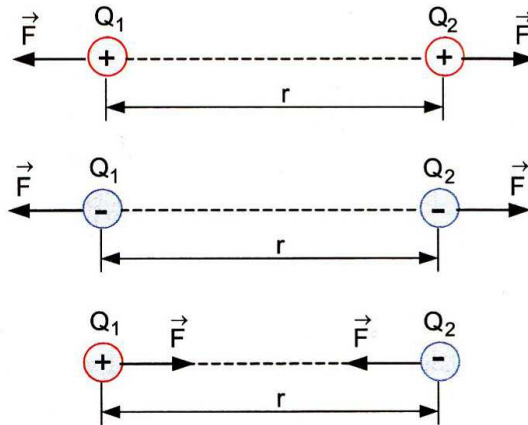
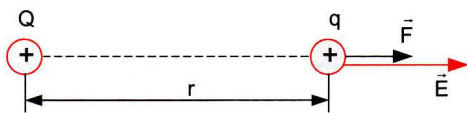


POLE ELEKTRYCZNE

PRAWO COULOMBA



Rys. 3.1. Wzajemne oddziaływanie ładunków elektrycznych



Rys. 3.2. Ilustracja graficzna natężenia pola elektrycznego

Siła działająca na ładunek punktowy jest proporcjonalna do wartości tego ładunku:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Qq}{r^2} \quad (3.6)$$

gdzie:

Q, q – ładunki elektryczne wyrażone w kulombach [C]

r - odległość między ładunkami Q i q wyrażona w [m]

ϵ - przenikalność elektryczna bezwzględna środowiska, w jakim znajdują się ładunki wyrażona w faradach na metr [F/m]

F – siła wyrażona w niutonach [N].

Prawo Coulomba

Wartość siły F , z jaką na każdy z dwóch ładunków Q i q działa ich wspólne pole elektryczne jest wprost proporcjonalna do iloczynu wartości tych ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między tymi ładunkami

Przykładowe wartości przenikalności bezwzględnej środowiska:

Próżnia: $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m

Szkło: $\epsilon = 88,5 \cdot 10^{-12}$ F/m

Wielkością charakteryzującą pole elektryczne jest **natężenie pola elektrycznego**. Jest ono wyrażone wzorem:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2}$$

$$[E] = \frac{[F]}{[q]} = \frac{N}{C} = \frac{N \cdot m}{C \cdot m} = \frac{J}{C \cdot m} = \frac{W \cdot s}{A \cdot s \cdot m} = \frac{V}{m}$$

Natężenie pola elektrycznego jest wielkością wektorową i ma zwrot zgodny z siłą F działającą na **ładunek jednostkowy próbny**.

Ładunek próbny jest to elementarny ładunek dodatni o wartości $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Wartość bezwzględna tego ładunku jest taka sama jak wartość bezwzględna ładunku elektronu.

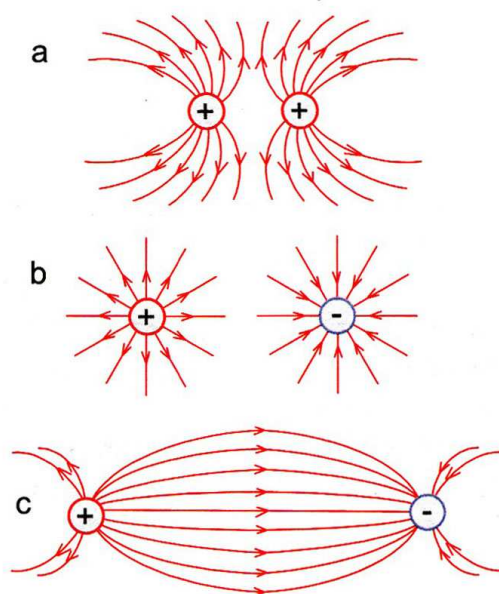
Ładunek elektronu wynosi $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Pole wytworzone przez kilka ładunków $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ sumuje się wektorowo:

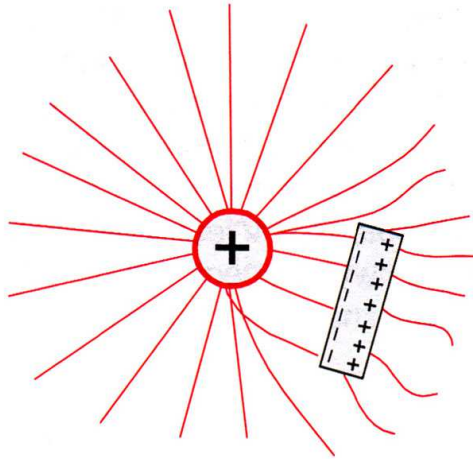
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

Zadanie

Dwa ładunki $Q_1 = 10^{-7} \text{ C}$ i $Q_2 = -0,5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ znajdują się w próżni w punktach oddalonych od siebie o 10 cm. Oblicz z jaką siłą ładunki działają na siebie. Oblicz natężenie pola elektrycznego w punkcie leżącym w środku odcinka pomiędzy tymi ładunkami.



Rys. 3.3. Linie pola elektrycznego w otoczeniu ładunków dodatnich (a), w otoczeniu ładunku dodatniego i ujemnego (b) oraz w otoczeniu dwóch ładunków różnoimiennych (c)



Rys. 3.6. Ilustracja zjawiska indukcji elektrostatycznej

Na czym polega zjawisko indukcji elektrostatycznej?

Zjawisko indukcji elektrostatycznej polega na przemieszczaniu pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego wolnych elektronów znajdujących się w przewodniku w kierunku przeciwnym do kierunku tego pola.

Na czym polega ekranowanie?

Na przeciwległych brzegach przewodnika powstają ładunki dodatnie i ujemne, które wewnątrz przewodnika wytwarzają pole. Pole zewnętrzne i wewnętrzne mają taką samą intensywność, lecz są przeciwnie skierowane i wewnątrz przewodnika znoszą się. W efekcie wewnątrz przewodnika natężenie pola elektrycznego wynosi zero.

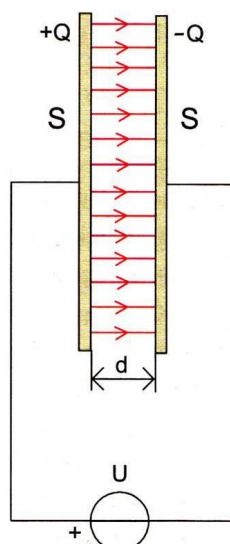
Przykłady oddziaływania pola elektrycznego i magnetycznego na karoserię samochodu:

- linie wysokiego napięcia
- antena CB zamontowana na izolowanej podstawie
- wyładowania atmosferyczne

Zjawisko indukcji elektrostatycznej (ekranowania) wykorzystywane jest również do **ochrony urządzeń elektronicznych** przed wpływem silnych zewnętrznych pól elektrycznych i elektromagnetycznych z pomocą uziemionych obudów metalowych zwanych ekranami.

W ten sam sposób separowane są generujące silne pola elektrostatyczne podzespoły i układy elektroniczne. Dzięki temu można je montować blisko siebie, ponieważ dzięki ekranowaniu nie oddziałują one na siebie.

KONDENSATOR



Przekrój poprzeczny kondensatora płaskiego

Pojemność kondensatora wyrażona jest wzorem:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon S}{d}$$

gdzie:

C – pojemność kondensatora wyrażona w faradach [F]

Q – ładunek zgromadzony na okładzinach wyrażony w kulombach [C];

U – napięcie elektryczne przyłożone do kondensatora w voltach [V];

S – powierzchnia okładek [m²];

d – odległość między okładkami [m];

ϵ – przenikalność elektryczna bezwzględna dielektryka (izolatora) wyrażona w faradach na metr [F/m];

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

gdzie:

ϵ_0 – przenikalność elektryczna próżni ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m)

