4. Capacidade

Em 1745, o holandês Pieter van Musschenbroek inventou o primeiro **condensador**. Enquanto usava uma garrafa de vidro para isolar uma lâmina metálica no seu interior, descobriu que quando segurava a garrafa na mão, a carga elétrica que conseguia armazenar na lâmina era muito maior do que quando a garrafa estava sobre a mesa. A explicação é que na mão, que é um condutor, são induzidas cargas de sinal contrário que atraem as cargas no metal, permitindo que seja mais fácil introduzir mais cargas do mesmo sinal. Colocando uma segunda lâmina metálica por fora da garrafa, facilita-se a entrada de cargas na garrafa, podendo ser armazenadas cargas muito elevadas. O condensador de van Musschenbroek ficou conhecido como **garrafa de Leiden**, que é a cidade onde trabalhou. Trata-se de uma das invenções mais importantes da história da eletricidade, que permitiu acumular cargas maiores, facilitando a realização de experiências de eletrostática.

4.1. Capacidade de um condutor isolado

O potencial num condutor isolado é uniforme em todo o condutor e proporcional à carga total nele. Define-se a **capacidade** do condutor como a razão entre a carga e o potencial na superfície do condutor

$$\boxed{C = \frac{Q}{V_{\text{sup}}}} \tag{4.1}$$

A capacidade não depende da carga nem do potencial, pois os dois aumentam na mesma proporção; a capacidade depende unicamente da forma e tamanho do condutor. O potencial V_{sup} é realmente a diferença de potencial entre a superfície do condutor e um ponto no infinito, onde costuma arbitrar-se potencial igual a zero.

No sistema internacional de unidades, a unidade para medir capacidade elétrica é o farad, em homenagem ao cientista Michael Faraday (1791–1867). O farad, representado pela letra F, é a capacidade de um condutor que, com uma carga de 1 C, tem um potencial de 1 V:

$$1\ \text{F} = 1\ \text{C/V} \tag{4.2}$$

Uma capacidade de 1 F é muito elevada, sendo comum encontrarem-se na prática capacidades da ordem de 1 µF, 1 nF ou 1 pF.

4.2. Esfera condutora isolada

Numa esfera condutora isolada (figura 4.1), toda a carga se acumula na superfície, de forma uniforme, devido à simetria da esfera. No apêndice B mostra-se como calcular o campo elétrico e o resultado é que, dentro da esfera o campo é nulo e fora dela o campo é idêntico ao campo de uma carga pontual Q colocada no centro da esfera. O módulo do campo elétrico

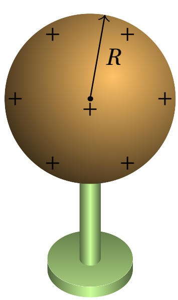


Figura 4.1.: Esfera condutora.

num ponto que se encontra a uma distância r do centro da esfera é:

$$E = \begin{cases} \dfrac{k\,|Q|}{K\,r^2} & ,r > R \\ 0 & ,r < R \end{cases} \tag{4.3}$$

onde k é a constante de Coulomb (9.00×10^9 N·m^2/C^2) e K é a constante dielétrica do meio à volta da esfera. A figura 4.2 mostra o gráfico do módulo do campo em função da distância até o centro, no caso em que a carga é positiva.

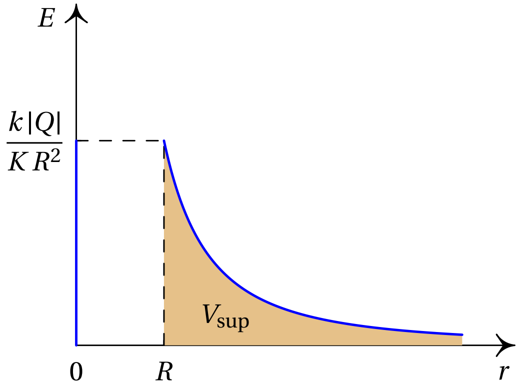


Figura 4.2.: Gráfico do módulo do campo elétrico de uma esfera condutora isolada.

