jak dla kuli izolowanej.

Układ kulisty uwarstwiony. — Rozkład potencjałów, a więc i naprężenia w takim układzie, obliczamy podobnie jak przy układach płaskich, przyczem znowu najpraktyczniej posługiwać się pojemnościami. W tym celu wyobrażamy sobie, że każdy dielektryk oddzielony jest od drugiego nieskończoną cienką warstwą przewodzącą (okładziną).

Kulę (Rys. 8) o promieniu r_1 otaczają dwa dielektryki kuliste, koncentryczne z nią, o promieniach zewnętrznych r_2 i r_3 .



Miedzy kulą a okładziną zewnętrzną panuje napięcie V , rozkładając się na oba dielektryki: $V = V_1 + V_2$. Idzie o znalezienie wielkości tych napięć w stosunku do napięcia całkowitego, a więc w ten sposób i naprężen dielektryków.

Rys. 8.

Obliczenie to przeprowadzimy, wychodząc z pojemności poszczególnych kondensatorów (dielektryków).

Pojemność całego układu oznaczmy przez C .
Tutaj: $Q = CV = C_1 V_1 = C_2 V_2$,

$$\text{skąd } V_1 = \frac{CV}{C_1}, \text{ a } V_2 = \frac{CV}{C_2},$$

trzeba więc znaleźć C oraz C_1 i C_2 . Przy połączeniu szeregowym $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$. Ponieważ

$$C_1 = \frac{\varepsilon_1 r_1 r_2}{r_2 - r_1} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-11}, \quad C_2 = \frac{\varepsilon_2 r_2 r_3}{r_3 - r_2} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-11},$$

przeto:

$$C = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 r_1 r_2 r_3}{\varepsilon_2 r_3 (r_2 - r_1) + \varepsilon_1 r_1 (r_3 - r_2)} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$$

Napięcia zaś będą:

$$V_1 = \frac{V}{1 + \frac{\varepsilon_1 r_1 (r_3 - r_2)}{\varepsilon_2 r_3 (r_2 - r_1)}}, \quad \text{a } V_2 = \frac{V}{1 + \frac{\varepsilon_2 r_3 (r_2 - r_1)}{\varepsilon_1 r_1 (r_3 - r_2)}}$$

Wiemy z poprzedniego, że największe naprężenie dielektryku kulistego występuje na powierzchni elektrody wewnętrznej,

$$F_{1m} = \frac{r_2 V_1}{r_1 (r_2 - r_1)}, \quad \text{a } F_{2m} = \frac{r_3 V_2}{r_2 (r_3 - r_2)}.$$

Po podstawieniu wartości na V_1 i V_2 otrzymamy wreszcie:

$$F_{1m} = \frac{\varepsilon_2 r_2 r_3 V}{r_1 A}, \quad \text{a } F_{2m} = \frac{\varepsilon_1 r_1 r_3 V}{r_2 A},$$

gdzie $A = \varepsilon_1 r_1 (r_3 - r_2) + \varepsilon_2 r_3 (r_2 - r_1)$.

$$\text{Stąd: } \frac{F_{1m}}{F_{2m}} = \frac{\varepsilon_2 r_3^2}{\varepsilon_1 r_1^2}.$$

W przeciwieństwie do układów płaskich, na rozkład naprężeń mają tu wpływ, oprócz stałych dielektrycznych, także promienie krzywizny dielektryków.

Przypadek powyższy zachodzi w praktyce np. przy obliczaniu izolatorów z główką kulistą, gdzie porcelana i kit stanowią dielektryk kondensatora wobec trzona i kołpaka jako elektrod.

4. Układy izolacyjne walcowe.

Są to układy najczęściej spotykane w elektrotechnice. Takim układem jest np. przewód izolowany,