ϵ_r – przenikalność elektryczna względna dielektryka (np. dla miki $\epsilon_r = 7$)

Parametry kondensatorów:

- pojemność znamionowa
- napięcie znamionowe U_n (jest to taka wartość napięcia stałego lub napięcia zmiennego częstotliwości 50 Hz, która nie powoduje uszkodzenia dielektryka i może być trwale doprowadzona do kondensatora)
- tolerancja wykonania (dokładność wykonania)
- stratność dielektryczna (określa zdolność kondensatora do utraty ładunku i jakość dielektryka)

Rodzaje kondensatorów:

- powietrzne
- ceramiczne
- elektrolityczne
- aluminiowe
- tantalowe
- papierowe

Zadanie 1

Kondensator o pojemności $C=10\mu F$ naładowano do napięcia $U=300 V$. Obliczyć ładunek kondensatora.

Zadanie 2

Obliczyć pojemność kondensatora płaskiego mikowego o wymiarach $S=1\text{ cm} \times 1,5\text{ cm}$ i $d=0,05\text{ mm}$. Przenikalność elektryczna względna miki $\epsilon_r=7$.

Uwaga! Przenikalność elektryczna próżni $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}\text{ F/m}$

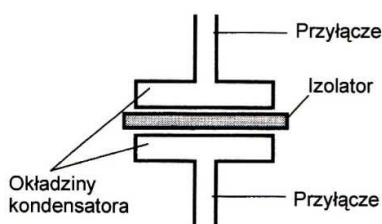
Zadanie 3

Kondensator składa się z dwóch taśm z folii aluminiowej o długości każdej taśmy 125 cm i szerokości 2 cm. Izolacją jest papier kondensatorowy o grubości $d=0,11\text{ mm}$ i $\epsilon_r=2,2$. Obliczyć pojemność kondensatora.

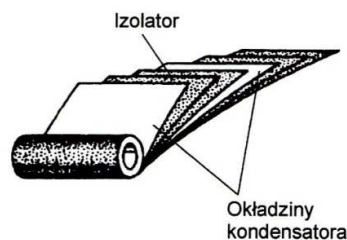
Ważne informacje o kondensatorze

4.9.3. Budowa

Kondensator składa się z dwóch odizolowanych od siebie okładzin (rys. 4.41). Pojemność (zdolność gromadzenia ładunku) zależy od powierzchni okładzin, a nie od ich grubości. W celu zmieszczenia w niewielkiej przestrzeni jak największej powierzchni okładzin zwiną się w wałek dwie metalowe folie, rozdzielone warstwą papieru, pełniącego funkcję izolatora (rys. 4.42).



Rys. 4.41
Budowa kondensatora



Rys. 4.42
Kondensator (realizacja techniczna)

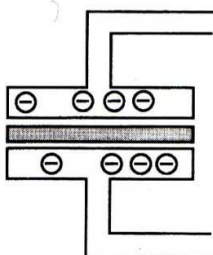
4.9.4. Zasada działania

Kondensator nienaładowany (rys. 4.43)

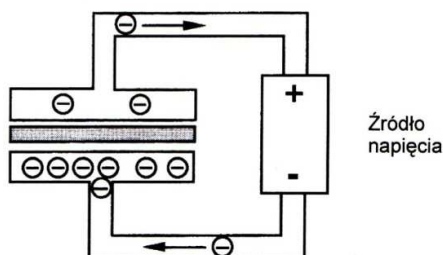
Okładziny są neutralne. Na każdej z nich znajduje się tyle samo ujemnych nośników ładunków (elektronów).

Proces ładowania (rys. 4.44)

Dodatni biegun źródła napięcia odbiera elektrony górnej okładzinie. Ujemny biegun źródła prądu wtłacza tę samą ilość elektronów na dolną okładzinę.



Rys. 4.43
Schemat kondensatora nienaładowanego



Rys. 4.44
Schemat ładowania kondensatora

W stanie naładowanym napięcie kondensatora jest równe napięciu źródła prądu. Wówczas nie płynie już żaden prąd. Kondensator zachowuje się jak izolator.