Para calcular V_{sup} integra-se a componente tangencial do campo elétrico, desde a superfície da esfera até o infinito, ao longo de qualquer percurso; um percurso que facilita o cálculo é na direção e sentido radial, que é a direção das linhas de campo elétrico:

$$V_{\text{sup}} = \int_R^{\infty} E\,\mathrm{d}r = \frac{k\,Q}{K} \int_R^{\infty} \frac{1}{r^2}\,\mathrm{d}r = \frac{k\,Q}{K\,R} \tag{4.4}$$

O valor deste integral é também igual à área sombreada na figura 4.2. Usando a expressão obtida para V_{sup}, encontra-se a expressão para a capacidade da esfera de raio R,

$$C = \frac{Q}{V_{\text{sup}}} = \frac{K\,R}{k} \tag{4.5}$$

Observe-se que se Q for negativa, $|Q|$ deveria ser substituída por $-Q$ mas o resultado do integral na equação 4.4 é o mesmo porque, nesse caso, o sentido do campo seria oposto ao sentido radial, introduzindo outro sinal negativo. O potencial na superfície, em relação ao infinito, tem sempre o mesmo sinal da carga e, como tal, a capacidade é sempre um número positivo.

Quanto maior for a esfera, maior será a sua capacidade. Já se referiu anteriormente que a capacidade não depende da carga armazenada na esfera, nem do potencial produzido por essa carga. A capacidade depende apenas do tamanho e da forma geométrica do condutor e da constante dielétrica do meio. Neste caso é diretamente proporcional ao raio da esfera e à constante dielétrica do meio.

4.3. Condensadores

Na abertura do capítulo mencionou-se a garrafa de Leiden, que foi o primeiro condensador construído na história. Os dois condutores separados por um isolador (neste caso vidro), designam-se de **armaduras**. Quando existem cargas numa das armaduras são induzidas cargas de sinal contrário na outra armadura, o que faz diminuir o potencial de cada armadura em relação ao potencial de referência (a **terra**). A diminuição do potencial do sistema de duas armaduras, comparado com o potencial que teria uma única armadura com a mesma carga, implica uma capacidade muito maior para o condensador em comparação com a capacidade de cada uma das duas armaduras por separado.

Se uma das armaduras tiver carga Q a outra tem carga $-Q$. Se ΔV for a voltagem entre as duas armaduras, define-se a capacidade do condensador, C, da forma seguinte:

$$\boxed{C = \frac{Q}{\Delta V}} \tag{4.6}$$

Se entre as duas armaduras é colocado um isolador, a constante de coulomb, k, que entra no cálculo da diferença de potencial ΔV, a partir da força, é substituída por k/K, onde K é a constante dielétrica do isolador. Como tal, com o isolador a capacidade do condensador aumenta de um fator K. Assim, na garrafa de Leiden a garrafa de vidro serve de isolador e ajuda a aumentar a capacidade. Como o vidro tem uma constante dielétrica de perto de 6, a capacidade com a garrafa de vidro é cerca de 6 vezes a que se obtinha sem vidro entre as armaduras.

Quanto maior a capacidade de um condensador, mais fácil é armazenar cargas nele. Existem vários modelos diferentes de condensadores, com diferentes formas e tamanhos (figura 4.3).

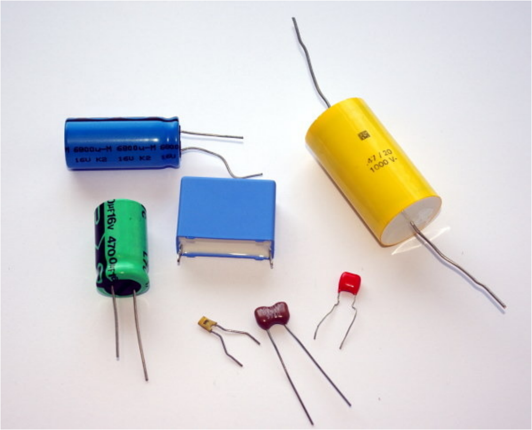


Figura 4.3.: Vários tipos diferentes de condensadores.

O isolador entre as armaduras de um condensador também se chama dielétrico. O dielétrico também ajuda a aumentar a diferença de potencial máxima que pode existir entre as armaduras. Cada material isolador tem um valor da **rigidez dielétrica** ($E_{\text{máx}}$) que é o campo elétrico máximo que suporta o dielétrico sem se produzir rutura. A rutura de um dielétrico ocorre quando as suas moléculas ou átomos são deformadas a tal ponto, que algumas delas são ionizadas, formando-se fendas onde o material está queimado e passa a ser condutor por causa dos iões depositados nessa fendas. A figura 4.4 mostra um bloco de acrílico que foi colocado entre duas armaduras com uma voltagem elevada, ultrapassando a rigidez dielétrica do acrílico, produzindo a sua rutura. As fendas onde o dielétrico foi queimado criam as chamadas figuras de Lichtenberg

A diferença de potencial máxima que suporta um condensador com dielétrico de espessura d sem se queimar é então,

$$\Delta V_{\text{máx}} = E_{\text{máx}}\, d \tag{4.7}$$

onde $E_{\text{máx}}$ é a rigidez do dielétrico. Diferentes modelos de condensadores (figura 4.3) têm diferentes capacidades e diferenças de potencial máxi-

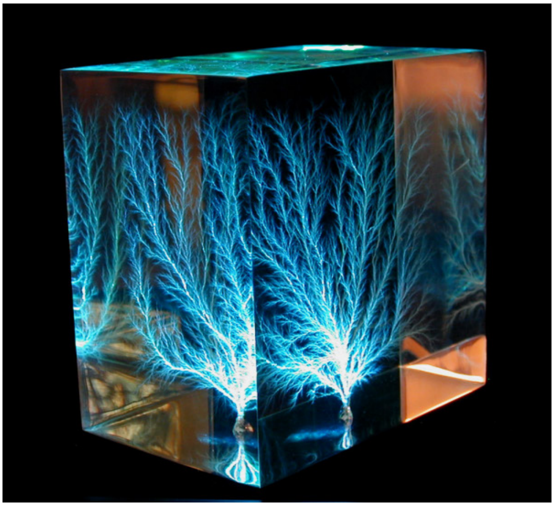


Figura 4.4.: Bloco de acrílico após a rutura do dielétrico.

mas, conforme o tamanho e o dielétrico utilizado. Em algumas aplicações também é importante que o tempo de resposta do dielétrico seja rápido, já que as cargas não são induzidas nas moléculas do dielétrico de forma instantânea. A tabela 4.1 mostra a constante dielétrica e a rigidez dielétrica de vários materiais isoladores.

Tabela 4.1.: Constante e rigidez de alguns dielétricos.

Material	**Constante dielétrica, K**	**Rigidez, $E_{\text{máx}}$ (kV/mm)**
Água (20 °C)	80	—
Ar seco	1.00059	3
Óleo	2.24	12
Papel	3.7	16
Acrílico	3.4	40
Vidro pirex	5.6	14
Porcelana	7	5.7
Poliéster	2.55	24
Parafina	2.1– 2.5	10

A rigidez dielétrica do ar seco é 3 kV/mm. Quando a diferença de potencial entre dois objetos no ar ultrapassa 3000 V por milímetro de afastamento, dáse uma descarga elétrica abrupta dos objetos. As forças elétricas elevadas ionizam as moléculas do ar, e a descarga é a passagem de iões positivos e negativos do ar entre os dois objetos.

As nuvens e a terra, que são condutores, atuam como as armaduras de um condensador, sendo o ar o dielétrico. Durante uma trovoada, a humidade do ar faz diminuir a rigidez dielétrica do ar e a diferença de potencial máxima entre as nuvens e a terra diminui, existindo a possibilidade de surgirem descargas elétricas (figura 4.5). Quanto mais perto das nuvens estiverem os objetos apoiados no chão, maior será a probabilidade de serem atingidos por um raio, porque $\Delta V_{\text{máx}} = E_{\text{máx}}\, d$ é então menor.

Figura 4.5.: Numa trovoada, a humidade do ar facilita as descargas elétricas.

4.3.1. Condensador esférico

A figura 4.6 mostra um condensador esférico, formado por duas armaduras esféricas concêntricas, de raios R_1 e R_2, separadas por um isolador de constante dielétrica K que ocupa o espaço entre as duas esferas. A esfera menor está ligada a um fio que passa para fora da esfera maior, sem tocá-la, de forma a poder-se armazenar uma carga Q numa das esferas e $-Q$ na outra.

