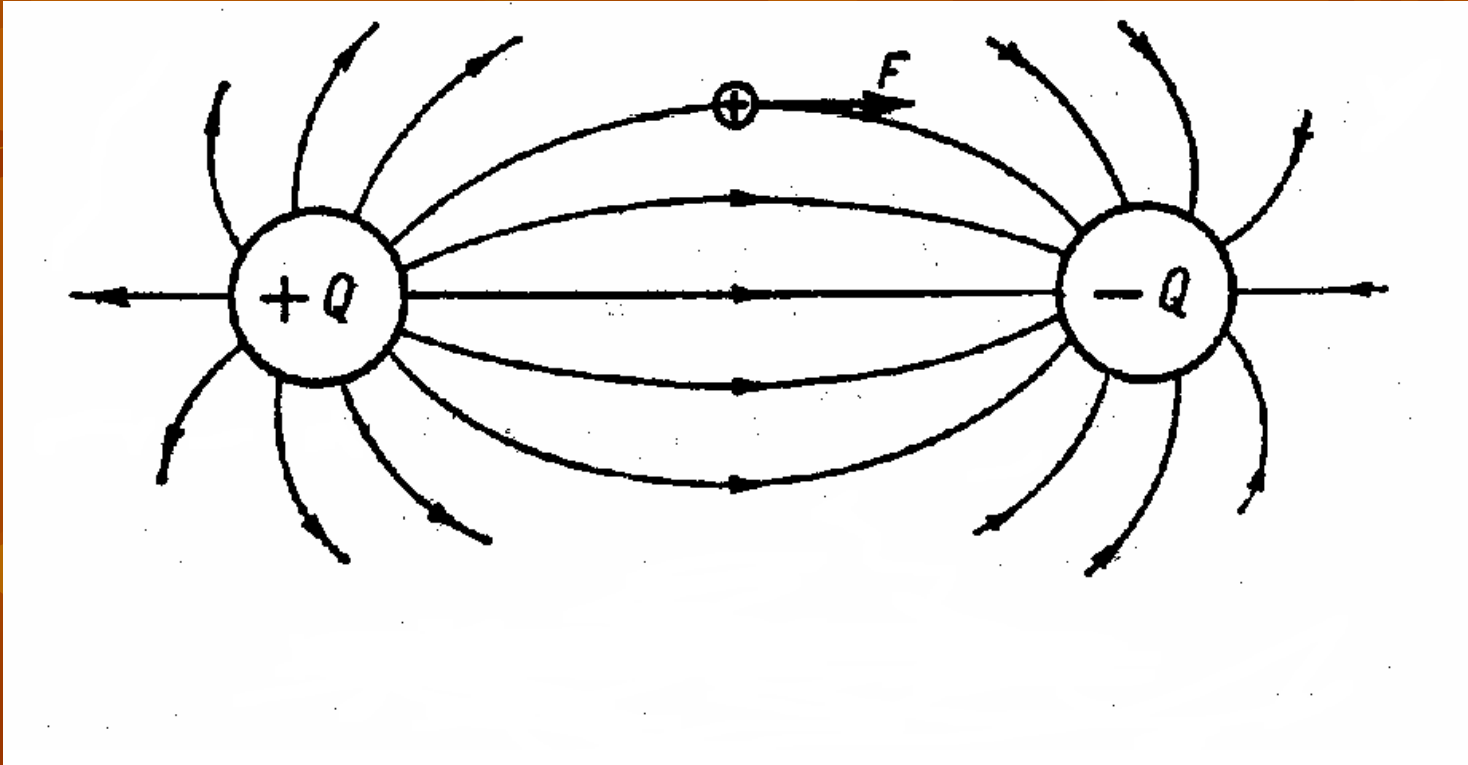


Pole elektryczne

The background of the slide features a pattern of stylized, overlapping leaves in various shades of orange, brown, and tan. The leaves are rendered in a flat, graphic style, creating a textured, autumnal effect. The text 'Pole elektryczne' is centered in a bold, serif font with a slight drop shadow, making it stand out against the busy background.

Dla powstania pola magnetycznego konieczny jest ruch ładunków elektrycznych, a więc przepływ prądu elektrycznego, natomiast pole elektryczne powstaje zawsze w przestrzeni otaczającej ładunki elektryczne, nawet wówczas, kiedy są one nieruchome. Pole elektryczne powstające wokół nieruchomych ładunków elektrycznych nosi nazwę pola elektrostatycznego.

Linie pola elektrycznego



Na ładunki elektryczne umieszczone w polu elektrostatycznym działają siły mechaniczne. Na elementarny ładunek dodatni działa siła F styczna do linii zwanych liniami sił pola elektrycznego.

Gęstość linii sił pola nosi nazwę indukcji elektrycznej i jest oznaczana literą D . Na powierzchni elektrody S , na której zgromadzony jest ładunek elektryczny Q , panuje indukcja :

$$D = \frac{Q}{S}$$

Wymiarem indukcji jest

$$[D] = \frac{[Q]}{[S]} = 1 \frac{A \cdot s}{m^2} = 1 \frac{C}{m^2}$$

W miarę oddalania się od elektrody gęstość linii sił maleje, a więc indukcja maleje. Wszystkie linie sił przechodzące przez daną powierzchnię prostopadłą do nich tworzą strumień elektryczny równy ładunkowi Q i wyrażany w tych samych jednostkach (kulombach).

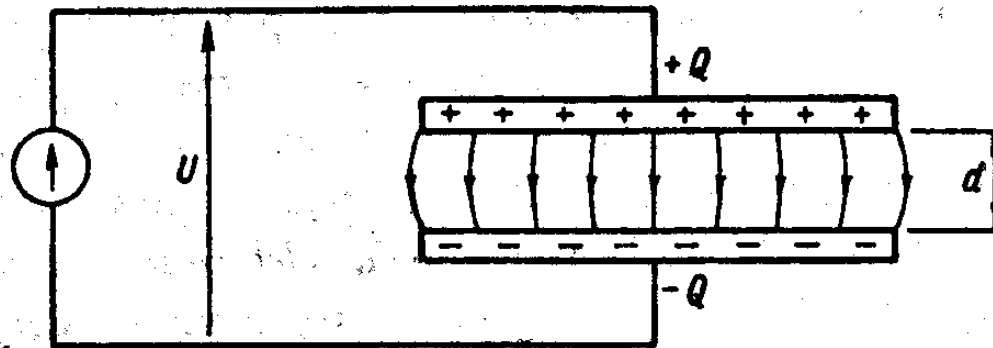
$$\psi = \int D dS$$

W szczególnym przypadku, gdy gęstość linii sił jest jednakowa ($D = \text{const}$), pole elektryczne jest równomierne i wówczas

$$\Psi = D S$$

Równomierne pole elektryczne można uzyskać między dwiema elektrodami płaskimi o powierzchni S umieszczonymi równolegle do siebie w odległości d . Tworzą one układ zwany kondensatorem płaskim.

Równomierne pole elektryczne między elektrodami kondensatora płaskiego



Ładunki zgromadzone na elektrodach są proporcjonalne do przyłożonego napięcia

$$Q = CU$$

Współczynnik proporcjonalności C występujący w tym wzorze nosi nazwę pojemności kondensatora. Wymiarem pojemności jest farad:

$$[C] = \frac{[Q]}{[U]} = 1 \frac{A \cdot s}{V} = 1 \text{ farad} = 1F$$

Jeden farad jest pojemnością kondensatora, w którym przyłożenie napięcia równego jednemu woltowi powoduje zgromadzenie na elektrodach ładunków elektrycznych równych jednemu kulombowi (1 As). Jeden farad jest bardzo dużą jednostką. W praktyce najczęściej stosuje się podwielokrotne farada: mikrofarad i pikofarad

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F},$$
$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}.$$

**W polu elektrycznym między elektrodami (okładzinami) kondensatora występuje różnica potencjałów, równa przyłożonemu napięciu. Różnica potencjałów przypadająca na jednostkę długości linii sił pola elektrycznego nosi nazwę natężenia pola elektrycznego i jest oznaczana literą E .
W polu elektrycznym równomiernym:**

$$E = \frac{U}{d}$$

Dla pola nierównomiernego natężenie pola w danym punkcie

$$E = \frac{dU}{dl}$$

gdzie dU jest przyrostem napięcia elektrycznego na nieskończenie małym odcinku dl linii sił pola elektrycznego.

Wymiarem natężenia pola jest:

$$[E] = \frac{[U]}{[d]} = 1 \frac{V}{m}$$

Pomiędzy gęstością linii sił pola elektrycznego (indukcją elektryczną D) a natężeniem pola elektrycznego E istnieje związek:

$$D = \varepsilon E$$

tj. indukcja elektryczna jest proporcjonalna do natężenia pola elektrycznego. Współczynnik proporcjonalności nazywamy przenikalnością elektryczną (stałą dielektryczną). Jest to liczba mianowana. Jej wymiar:

$$[\varepsilon] = \frac{[D]}{[E]} = 1 \frac{A \cdot s \cdot m}{m^2 \cdot V} = 1 \frac{A \cdot s}{V \cdot m} = 1 \frac{F}{m}$$

Przenikalność dielektryczna jest iloczynem dwóch wielkości:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

gdzie:

ε_0 - przenikalność elektryczna próżni o wartości $8.86 \cdot 10^{-12}$ F/m,

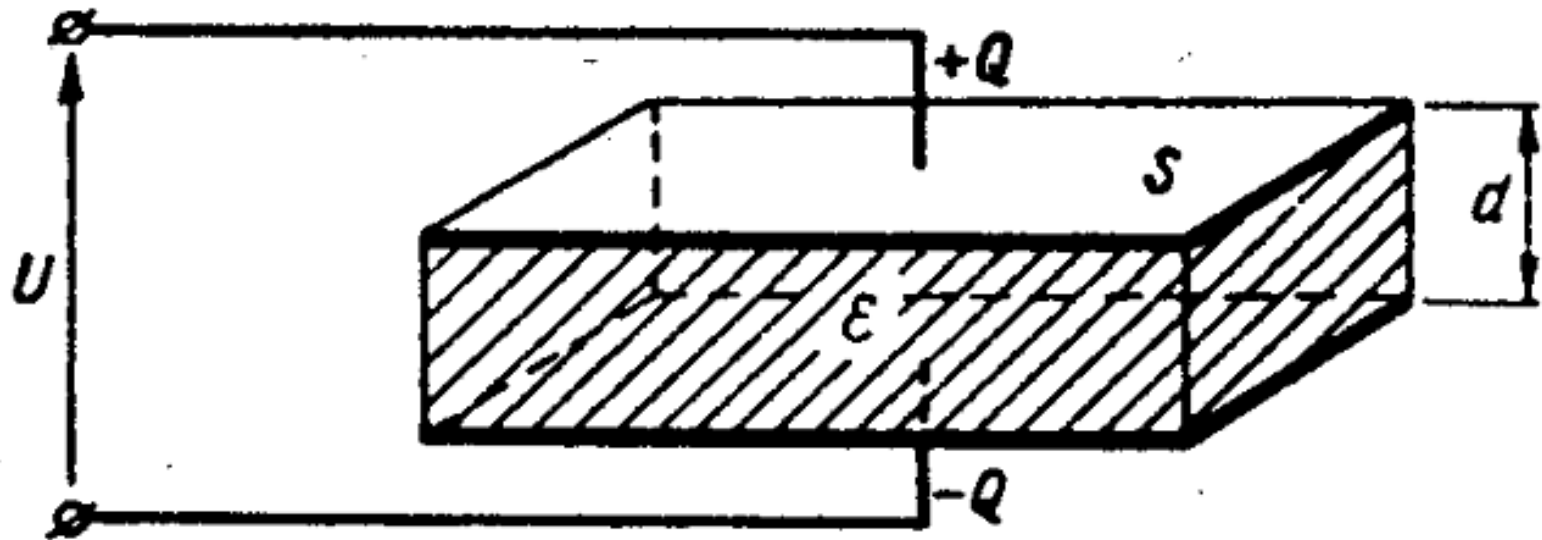
ε_r – przenikalność elektryczna względna, liczba nie mianowana, wyrażająca stosunek przenikalność elektrycznej danego ciała do przenikalności elektrycznej próżni.

Dla danego materiału indukcja elektryczna przy danym natężeniu pola elektrycznego jest tyle razy większa od indukcji w próżni, ile wynosi ϵ_r tego materiału. W odróżnieniu od ciał magnetycznych przenikalność elektryczna dielektryków jest stała, niezależna od natężenia pola elektrycznego.

Kondensatory

Kondensator jest to przyrząd do zagęszczania ładunków elektrycznych (łac. condensare – zagęszczać). Wielkościami charakteryzującymi kondensator jest jego pojemność i napięcie, jakie można przyłożyć między okładziny bez obawy przebicia warstwy izolacyjnej między nimi.

Najczęściej stosowany jest kondensator płaski składający się z dwóch okładzin o powierzchni S przedzielonych warstwą dielektryka o grubości d i przenikalności elektrycznej ϵ .



Pojemność kondensatora płaskiego:

$$C = \frac{Q}{U}$$

gdzie: $Q = D S$, $U = E d$

Stąd:

$$C = \frac{DS}{Ed}$$

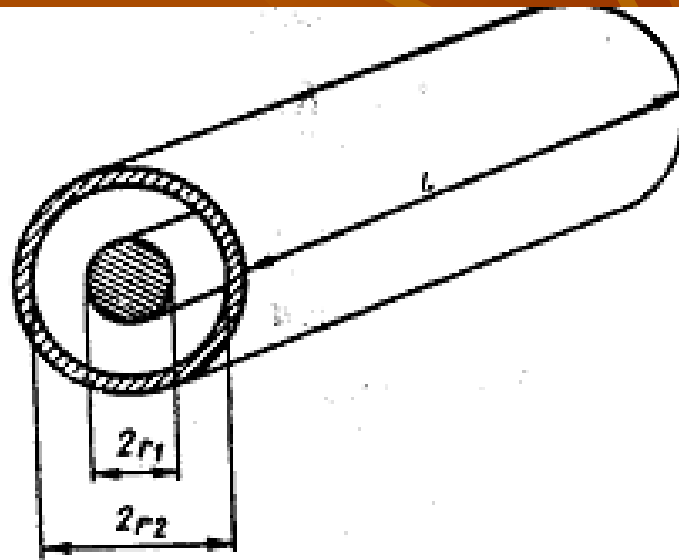
Ponieważ: $D = \varepsilon E$
otrzymujemy:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

Pojemność kondensatora płaskiego jest proporcjonalna do powierzchni okładzin i odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi. Współczynnikiem proporcjonalności jest przenikalność elektryczna dielektryka przedzielającego okładziny.

Kable i przewody linii przesyłowych mają pojemność względem siebie i względem ziemi. Pojemność ta odgrywa rolę w procesach łączeniowych i przy pracy obwodów prądu przemiennego. Kabel jednożyłowy w płaszczu ołowianym, jakie zwykle układa się w ziemi, można traktować jako kondensator walcowy, którego jedną okładziną jest miedziana lub aluminiowa żyła przewodząca kabla, a drugą – uziemiony płaszcz ołowiany, chroniący izolację papierową kabla przed dostępem wilgoci. Dla praktycznych obliczeń pojemność kabla podaje się w μF na 1 km długości

$$C = 2\pi\epsilon \frac{l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$



Równoległe łączenie kondensatorów

Napięcie „U” doprowadzone do układu występuje na okładzinach wszystkich kondensatorów.

Ponieważ kondensatory mają różne pojemności, to zgromadzony jest na nich różny ładunek

$$Q_1 = C_1 \cdot U; \quad Q_2 = C_2 \cdot U; \quad \dots \quad Q_n = C_n \cdot U$$

Ładunek wypadkowy układu jest równy sumie ładunków poszczególnych kondensatorów

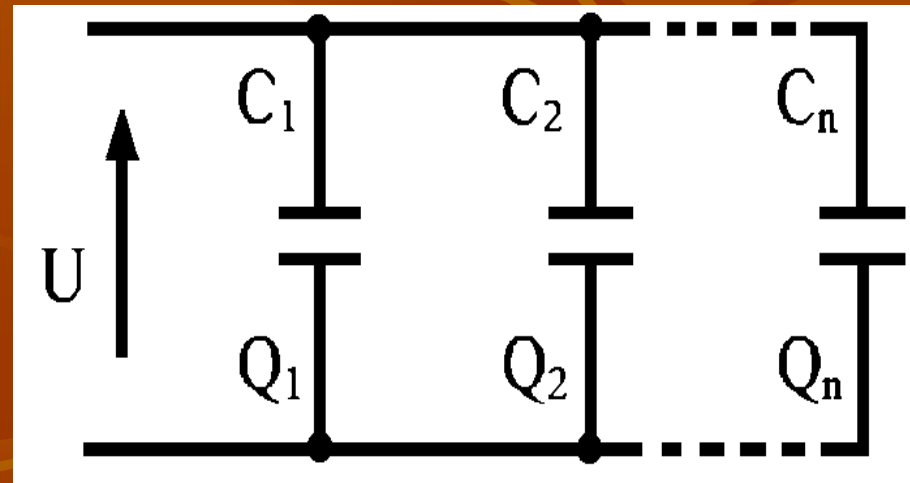
$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Czyli

$$C \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + \dots + C_n \cdot U$$

A zatem pojemność wypadkowa (zastępcza)

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \Sigma C$$



Szeregowe łączenie kondensatorów

Napięcie „U” doprowadzone jest do zacisków kondensatorów skrajnych. Na kondensatorach C_1, C_2, \dots, C_n powstaną spadki napięć, odpowiednio U_1, U_2, \dots, U_n .

Przy połączeniu szeregowym na każdym kondensatorze zgromadzony jest taki sam ładunek Q

$$Q = Q_1 = Q_2 = \dots Q_n$$

Ponieważ $U = U_1 + U_2 + \dots U_n$ oraz

$$U = \frac{Q}{C}$$

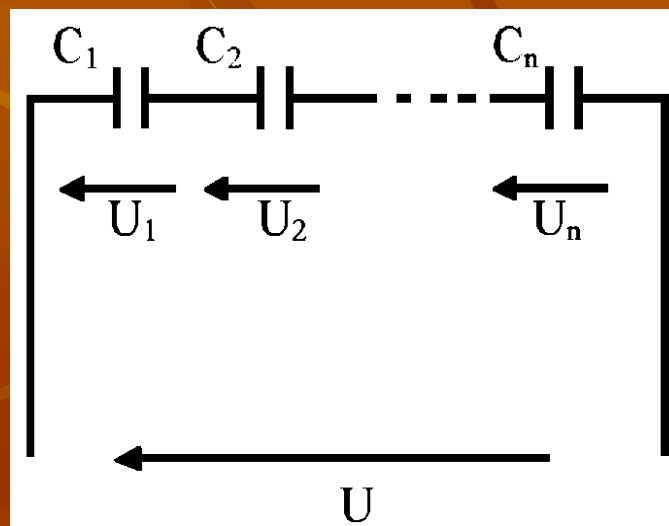
$$U_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$U_n = \frac{Q}{C_n}$$

to

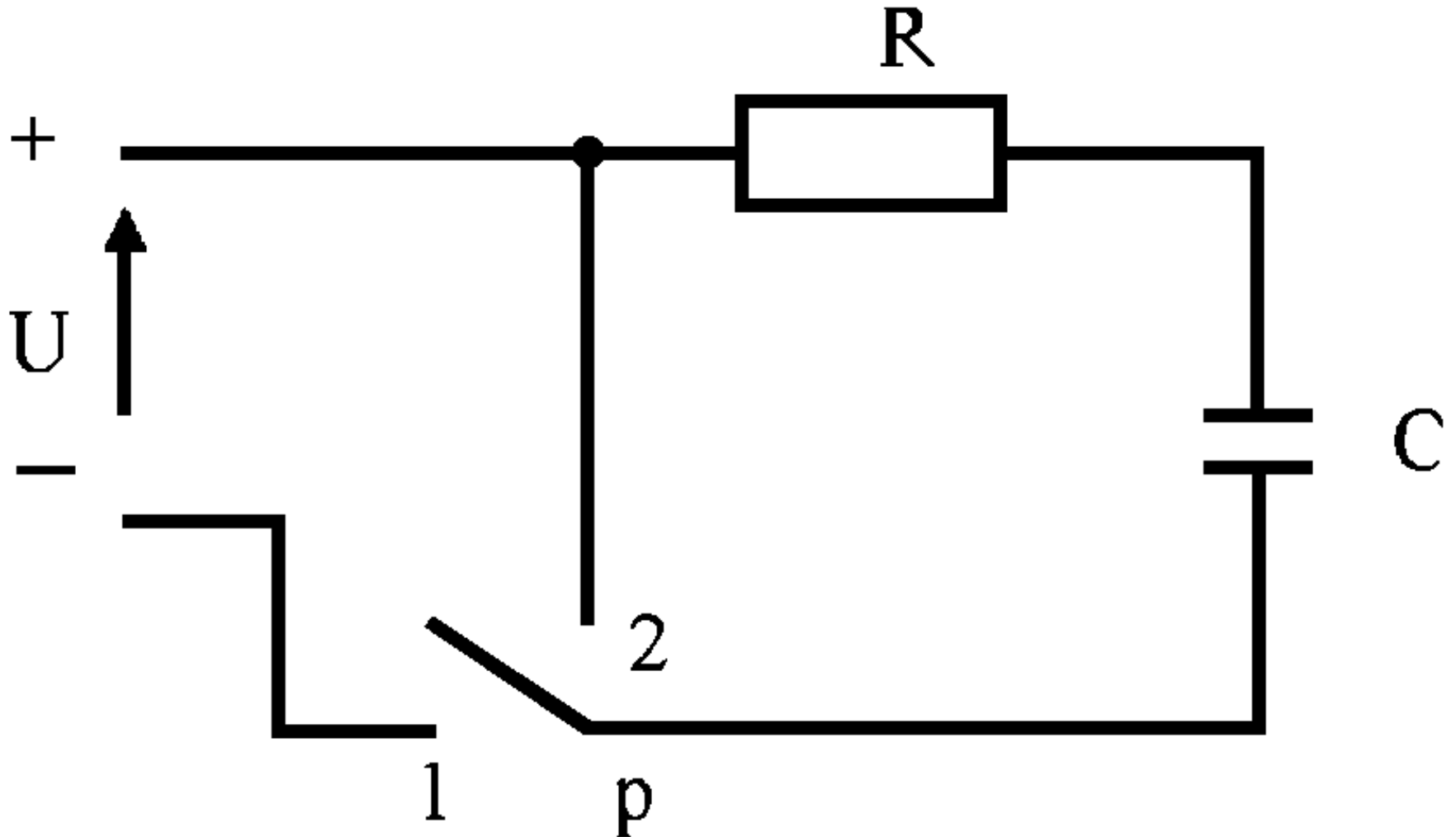
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \Sigma \frac{1}{C}$$



Wzór ten określa pojemność zastępczą szeregowego układu połączeń kondensatorów.

Kondensator w obwodzie prądu stałego

Stany nieustalone, energia pola elektrycznego



W stanie ustalonym, gdy kondensator przyłączony jest do źródła napięcia stałego U , nie pobiera on prądu, gdyż jego okładziny przedzielone są warstwą dielektryka, a ładunki na nich są stałe. Jedynie tylko przez chwilę po przełączeniu wyłącznika w pozycję p-1 łącząc kondensator ze źródłem napięcia, płynie prąd ładowania i trwa stan nieustalony dopóty, dopóki nie zgromadzą się ładunki Q . Pod wpływem gromadzących się ładunków na kondensatorze powstaje napięcie u_c , skierowane przeciwnie do przyłożonego napięcia stałego U .

Zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa:

$$U - u_c = Ri$$

napięcie prądu ładowania wynosi:

$$i = \frac{U - u_c}{R}$$

Prąd ten wywołuje w czasie dt przyrost ładunku dq , wyrażony wzorem:

$$dq = idt$$

Przyrost napięcia na kondensatorze du_c jest związany z przyrostem ładunku dq zależnością:

$$dq = Cdu_c$$

stąd :

$$i = C \frac{du_c}{dt}$$

(prąd ładowania jest proporcjonalny do prędkości narastania napięcia na kondensatorze)

podstawiając do równania napisanego na podstawie drugiego prawa Kirchhoffa otrzymamy:

$$U - u_c = RC \frac{du_c}{dt}$$

Jego rozwiązaniem, przy założeniu, że w chwili $t = 0$, $u_c = 0$, jest funkcja wykładnicza

$$u_c = U(1 - e^{-\frac{t}{T}}).$$

gdzie $T = RC$ [s] – elektryczna stała czasowa obwodu.

Wykorzystując równanie

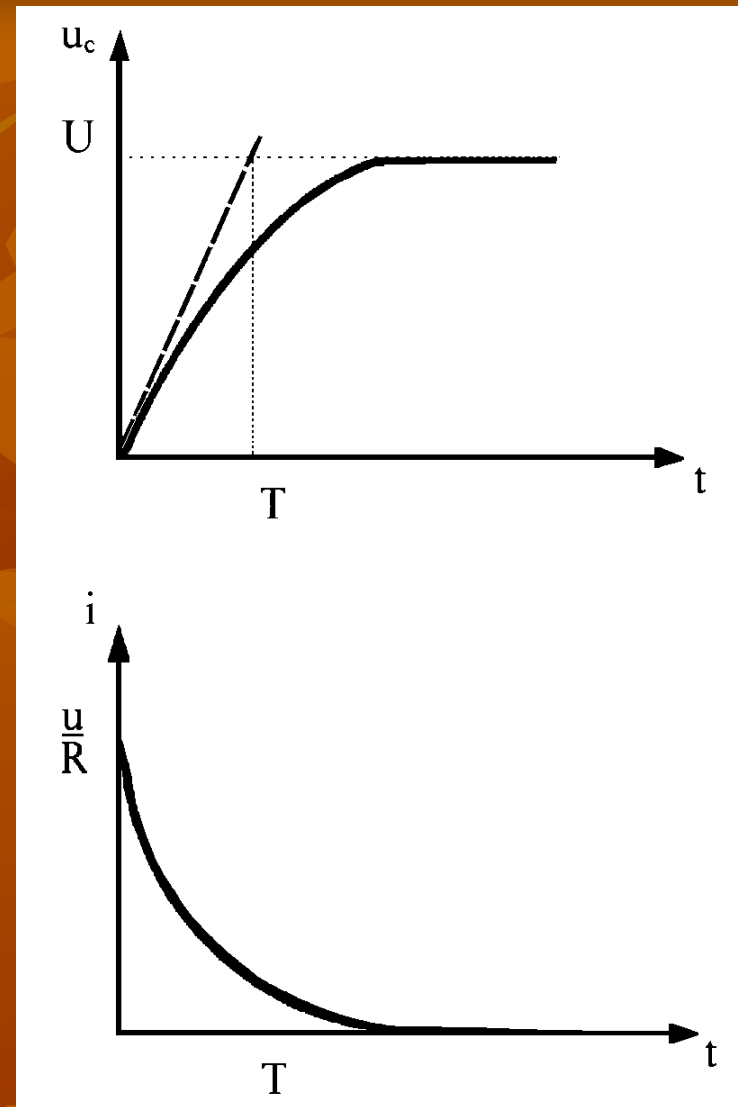
$$i = \frac{U - u_c}{R}$$

otrzymuje się zależność na prąd ładowania kondensatora w postaci zanikającej funkcji wykładniczej:

$$i = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{T}}$$

Przebieg wartości
chwilowych napięcia na
kondensatorze dołączonym
do źródła napięcia stałego

Przebieg wartości
chwilowych prądu
ładowania kondensatora



W czasie ładowania kondensatora napięcie na jego okładzinach rośnie wykładniczo do wartości ustalonej U , natomiast prąd ładowania maleje od wartości początkowej U/R do zera. Praktycznie stan ładowania trwa 3 – 4 stałe czasowe $T = R C$.

Kondensator pobiera w czasie ładowania energię elektryczną, która gromadzi się w nim w postaci energii pola elektrycznego

Zgodnie z drugim prawem Kirchhoffa można napisać równanie:

$$U = Ri + u_c$$

Mnożąc je stronami przez idt otrzymujemy:

$$Uidt = Ri^2 dt + u_c idt$$

Iloczyn $Uidt$ jest energią oddawaną przez źródło napięcia U w czasie dt , wyrażenie $Ri^2 dt$ przedstawia energię zamienianą na ciepło przy przepływie prądu „ i ” przez rezystancję R , natomiast iloczyn $u_c idt$ stanowi energię gromadzoną w polu elektrycznym kondensatora.

Przyrost energii pola elektrycznego w czasie dt wynosi:

$$dW_e = u_c i dt$$

Podstawiając za i
wyrażenie

$$i = C \frac{du_c}{dt}$$

otrzymujemy:

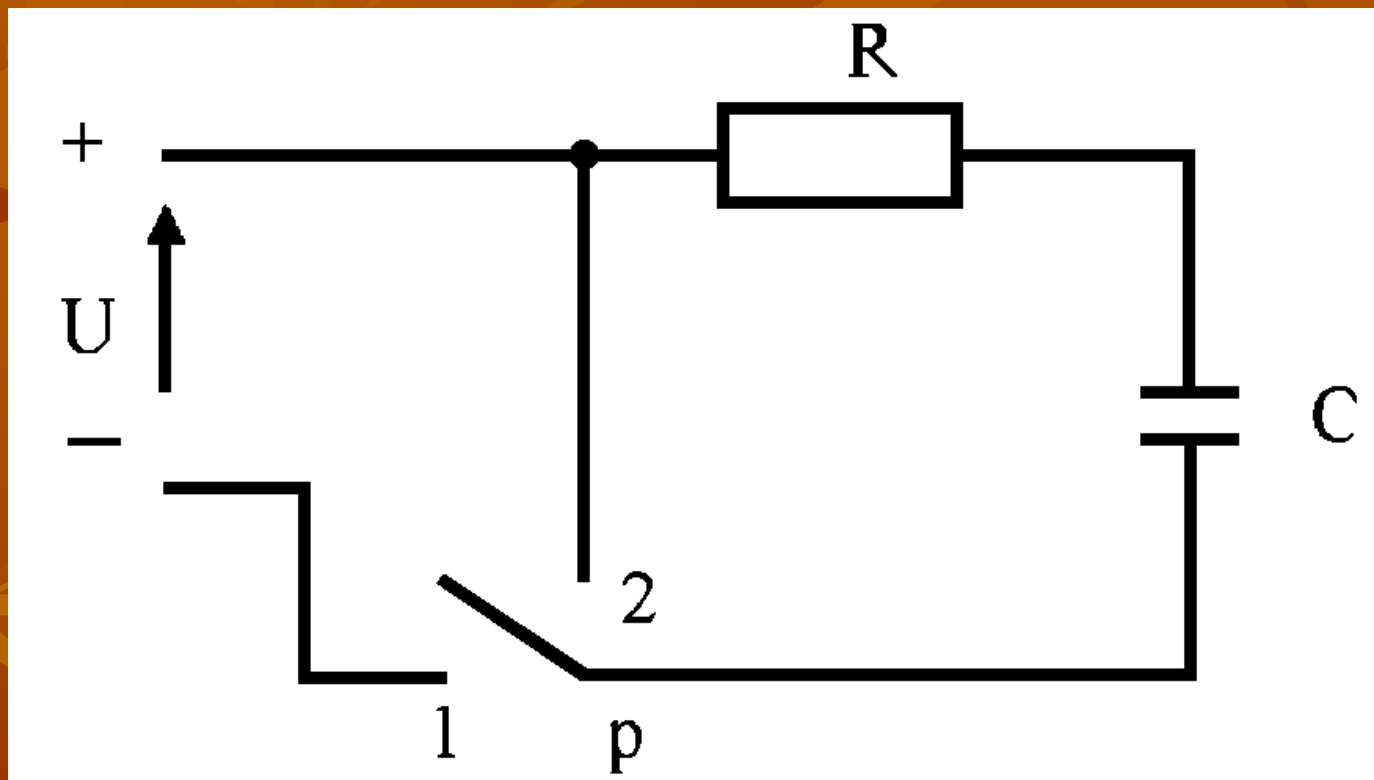
$$dW_e = C u_c du_c$$

Całkowaną wartość energii pola elektrycznego W_e otrzymamy całkując $C u_c du_c$ od zera do wartości ustalonej napięcia U

$$W_e = \int_0^U C u_c du_c = \frac{CU^2}{2} [J]$$

Zwraca uwagę podobieństwo tego wyrażenia do wyrażenia na energię pola magnetycznego. Obwód z pojemnością, podobnie jak obwód z indukcyjnością, jest układem inercyjnym, w którym zmianom napięcia na zaciskach kondensatora towarzyszą zmiany zmagazynowanej w nim energii elektrycznej.

Naładowany kondensator jest źródłem energii elektrycznej



Po zwarceniu obwodu (przełącznik w pozycji p-2) popłynie w obwodzie zanikający prąd „ i ”.

Według II prawa Kirchhoffa : $u_c + R \cdot i = 0$

podstawiając

$$i = C \cdot \frac{du_c}{dt}$$

otrzymujemy równanie:

$$u_c + R \cdot C \frac{du_c}{dt} = 0$$

Rozwiązując je przy warunku początkowym $u_c = U$ dla $t = 0$, otrzymamy:

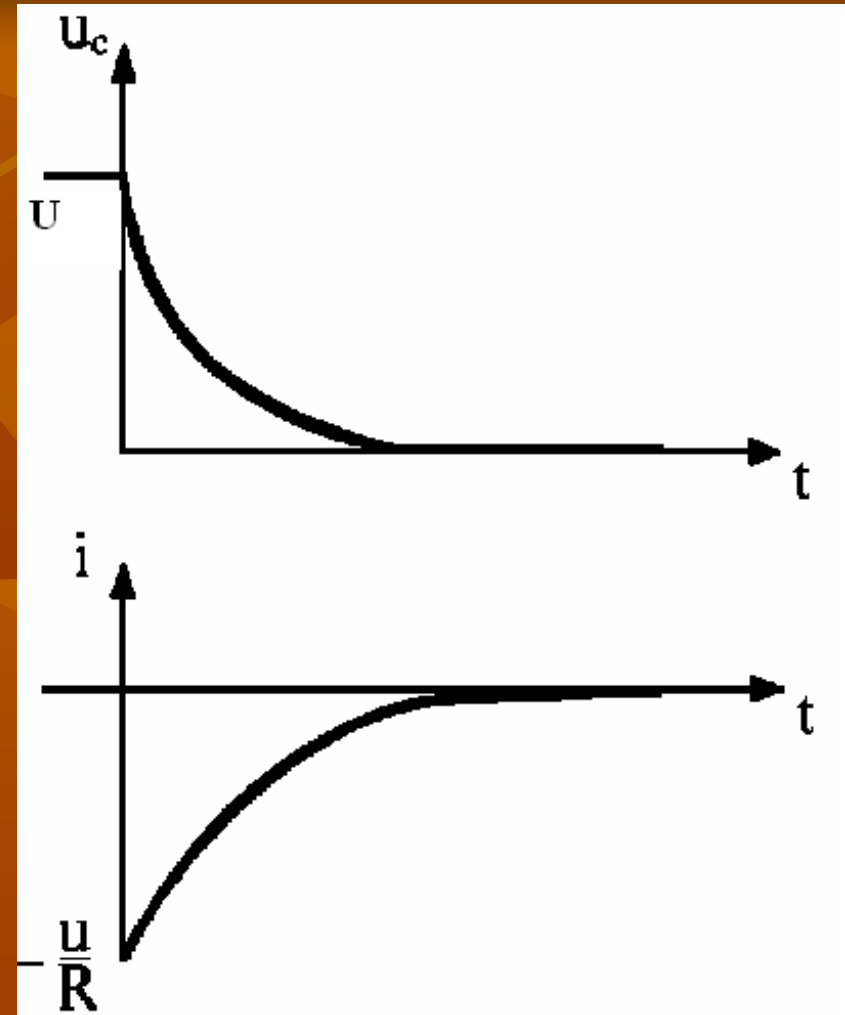
$$u_c = U \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$i = -\frac{u_c}{R} = -\frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

gdzie: $T = R \cdot C$ [s] - elektryczna stała czasowa obwodu

przebieg wartości chwilowej
napięcia na kondensatorze

przebieg wartości chwilowej
prądu rozładowania



Przy przepływie prądu „i” przez opór R energia zmagazynowana w kondensatorze zamienia się na energię cieplną. Czas rozładowania jest tym większy, im większy jest opór, przez który rozładowuje się kondensator.