Proces rozładowania (rys. 4.45)

Kiedy połączymy obie naładowane okładziny poprzez rezystor, wtedy ładunki mogą się ponownie wyrównać. Napięcie na kondensatorze spada do zera.

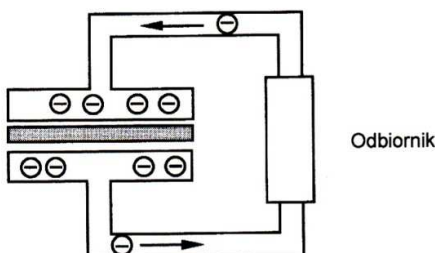
➡ *Kondensator gromadzi ładunek elektryczny. Zdolność gromadzenia ładunku przez kondensator nazywamy pojemnością.*

Wielkość elektryczna: pojemność

Oznaczenie: C

Jednostka: farad

Skrót: F



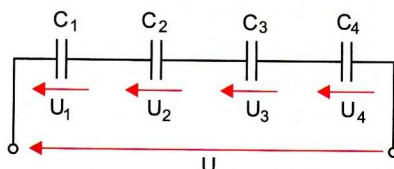
Rys. 4.45
Schemat rozładowywania kondensatora

W kondensatorach elektrolitycznych jedną powierzchnię okładziny tworzy ciecz przewodzącą elektryczność (elektrolit). Izolatorem jest warstwa tlenku drugiej powierzchni okładziny.

Aby nie zniszczyć kondensatora, należy zwracać uwagę na właściwą biegunowość.

POJEMNOŚĆ ZASTĘPCZA UKŁADU KONDENSATORÓW.

Kondensatory połączone szeregowo

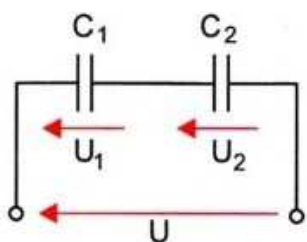


Pojemność zastępczą kondensatorów połączonych szeregowo obliczamy ze wzoru:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

Odwrotność pojemności zastępczej kondensatorów połączonych szeregowo równa się sumie odwrotności pojemności poszczególnych kondensatorów.

Pojemność zastępczą dwóch kondensatorów połączonych szeregowo można obliczyć ze wzoru:



Odwrotność pojemności zastępczej tego układu jest równa sumie odwrotności pojemności kondensatorów:

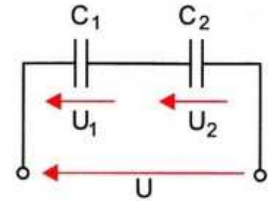
$$\frac{1}{C_{zs}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}$$

Po odwróceniu obu stron równania otrzymujemy ostateczny wzór:

$$C_{zs} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Przykład 3.1

Wyznacz pojemność zastępczą szeregowego połączenia dwóch kondensatorów o pojemności 100 nF i 0,5 μF (rys. 3.10). Jaka pojemność zastępczą ma połączenie szeregowe 2 oraz 10 kondensatorów o pojemności 0,5 μF? Oblicz napięcia występujące na kondensatorach o pojemności 0,5 μF, gdy wartość napięcia zasilającego układ wynosi 12 V.



Rys. 3.10. Rysunek do przykładu 3.1

Rozwiązanie

Przyjmijmy, że $C_1 = 100 \text{ nF} = 0,1 \text{ μF}$ i $C_2 = 0,5 \text{ μF}$. Korzystając z zależności (3.23), możemy napisać:

$$\frac{1}{C_{zs}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \quad (3.24)$$

Po odwróceniu obu stron tego równania otrzymujemy:

$$C_{zs} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{0,1 \cdot 0,5}{0,1 + 0,5} = \frac{0,05}{0,6} = 0,0833 \text{ μF} = 83,3 \text{ nF} \quad (3.25)$$

Z obliczeń wynika, że o pojemności zastępczej szeregowego połączenia kondensatorów decyduje kondensator o mniejszej wartości pojemności i wartość C_{zs} jest mniejsza od pojemności tego kondensatora.

W przypadku równej wartości pojemności obu kondensatorów (tzn. $C_1 = C_2 = C$) zależność (3.25) można przedstawić w postaci:

$$C_{zs} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C^2}{2C} = \frac{C}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ μF} \quad (3.26)$$

Z zależności tej wynika, że pojemność zastępcza szeregowego połączenia kondensatorów o takiej samej wartości pojemności jest równa połowie wartości pojemności pojedynczego kondensatora. Pojemność zastępcza szeregowego połączenia n kondensatorów o takiej samej pojemności jest równa:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} = \frac{n}{C} \quad (3.27)$$

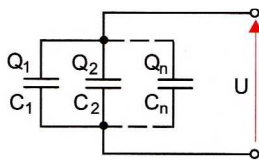
Stąd:

$$C = \frac{C}{n} \quad (3.28)$$

Po uwzględnieniu podanych wartości, pojemność zastępcza szeregowego połączenia 10 kondensatorów o pojemności 0,5 μF ma wartość:

$$C = \frac{C}{n} = \frac{0,5}{10} = 0,05 \text{ μF} = 50 \text{ nF} \quad (3.29)$$

Kondensatory połączone równolegle



Pojemność zastępczą kondensatorów połączonych równolegle obliczamy ze wzoru:

$$C_{zr} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Pojemność zastępcza układu kondensatorów jest równa sumie pojemności wszystkich kondensatorów układu.

Dla równoległego połączenia n kondensatorów o jednakowej pojemności C pojemność zastępczą obliczamy ze wzoru:

$$C_{zr} = nC$$

Przykład 3.2

Oblicz pojemność zastępczą układu trzech kondensatorów $C_1 = 1000 \text{ pF}$, $C_2 = 50 \text{ nF}$ oraz $C_3 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ połączonych w sposób pokazany na rys. 3.13.

Rozwiązanie

Ze schematu przedstawionego na rys. 3.13 wynika, że kondensatory C_1 i C_2 są połączone szeregowo. Do wyznaczenia pojemności zastępczej tych kondensatorów można więc wykorzystać zależność (3.24), którą po odwróceniu można zapisać jako:

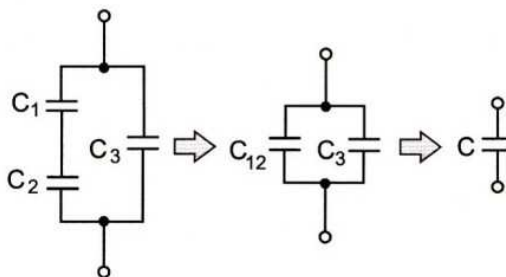
$$C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1 \cdot 50}{1 + 50} = \frac{50}{51} \text{ nF} = 0,98 \text{ nF} \approx 1 \text{ nF} \quad (3.38)$$

Wynik obliczeń potwierdza fakt, że pojemność zastępczą szeregowo połączonych kondensatorów o skrajnie różniących się wartościach określa pojemność o wartości mniejszej.

Gdy znamy już wartość pojemności zastępczej szeregowo połączonych kondensatorów C_1 i C_2 , pojemność zastępczą całego układu obliczamy z zależności:

$$C = C_{12} + C_3 = 0,001 + 1 \approx 1 \text{ }\mu\text{F} \quad (3.39)$$

Jak widać, w odróżnieniu od pojemności zastępczej szeregowo połączonych kondensatorów, pojemność zastępczą połączenia równoległego określa wartość większej pojemności. W naszym przypadku równoległe dołączenie kondensatora o pojemności 1 nF do kondensatora o pojemności $1 \text{ }\mu\text{F}$ nie ma praktycznie wpływu na wartość pojemności zastępczej takiego połączenia.



Rys. 3.13. Rysunek do przykładu 3.2