O campo produzido pelas duas esferas condutoras é dado pela expressão obtida no apêndice B, substituindo Q_1 por Q e Q_2 por $-Q$ na equação B.14. Como a soma das duas cargas é zero, o campo fora das duas esferas é nulo. O campo elétrico está confinado à região entre as duas esferas, onde existe o dielétrico que as separa. A expressão do campo (admitindo que Q é positiva) é,

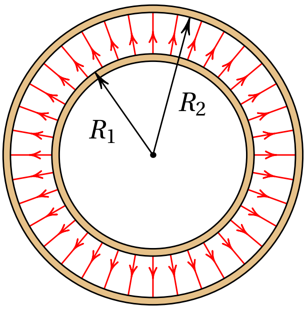


Figura 4.6.: Condensador esférico.

$$E = \begin{cases} \dfrac{k\,Q}{K\,r^2} & , R_1 < r < R_2 \\ 0 & , r < R_1 \text{ ou } r > R_2 \end{cases} \tag{4.8}$$

E a diferença de potencial entre as esferas é o integral do campo, no sentido radial, entre as duas esferas:

$$\Delta V = \int_{R_1}^{R_2} \frac{k\,Q}{K\,r^2}\,\mathrm{d}r = \frac{k\,Q}{K}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \tag{4.9}$$

Dividindo a carga, Q, pela diferença de potencial, ΔV, obtém-se a expressão para a capacidade do condensador esférico:

$$\boxed{C_{\text{esf}} = \frac{K\,R_1 R_2}{k\,(R_2 - R_1)}} \tag{4.10}$$

4.3.2. Condensador plano

Um condensador plano é formado por duas armaduras planas, de área A, paralelas e separadas por uma distância constante d, como no lado esquerdo da figura 4.7. Se as armaduras estão suficientemente próximas uma boa aproximação consiste em considerar o condensador plano como uma pequena parte num condensador esférico, com um raio muito grande,

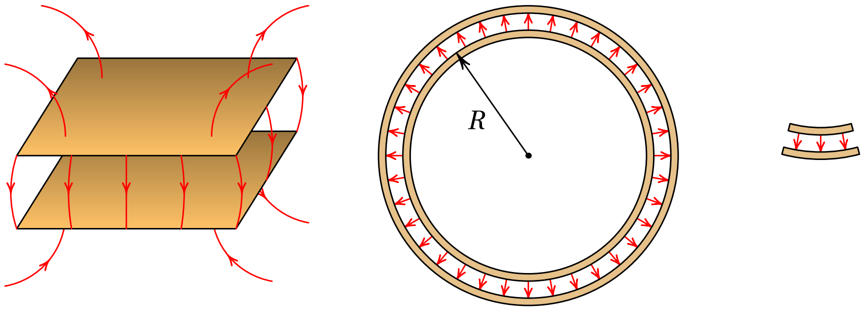


Figura 4.7.: Condensador plano, condensador esférico muito grande e uma pequena região que aproxima o condensador plano.

aproximando-se de infinito, e as duas esferas aproximadamente com o mesmo raio, como mostra a figura 4.7.

A carga e a área no condensador esférico muito grande aproximam-se de infinito, mas a relação entre elas, carga superficial, permanece finita. A equação 4.8 para o campo dentro do condensador esférico deve ser escrita em função da carga superficial, $\sigma = Q/(4\pi R^2)$, e com r igual a R para obter o campo na vizinhança da esfera; o campo dentro do condensador plano e então, aproximadamente:

$$E = \frac{4\pi k\sigma}{K} \tag{4.11}$$

E a diferença de potencial entre as armaduras é igual a

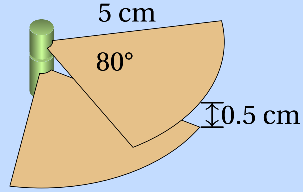
$$\Delta V = \int_0^d \frac{4\pi k\sigma}{K}\,\mathrm{d}s = \frac{4\pi k\sigma\, d}{K} = \frac{4\pi k Q\, d}{K A} \tag{4.12}$$

onde d é a distância entre as armaduras, Q a carga na armadura positiva e A a área das armaduras. A partir da equação 4.6 obtém-se a expressão para a capacidade do condensador plano:

$$\boxed{C_{\text{plano}} = \frac{K A}{4\pi k d}} \tag{4.13}$$

A capacidade de um condensador plano é diretamente proporcional à constante dielétrica e à área das armaduras e inversamente proporcional à distância entre elas.

Exemplo 4.1
Um condensador variável é constituído por duas placas planas paralelas com forma de setor circular de ângulo 80° e raio 5 cm, que podem rodar à volta de um eixo comum, como mostra a figura. Se a distância entre as placas é 0.5 cm, calcule a capacidade máxima e a capacidade quando uma das placas roda 30° a partir da posição onde a capacidade é máxima.



Resolução. A capacidade máxima obtém-se quando as duas placas estão completamente sobrepostas uma acima da outra, de forma que a carga se distribui ao longo de toda a superfície das placas. O ângulo de 80° equivale a uma fração 80/360 do círculo completo; portanto, a área das armaduras é:

$$A = \frac{80\,\pi\,5^2}{360} = \frac{50\pi}{9}\ \text{cm}^2$$

A capacidade é dada pela expressão 4.13, com a constante dielétrica do ar, $K = 1$:

$$C_{\text{máx}} = \frac{0.005\,\pi}{4\,\pi\times 9\times 10^9\times 9\times 0.005} = 3.1\ \text{pF}$$

Quando uma das placas roda 30°, a área na qual a carga se distribui, corresponde apenas à área da parte das placas que se encontra sobreposta, ou seja, um setor circular de ângulo 50°. A área é então 5/8 da área total das armaduras e a capacidade, sendo diretamente proporcional à área, é 5/8 da capacidade máxima:

$$C = \frac{5}{8}\,C_{\text{máx}} = 1.9\ \text{pF} \tag{4.14}$$

4.3.3. Ultracondensadores

Um condensador pode cumprir uma função semelhante à de uma bateria, já que pode ser usado para armazenar cargas que são fornecidas a um circuito. A grande vantagem é que, como não há reações químicas envolvidas, a carga e descarga podem ser feitas muito rapidamente e o condensador não fica inutilizado após várias cargas e descargas, que é o que acontece a uma bateria recarregável. Imagine por exemplo que em vez de ter que esperar algumas horas para recarregar a bateria do telemóvel, esta ficasse imediatamente recarregada quando fosse ligada à tomada, e que nunca tivesse que trocá-la por uma nova. Isso está cada vez mais perto de ser uma realidade, com o desenvolvimento dos ultracondensadores.

A dificuldade em usar um condensador normal como fonte é que à medida que o condensador descarrega, a diferença de potencial entre as suas armaduras decresce rapidamente. Uma desvantagem ainda maior é que a capacidade de armazenar carga não é tão elevada como nas baterias. Considere-se por exemplo a pilha recarregável no 4 do capítulo 2. O valor da f.e.m. é 1.2 V e a carga máxima armazenada é de 2300 mA·h = 8.28 kC. De acordo com a equação 4.6, seria necessário um condensador de 6.9 kF para armazenar essa carga, com essa diferença de potencial.

Uma capacidade tão elevada era algo impensável, até finais do século passado. Um condensador tradicional, do tamanho dessa pilha, teria uma capacidade da ordem dos µF. Os condensadores eletrolíticos atinge capacidades superiores, mas ainda aquém dos quilo-farad. Recentemente têm sido produzidos **ultracondensadores**, com capacidades muito mais elevadas, na ordem dos quilo-farad (figura 4.8).

Figura 4.8.: Alguns ultracondensadores.

Por exemplo, o ultracondensador cilíndrico situado à frente na figura 4.8, tem uma capacidade de 3000 farads a 2.7 volts. Com esses valores, a carga que se consegue armazenar é de 8.1 kC já muito próximo da carga de uma pilha recarregável. A capacidade elevada também implica que demora muito mais a descarregar quando é ligado a um circuito. Ainda falta reduzir um pouco o tamanho para que seja competitivo com as atuais baterias de iões de lítio.

Nos ultracondensadores usa-se um meio poroso para substituir uma das armaduras. A área de contacto entre elétrodos e eletrólito é muito elevada. Os ultracondensadores são já utilizados em combinação com os motores elétricos dos automóveis que funcionam a hidrogénio com células de combustível (figura 4.9) e que já estão a ser comercializados em alguns países.

Figura 4.9.: Autocarro experimental a hidrogénio da STCP no Porto.

O ultracondensador permite acumular rapidamente as cargas produzidas pelas células de combustível ou pelos travões eletromagnéticos, e essa carga pode ser fornecida rapidamente, nos momentos em que é necessário acelerar. As únicas reações químicas produzidas nesse tipo de veículo é a combinação do hidrogénio com o oxigénio nas células de combustível, que produz vapor de água. Não são libertados gases nocivos para a atmosfera, nem existem baterias a produzir produtos químicos corrosivos.

Os ultracondensadores podem fornecer carga e serem recarregados muito mais rapidamente do que uma bateria e sem sofrer o desgaste que faz com que a bateria tenha um número limitado de ciclos de carga e descarga.

4.4. Energia elétrica armazenada num condensador

Para carregar um condensador, é necessário carregar uma das armaduras com carga Q e a outra com carga $-Q$. O processo implica uma transferência de carga Q de uma armadura para a outra. Essa passagem pode ser feita por ligação de dois cabos nas armaduras e nos terminais de uma bateria (figura 4.10).

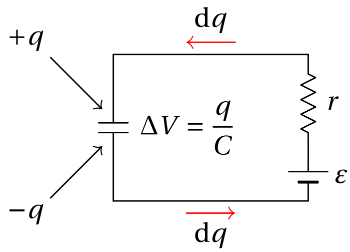


Figura 4.10.: Passagem da carga de uma armadura para a outra num condensador.

Para determinar a energia fornecida pela bateria nesse processo, imaginemos que a carga total Q foi transferida em pequenas cargas infinitesimais dq desde uma das armaduras até a outra, como indica a figura 4.10. Cada vez que uma carga dq passa da armadura negativa para a positiva, ganha uma energia potencial elétrica

$$\mathrm{d}U_e = \Delta V\,\mathrm{d}q = \frac{q}{C}\,\mathrm{d}q \tag{4.15}$$

A energia total armazenada no condensador obtem-se por integração, desde $q = 0$, até $q = Q$ (área sob a reta no gráfico de ΔV em função de q, na figura 4.11). O resultado é:

$$U_{\text{cond}} = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \tag{4.16}$$

Usando a equação 4.6, que relaciona a carga e a diferença de potencial em qualquer condensador, a equação anterior pode ser escrita em outras duas formas alternativas:

$$\boxed{U_{\text{cond}} = \frac{1}{2}\,Q\,\Delta V = \frac{1}{2}\,C\,\Delta V^2} \tag{4.17}$$

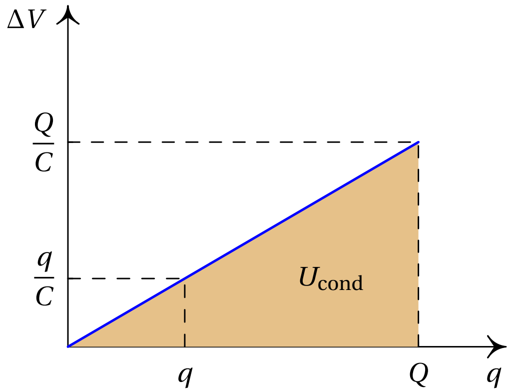


Figura 4.11.: Aumento da voltagem num condensador, em função da carga armazenada.

A carga não é transferida para as armaduras de forma instantânea. Quando se liga um condensador a uma fonte, a carga aumenta gradualmente até uma carga final. O processo de aumento da carga com o tempo denomina-se resposta transitória do condensador; se a resistência entre a fonte e as armaduras do condensador não for muito elevada, a resposta transitória é extremamente rápida e pode-se admitir que a carga no condensador já tem o seu valor final estável. No capítulo sobre processamento de sinais mostra-se como determinar a resposta transitória.

4.5. Associações de condensadores

Um sistema de condensadores pode ser substituido por um único condensador equivalente. Nos casos em que os condensadores são ligados em série ou em paralelo, é fácil calcular a capacidade do condensador equivalente.

A figura 4.12 mostra dois condensadores ligados em série, entre os pontos A e B. Se os condensadores estiverem inicialmente descarregados, ao introduzir uma diferença de potencial entre os pontos A e B, circula uma carga Q que entra pelo ponto a maior potencial (A na figura) e sai pelo ponto a menor potencial. Na região central, que liga as duas armaduras comuns aos dois condensadores, são induzidas cargas Q e $-Q$ (a carga total nessa região é nula). Assim, a carga armazenada em cada um dos condensadores é idêntica.

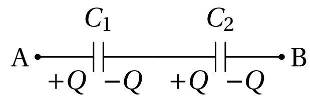


Figura 4.12.: Condensadores em série.

A diferença de potencial entre os pontos A e B é a soma das diferenças de potencial em cada um dos condensadores:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right) Q \tag{4.18}$$

O sistema é então equivalente a um único condensador cuja capacidade satisfaz a equação:

$$\frac{1}{C_\text{s}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \qquad \text{ou:} \qquad \boxed{C_\text{s} = \frac{C_1\, C_2}{C_1 + C_2}} \tag{4.19}$$

O valor da carga armazenada no condensador equivalente é o mesmo que em cada um dos condensadores em série.

A figura 4.13 mostra um sistema de dois condensadores ligados em paralelo entre dois pontos A e B. A diferença de potencial é sempre igual nos dois condensadores, e igual à diferença de potencial entre os pontos A e B.

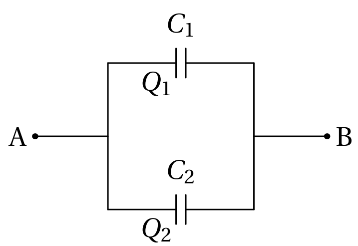


Figura 4.13.: Condensadores em paralelo.

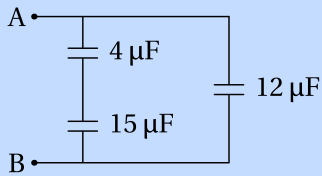
Se os condensadores estiverem inicialmente descarregados, no momento em que é introduzida uma diferença de potencial entre os pontos A e B, entra carga positiva nas armaduras que estiverem ligadas ao ponto com maior potencial, e sai a mesma quantidade de carga das armaduras ligadas ao ponto com menor potencial. Mas a quantidade de carga que entra em cada condensador não tem que ser a mesma; a carga total que entra e sai entre os pontos A e B é:

$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2)\,\Delta V \tag{4.20}$$

Ou seja, o sistema é equivalente a um único condensador com capacidade igual à soma das capacidades dos dois condensadores:

$$\boxed{C_\mathrm{p} = C_1 + C_2} \tag{4.21}$$

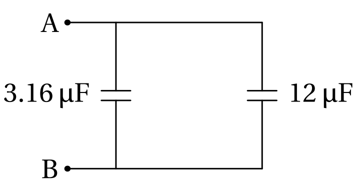
Exemplo 4.2
Considere o circuito representado na figura e calcule: (*a*) A capacidade equivalente entre A e B. (*b*) A carga armazenada em cada condensador quando a voltagem entre A e B for $\Delta V = 200$ V. (*c*) A energia total armazenada no circuito quando $\Delta V = 200$ V.

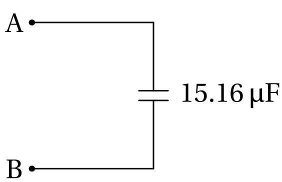


Resolução. Os condensadores de 4 μF e 15 μF encontram-se em série e, portanto, podem ser substituídos por um só condensador de capacidade:

$$C_\mathrm{eq} = \frac{4 \times 15}{4 + 15}\,\mu\mathrm{F} = 3.16\,\mu\mathrm{F}$$

este condensador está ligado em paralelo com o condensador de 12 μF, pelo que a capacidade total é 15.16 μF.





Nos dois condensadores de 12 μF e 3.16 μF a voltagem é a mesma e é igual a 200 V; assim sendo, as cargas nesses condensadores são:

$$Q_{12} = 200 \times 12 \times 10^{-6} = 2.4\ \mathrm{mC}$$
$$Q_{3.16} = 200 \times 3.16 \times 10^{-6} = 632\ \mu\mathrm{C}$$

As cargas nos condensadores de 4 μF e 15 μF são iguais porque eles estão ligados em série:

$$Q_4 = Q_{15} = 632\ \mu\text{C}$$

A energia total armazenada pode ser calculada somando as energias armazenadas em cada um dos condensadores; a resposta deve ser a mesma em qualquer dos circuitos equivalentes. Usando o circuito mais simples, com um só condensador de 15.16 μF, obtém-se:

$$U_\text{t} = \frac{1}{2}C\,\Delta V^2 = \frac{1}{2}15.16\times 10^{-6}\times 200^2 = 0.303\ \text{J}$$

Perguntas

1. A capacidade elétrica de um condutor isolado:

A. Diminui se o condutor tiver um dielétrico à sua volta.

B. Não depende do seu tamanho.

C. Mede-se em unidades de J/C.

D. É igual ao trabalho necessário para deslocar uma carga desde o infinito até o condutor.

E. É independente da carga acumulada no condutor.

2. Qual deve ser a capacidade de um condensador para que, quando a sua voltagem for de 9.0 V, a carga na armadura com carga negativa seja equivalente a 10^{10} eletrões?

A. 14 nF

B. 178 nF

C. 178 pF

D. 14 pF

E. 5.6 pF

3. Qual é a capacidade de um condensador de placas paralelas circulares, com 5 cm de raio, separadas de 1 cm?

A. 6.9 pF
B. 22.0 pF
C. 2.2 pF
D. 0.22 nF
E. 0.69 nF

4. Aumentando a carga de um condensador de placas paralelas de 3 μC para 9 μC e aumentando a separação entre as placas de 1 mm para 3 mm, a energia armazenada no condensador varia de um fator

A. 9
B. 3
C. 8
D. 27
E. 1/3

5. Num sistema de dois condensadores ligados em paralelo, qual das seguintes afirmações é verdadeira?

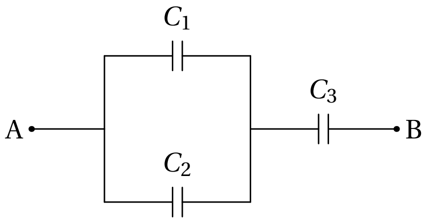
A. A capacidade equivalente é menor que as capacidades dos dois condensadores.
B. A carga armazenada nos dois condensadores é a mesma.
C. A carga armazenada será maior no condensador com maior capacidade.
D. A diferença de potencial será maior no condensador com maior capacidade.
E. A diferença de potencial será maior no condensador com menor capacidade.

Problemas

1. Um flash fotográfico típico fornece 2 kW durante aproximadamente 2 ms. Essa energia é obtida descarregando um condensador de 50 μF. (*a*) Até que diferença de potencial deverá ser carregado o condensador? (*b*) Se o condensador fosse substituído por outro de 250 μF, até que diferença de potencial deveria ser carregado? (*c*) Qual seria a desvantagem em usar o condensador com maior capacidade?

2. (*a*) Determine a capacidade de uma esfera condutora isolada, com raio de 4.0 cm e rodeada por ar. (*b*) A esfera da alínea anterior é coberta com uma camada de vidro de 1 mm de espessura e constante dielétrica de 5.6, deixando um orifício para ligar um cabo à esfera, e a camada de vidro é coberta com uma segunda lâmina metálica esférica de raio 4.1 cm, formando-se assim um condensador esférico. Determine a capacidade desse condensador. (*c*) Qual a relação entre a capacidade do condensador e a da esfera?

3. No sistema de três condensadores apresentado na figura, $C_1 = 1.2$ µF, $C_2 = 4.3$ µF e $C_3 = 2.5$ µF. A voltagem entre os pontos A e B é de 9.0 V. (*a*) Determine a carga armazenada em cada condensador. (*b*) Determine a energia total armazenada no sistema.

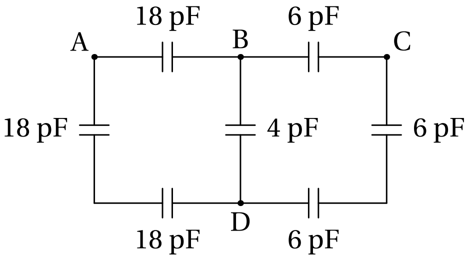


4. Um condensador plano com armaduras de 12 cm^2 distanciadas de 1 cm, está totalmente preenchido por dois dielétricos, cada um com espessura igual a 0.5 cm e área igual à das placas. Calcule a capacidade do condensador sabendo que as constantes dos dielétricos são 4.9 e 5.6 (sugestão: admita que o condensador é equivalente a dois condensadores em série, cada um com um dielétrico diferente).

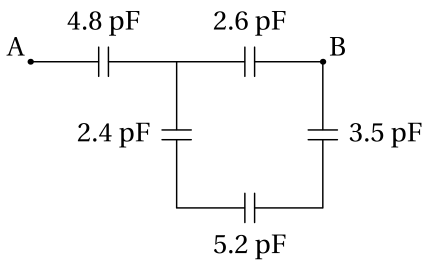
5. Considere um condensador plano, de área 0.3 m^2 e distanciadas 0.5 cm. Entre as placas encontra-se uma chapa de acrílico com a mesma área e espessura igual a 0.5 cm. O condensador é carregado até a diferença de potencial ser igual a 12 V e, de seguida, é desligado da fonte usada para o carregar. (*a*) Qual é o trabalho necessário para retirar a chapa de acrílico de entre as placas do condensador? (*b*) