

21– ELEKTROSTATYKA. KONDENSATORY

Pojemność elektryczna

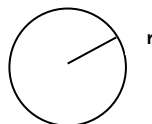
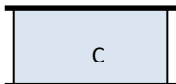
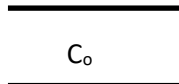
$$C = \frac{Q}{V} \text{ - dla przewodników} \quad C = \frac{Q}{U} \text{ - dla kondensatorów}$$

C – pojemność elektryczna

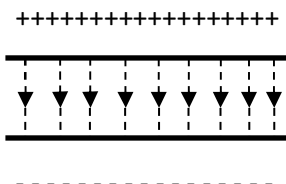
Q – ładunek

V – potencjał , U – napięcie

$$\text{jednostka – farad – } 1F = \frac{1C}{1V}$$

	Pojemność elektryczna kuli		$C = 4\pi\epsilon_0 r$	
	Pojemność kondensatora płaskiego		$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d}$	
ϵ_r – względna przenikalność dielektryczna dielektryka ϵ_0 – bezwzględna przenikalność dielektryczna próżni				
$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$				
S – powierzchnia jednej z okładek				
d – odległość między okładkami				
jeśli kondensator jest próżniowy, to $\epsilon_r=1$ i				
			$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$	
	czyli		=	$\epsilon_r \cdot$ 
		C		C ₀

Natężenie pola elektrycznego jednorodnego

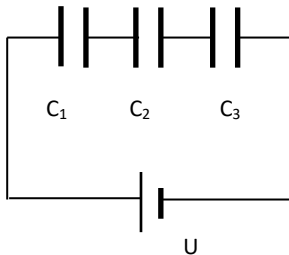


$$E = \frac{U}{d}$$

U – napięcie między okładkami kondensatora
d- odległość między płytkami

Łączenie kondensatorów, pojemność zastępcza

połączenie szeregowe



ładunek – $Q = \text{const}$

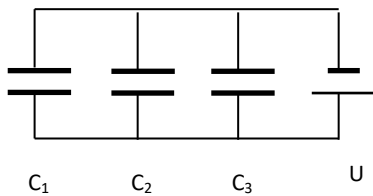
napięcie – $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

odwrotność pojemności:

$$\frac{1}{C_{\text{zastępcza}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Pojemność zastępcza za n identycznych kondensatorów o pojemnościach C każdego $C_{\text{zastępcza}} = \frac{C}{n}$

połączenie równoległe



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

napięcie – $U = \text{const}$

pojemność zastępcza $C_{\text{zastępcza}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

Pojemność zastępcza za n identycznych kondensatorów o pojemnościach C każdego $C_{\text{zastępcza}} = nC$

Energia naładowanego kondensatora

$$E_p = \frac{QU}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

Praca

$$W = \Delta E_p$$

Kondensator odłączony od źródła prądu i dołączony do źródła prądu

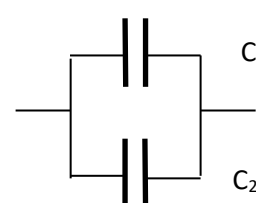
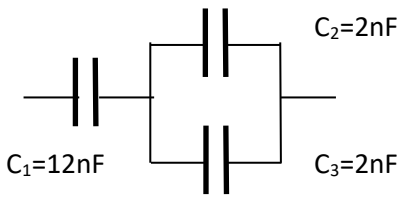
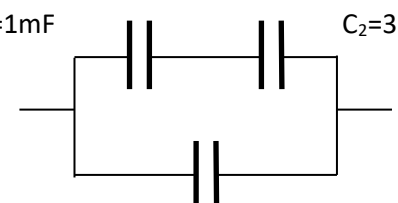
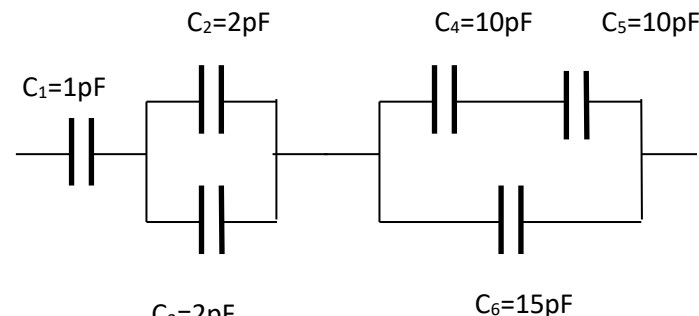
Problem jest taki: Kondensator naładowano i następnie zmieniono jego pojemność w jakiś tam sposób. Dla przykładu powiedzmy, że rozsunęto płytki do odległości dwukrotnie większej i usunięto dielektryk o stałej dielektrycznej $\epsilon_r = 2$. Jak zmienia się: pojemność elektryczna, ładunek, napięcie, energia i natężenie pola elektrycznego, jeśli operacji dokonywano gdy kondensator był

odłączony od źródła prądu	dołączony do źródła prądu
pojemność $C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \downarrow 4x$ (zmałała cztery razy)	pojemność $C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \downarrow 4x$ (zmałała cztery razy)
ładunek $Q = \text{const}$	ładunek $Q = CU \downarrow 4x$ (bo $U = \text{const}$)
napięcie $U = \frac{Q}{C} \uparrow 4x$ (bo $Q = \text{const}$)	napięcie $U = \text{const}$
energia $E_p = \frac{Q^2}{2C} \uparrow 4x$ (bo $Q = \text{const}$)	energia $E_p = \frac{CU^2}{2} \downarrow 4x$ (bo $U = \text{const}$)
natężenie pola elektrycznego $E = \frac{U}{d} \uparrow 2x$ (bo $U \uparrow 4x$ a $d \downarrow 2x$)	natężenie pola elektrycznego $E = \frac{U}{d} \downarrow 2x$ (bo $U = \text{const}$ a $d \uparrow 2x$)

ZADANIA

Zadanie 1

Oblicz napięcie, ładunek i energię każdego kondensatora w obwodach (odpowiedzi na końcu)

a.  $C_1=2\mu\text{F}$ $C_2=6\mu\text{F}$ pod napięciem $U=10\text{ V}$	b.  $C_1=1\mu\text{F}$ $C_2=2\mu\text{F}$ pod napięciem $U=100\text{ V}$
c.  $C_1=12\text{nF}$ $C_2=2\text{nF}$ $C_3=2\text{nF}$ pod napięciem $U=10\text{ V}$	d.  $C_1=1\text{mF}$ $C_2=3\text{mF}$ $C_3=0,25\text{mF}$ pod napięciem $U=10\text{ V}$
e.  $C_1=1\text{pF}$ $C_2=2\text{pF}$ $C_4=10\text{pF}$ $C_5=10\text{pF}$ $C_3=2\text{pF}$ $C_6=15\text{pF}$ pod napięciem $U=10\text{ V}$	

Zadanie 2

Między okładki kondensatora próżniowego o pojemności C_0 wsunięto płytkę z dielektryka złożoną z dwóch części różniących się stałą dielektryczną. Połowę objętości kondensatora wypełnia dielektryk o stałej dielektrycznej $\epsilon_1=3$, a drugą połowę o stałej $\epsilon_2=3\epsilon_1$. Jak zmieni się pojemność kondensatora w stosunku do pojemności C_0 ?

Odp: Jeśli Wypełnienie składa się z dwóch kawałków podłużnych (o powierzchniach takich jak płytki, ale grubościach równych połowie odległości między płytkami), to wzrośnie 4,5 razy. Jeśli wypełnienie składa się z dwóch kawałków poprzecznych (o powierzchniach równych połowie powierzchni płytek, ale o grubościach równych odległości między płytkami) to wzrośnie 6 razy.

Zadanie 3

Kondensator próżniowy, naładowany do różnicy potencjałów $U=800\text{ V}$ połączono równolegle z drugim takim samym kondensatorem nienaładowanym, wypełnionym dielektrykiem. Obliczyć stałą dielektryczną dielektryka, jeżeli po tym połączeniu różnica potencjałów między okładkami kondensatorów wynosi $U_1=100\text{ V}$.

Odp: 7

Zadanie 4

Okładki próżniowego kondensatora płaskiego o powierzchni $S=500\text{ cm}^2$ znajdują się w odległości $d_1=1\text{ cm}$ od siebie i są naładowane do napięcia $U_1=500\text{ V}$. Jaką pracę trzeba wykonać, aby po odłączeniu go od źródła napięcia okładki oddaliły się na odległość $d_2=4\text{ cm}$? Przyjąć stałą dielektryczną próżni $\epsilon_0=9\cdot 10^{-12}\text{ C/Vm}$.

Odp: $1,69\cdot 10^{-5}\text{ J}$

Zadanie 5

Kondensator powietrzny płaski naładowano, a następnie po odłączeniu od źródła prądu zwiększono dwukrotnie odległość między jego okładkami. Jak zmieniają się: energia kondensatora, jego napięcie i natężenie pola elektrycznego między jego okładkami

Odp: Energia dwukrotnie wzrośnie, napięcie dwa razy wzrośnie, a natężenie pola elektrycznego nie zmieni się.

Zadanie 6

Kondensator powietrzny o zmiennej pojemności od $C_1=20\text{ pF}$ do $C_2=200\text{ pF}$ naładowano do napięcia $U=230\text{ V}$ przy pojemności C_2 . Oblicz wartość wykonanej pracy przy zmianie pojemności od C_2 do C_1 po uprzednim odłączeniu go od źródła napięcia.

Odp: $4,761\cdot 10^{-5}\text{ J}$

Zadanie 7

Kondensator bez dielektryka naładowano ładunkiem $Q=400\text{ nC}$ i odłączono od źródła napięcia. Po wprowadzeniu dielektryka o stałej dielektrycznej $\epsilon_r=4$ napięcie zmalało do $U=100\text{ V}$. Obliczyć pojemność kondensatora, jego energię przed i po wprowadzeniu dielektryka.

Odp: $C_0=1\text{ nF}$, $C=4\text{ nF}$, $E_{p0}=8\cdot 10^{-5}\text{ J}$, $E_p=2\cdot 10^{-5}\text{ J}$

Zadanie 8

Kondensator napełniony olejem o stałej dielektrycznej $\epsilon_r=4,8$ naładowano do różnicy potencjałów $U=1000$ V. Kondensator był nieszczelny i po pewnym czasie olej z niego całkowicie wyciekł. Obliczyć zmianę napięcia ΔU między jego okładkami, jaka wystąpiła wskutek wypłynięcia oleju.

Odp: $\Delta U=3800$ V. Nastąpił wzrost napięcia od 1000 V do 4800 V.

Zadanie 9

Płaski kondensator powietrzny, którego płytki o powierzchni $S=100$ cm² oddalone są od siebie na odległość $d_1=1$ mm, naładowano do różnicy potencjałów $U=100$ V. Następnie płytki rozsunięto na odległość $d_2=25$ mm. Znaleźć energię kondensatora przed i po rozsunięciu płytek jeżeli:

1. kondensator cały czas pozostaje przyłączony do źródła napięcia.
2. źródło napięcia odłącza się przed rozsunięciem płytek.

Przyjąć stałą dielektryczną próżni $\epsilon_0=9 \cdot 10^{-12}$ C²/Nm².

Odp:

Energia kondensatora przed rozsunięciem płytek wynosi $4,5 \cdot 10^{-7}$ J. Po rozsunięciu płytek w 1 przypadku ($U=const$) energia ta jest 25 razy mniejsza (bo tyle razy wzrosła odległość płytek) i wynosi $1,8 \cdot 10^{-8}$ J. Po rozsunięciu płytek w drugim wypadku ($Q=const$) energia ta jest tym razem 25 razy większa i wynosi $1,125 \cdot 10^{-5}$ J.

Zadanie 10

Płaski kondensator powietrzny, w którym odległość między okładkami wynosi $d=4$ mm zanurzono do połowy w naftie, pionowo płytkami. O ile należy rozsunąć płytki kondensatora powietrznego, aby jego pojemność pozostała niezmienną? Stała dielektryczna nafty $\epsilon_r=2$.

Odp: o 2 mm

Zadanie 11

Płaski kondensator powietrzny o powierzchni okładek $S=2 \cdot 10^{-3}$ m² i odległości między okładkami $d=2$ mm jest przyłączony do źródła prądu stałego o napięciu $U=120$ V. O ile zmieni się ładunek kondensatora po wprowadzeniu między okładki szklanej płyty całkowicie wypełniającej jego wnętrze? Względna przenikalność dielektryczna szkła $\epsilon_r=7$.

Odp: o $6,408 \cdot 10^{-9}$ C

Zadanie 12

Kondensator płaski, którego obszar między płytkami jest całkowicie wypełniony dielektrykiem ma pojemność $C=4\text{ }\mu\text{F}$. Po naładowaniu go do napięcia $U=100\text{ V}$ i odłączeniu od źródła zasilania usunięto dielektryk. Wymagało to wykonania pracy $W=0,1\text{ J}$. Obliczyć względną przenikalność dielektryka.

Odp: 6

Zadanie 13

Połączono cienkim drucikiem dwie kule metalowe, jedną o promieniu $r_1=2\text{ cm}$ naładowaną ładunkiem $Q_1=-2\text{ nC}$ i drugą, o promieniu $r_2=1\text{ cm}$, naładowaną ładunkiem $Q_2=+6\text{ nC}$. Jaki potencjał będą miały te kule po połączeniu?

Odp: ok. 1193 V

Zadanie 14

Płaski kondensator powietrzny o powierzchni okładek S i odległości między nimi d naładowano do napięcia U i odłączono od źródła. Następnie odległość między płytkami zwiększono n -krotnie, po czym przestrzeń między nimi wypełniono całkowicie dielektrykiem o względnej przenikalności dielektrycznej ϵ_r . Obliczyć zmianę energii kondensatora. Przenikalność dielektryczna próżni wynosi ϵ_0 . Jaka wartość stałej dielektrycznej ϵ_r gwarantuje, że będzie to wzrost energii?

Odp: $\Delta E_p = \frac{(n-\epsilon_r)\epsilon_0 S U^2}{2\epsilon_r d}$

Aby nastąpił wzrost energii $\epsilon_r < n$, czyli stosunek odległości po rozsunięciu okładek n , musi być większy od stałej dielektrycznej ϵ_r .

Zadanie 15

Kondensator o jakiej pojemności i nienaładowany należy dołączyć i jak do naładowanego kondensatora o pojemności $C=1\text{ nF}$, aby energia układu dwukrotnie wzrosła?

Odp. Należy dołączyć drugą taką samą pojemność $C=1\text{ nF}$, szeregowo.

Zadanie 16

Mamy do dyspozycji cztery jednakowe kondensatory. Jak należy je połączyć, by pojemność baterii pozostała niezmieniona. Narysuj schemat połączenia. *Odpowiedź na następnej stronie*

Zadanie 17

Zadanie 10. Ładunki elektryczne (4 pkt) - <http://www.voltwo.webd.pl/matura/fizyka/2007-PROBNI-OPERON-rozszerzony.pdf>

Odpowiedzi do zadania 1

a.

kondensator	pojemność [μF]	napięcie [V]	ładunek [μC]	energia [μJ]
C_1	2	7,5	15	56,25
C_2	6	2,5	15	18,75

b.

kondensator	pojemność [μF]	napięcie [V]	ładunek [μC]	energia [μJ]
C_1	1	100	100	5000
C_2	2	100	200	10000

c.

kondensator	pojemność [nF]	napięcie [V]	ładunek [nC]	energia [nJ]
C_1	12	2,5	30	37,50
C_2	2	7,5	15	56,25
C_3	2	7,5	15	56,25

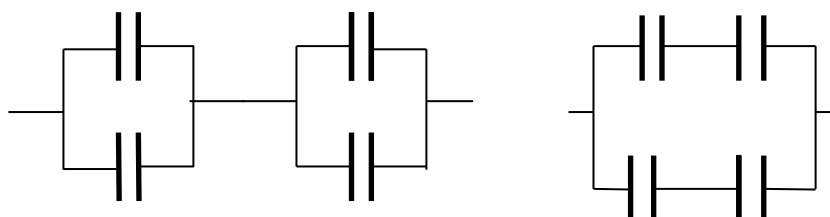
d.

kondensator	pojemność [mF]	napięcie [V]	ładunek [mC]	energia [mJ]
C_1	1	7,5	7,5	28,125
C_2	3	2,5	7,5	9,375
C_3	0,25	10	2,5	12,500

e.

kondensator	pojemność [pF]	napięcie [V]	ładunek [pC]	energia [pJ]
C_1	1	7,69	7,69	29,568
C_2	2	1,92	3,85	3,696
C_3	2	1,92	3,85	3,696
C_4	10	0,19	1,95	0,185
C_5	10	0,19	1,95	0,185
C_6	15	0,39	5,85	1,140

Odpowiedź do zadania 16



Są dwa rozwiązania przedstawione powyżej.