

przeto pojemność całego układu

$$C = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 l}{2 \left(\varepsilon_2 \log_n \frac{r_3}{r_1} + \varepsilon_1 \log_n \frac{r_3}{r_2} \right)} \cdot \frac{1}{9} \cdot 10^{-11} \text{ iar.}$$

Z tego napięcie

$$V_1 = \frac{V}{1 + \frac{\varepsilon_1 \log_n \frac{r_3}{r_2}}{\varepsilon_2 \log_n \frac{r_2}{r_1}}}, \text{ a } V_2 = \frac{V}{1 + \frac{\varepsilon_2 \log_n \frac{r_2}{r_1}}{\varepsilon_1 \log_n \frac{r_3}{r_2}}}$$

Naprężenie zaś

$$F_{1m} = \frac{\varepsilon_2 V}{r_1 B}, \quad F_{2m} = \frac{\varepsilon_1 V}{r_2 B},$$

gdzie $B = \varepsilon_1 \log_n \frac{r_3}{r_2} + \varepsilon_2 \log_n \frac{r_2}{r_1}.$

Z tego
$$\frac{F_{1m}}{F_{2m}} = \frac{\varepsilon_2 r_2}{\varepsilon_1 r_1}. \quad (22)$$

Przypadek taki zachodzi np. przy kablach o różnych dielektrykach, izolatorach przepustowych i t. p.

5. Układy izolacyjne nieforemne.

Obliczanie naprężeń w układach foremnych, w których kierunek pola elektrycznego jest prostoliniowy, a więc n. p. w przedstawionych powyżej, — jak widzieliśmy — jest nader proste, skoro znamy główne wymiary geometryczne takiego układu.

W rzeczywistości jednak przypadki takie są rzadkie. Zwykle kierunek pola nie jest prosty, a rozłożenie ładunków na elektrodach nie jest jednostajne. Przyczynia się do tego kształt elektrod i kształt dielektryku, zwykle nieforemny. W takich przypadkach obliczenie analityczne jest prawie niemożliwe. Uciekamy się wtedy do sposobu wykreślnego, który wprowadzie tylko w przybliżeniu, jednak z dostateczną dokładnością, pozwala na obliczenie naprężeń i pojemności układów nieforemnych.

Jest to metoda wykreślnego przedstawiania pola elektrycznego w dielektryku za pomocą komórek, wyznaczanych liniami indukcji pola i powierzchniami ekwipotencjalnymi.

Na rys. 2, 3, 4 i 6 przedstawiony był obraz natężenia pola i przesunięcia dielektrycznego za pomocą linii natężenia wzgl. linii przesunięcia. Ponieważ indukcja elektryczna D_i jest związana z przesunięciem D równością $D_i = 4\pi D$, przeto obraz przesunięcia przedstawia w innej skali obraz indukcji elektrycznej. Jak poprzednio było zaznaczone, obraz indukcji przesunięcia w dielektrykach uwarstwionych prostopadłe do kierunku pola, wykazuje ciągłość linii, daje więc łatwiejszą możliwość wykreślenia obrazu, z którego można wyciągnąć wnioski o naprężeniach w dielektryku. Znając stałą dielektryczną danej warstwy, można odrazu przejść na natężenie pola. — Dla powietrza (próżni) obraz indukcji i obraz natężenia pola są identyczne.

Strumień indukcji elektrycznej Ψ jest związany z indukcją i naprężeniem pola wzorami $d\Psi = D_i ds = F ds$, gdzie ds jest elementem przekroju dielektryku, prostopadłego do kierunku strumienia. Strumień przepływający przez dielektryk wyobrażamy sobie jako przepływający przez rurki indukcji. Strumień w rurce indukcji jest stały i niezależny od stałej dielektrycznej warstw, przez które przepływa. Wobec tego przekrój rurki indukcji nie musi być wszędzie jednaki, rurki zaś nie muszą być ani proste, ani ściśle walcowe, byle tylko strumień w nich był stały. W danym razie można taką rurkę rozłożyć na elementy (komórki), które można uważać za walcowe.

Rurkę indukcji, wzgl. jej element, można uważać jako kondensator płaski, o długości l i powierzchni s . Jego pojemność będzie więc $C = \frac{\epsilon s}{4\pi l}$. Tutaj $\frac{l}{\epsilon s}$ jest opornością dielektryczną R_e ; można zatem pojemność rurki indukcji wyrazić wzorem.

$$C_0 = \frac{1}{4\pi R_e}$$

Suma odwrotności pojemności wszystkich odcinków jednej rurki da odwrotność pojemności tej rurki, a suma pojemności wszystkich rurek — pojemność układu.

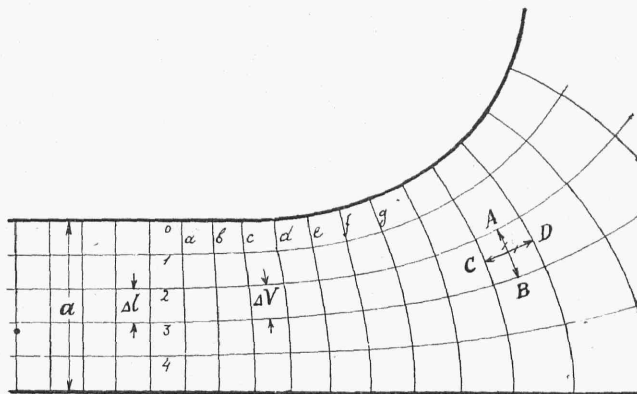
Obraz indukcji pola w dielektryku kreślimy przy pomocy powierzchni ekwipotencjalnych, do których linie indukcji muszą być prostopadłe. Odstępów powierzchni ekwipotencjalnych dobieramy tak, aby zawsze otrzymać tę samą różnicę potencjałów (ΔV) mię-

dzy niemi. Wtedy te powierzchnie ekwipotencjalne odetną elementy (Δl) rurek indukcji, z których każdy musi mieć jednakową oporność dielektryczną $R_e = \frac{\Delta l}{\epsilon S}$.

Linje kreślimy narazie na oko, a potem stopniowo poprawiamy ich przebieg, kontrolując, czy oporność dielektryczna odcinków rurek jest jednakowa (Rys. 10). W tak przedstawionem polu linje natężenia (a, b, c, d...) wyznaczają rurki, które uważamy za rurki indukcji (przesunięcia). Rurki wychodzą z jednej elektrody i kończą się na drugiej, strumień indukcji (ładunek) w takiej rurce jest stały.

Jeżeli dielektrykiem jest powietrze ($\epsilon \cong 1$), można sposób powyższy kreślenia obrazu pola elektrycznego znacznie uprościć za pomocą t. zw. komórek jednostkowych, posiadających każda oporność dielektryczną $k^e = 1$. Będą to oczywiście komórki sześciennie, o długości równej liczbowo przekrojowi.

Przekrój ich w płaszczyźnie rysunku będzie



Rys. 10,

kwadratem. Długość elementu rurki musi więc być równa jej szerokości. Przez kontrolowanie, czy ten warunek jest spełniony, sprawdza się prawidłowość nakreślenia obrazu pola.

Sposób omawiany jest stosunkowo prosty przy układach płaskich, przy których wszystkie płaszczyzny rysunku, dają podobne obrazy pola. Jako przykład niech posłuży Rys. 10, na którym przedsta-

wiony jest obraz pola elektrycznego, wytworzonego między dwiema elektrodami z dielektrykiem powietrznym.

Sposób postępowania przy kreśleniu obrazu jest następujący: Część układu można tu uważać jako kondensator płaski; w tej części pole jest jednostajne. Przebieg pola zaczynamy kreślić od powierzchni ekwipotencjalnych, z których dwie są dane jako powierzchnie elektrod. Jeżeli mamy wykreślić np. jeszcze cztery powierzchnie ekwipotencjalne, to w tym przypadku dzielimy odległość a na pięć równych części, gdyż rozkład potencjałów jest linjowy. Wtedy na każdą powierzchnię przypada $\Delta V = \frac{1}{5} V$. Dalszy przebieg szkicujemy tymczasem na oko. Linje natężenia pola muszą być prostopadłe do powierzchni ekwipotencjalnych. Odstęp pomiędzy linjami w części prostoliniowej obieramy równy odstępowi powierzchni ekwipotencjalnych. Przebieg linii z brzegu kreślimy również na oko uważając, aby otrzymać komórki mniejwięcej kwadratowe — jako oka siatki, w której każdy kwadrat stanowi przekrój sześciangu. O ile oka siatki przestają być kwadratowe, dzielimy je z kolei na równą liczbę mniejszych kwadratów.

Rysunek siatki kontrolujemy, sprawdzając cyrklem kwadraty, w których średni odstęp linii natężenia pola (CD) powinien być zawsze równy średniemu odstępowi powierzchni ekwipotencjalnych (AB). Utrzymamy w ten sposób komórki jednostkowe, z których każda ma tę samą oporność dielektryczną.

Komórki takie zawierają również równe ilości energii elektrycznej. Naprężenie w każdym punkcie x elektrody otrzymamy, dzieląc, przypadającą na — przylegającą do niej — rurkę jednostkową, część napięcia ΔV przez długość tej rurki Δl :

$$F_x = \frac{\Delta V}{\Delta l}.$$

W układach o dielektryku innym niż powietrze nie można już posługiwać się komórkami jednostkowymi. W nich oporność dielektryczna nie równa się bowiem jedności; nie będą też ich przekroje — kwadratowymi. O ile pole elektryczne przenika z powietrza do innego dielektryku, następuje załamanie linii indukcji według praw poprzednio poznanych (Rys. 5 i wzór 13). Przy kreśleniu obrazu pola postępujemy wtedy zrazu tak, jakby dielektryk był o stałej $\varepsilon = 1$, a następnie obliczamy załamanie każdej linii indukcji i kreślimy

dalej przebieg ich w drugim dielektryku, sprawdzając ich przebieg za pomocą przeliczania oporności dielektrycznych elementów rurek.

Obliczanie wykreślne naprężeń układów nie płaskich w znaczeniu powyższem, jest bardziej żmudne. W rozdziale, traktującym o izolatorach przepustowych poznamy taki sposób, stosowany przy układach rotacyjnych, jakimi są właśnie te izolatory. Służy on tam do obliczania naprężeń stycznych do powierzchni izolatora, powodujących wyładowania powierzchniowe.

Powyższe prawa rozdziału naprężeń w dielektrykach tłumaczą wiele zjawisk, występujących przy wysokiem napięciu i określają prawa konstrukcyjne dla przyrządów, maszyn i t. d., pracujących pod wysokiem napięciem. Nie można podać tu — jak widzieliśmy — jakiegoś ogólnego wzoru, trzeba od przypadku do przypadku konstrukcję obliczyć, czy wytrzyma występujące naprężenie. Naogół stwierdzić można dążność do wyboru takiego kształtu układów, aby otrzymać równomierne naprężenie w całej konstrukcji.
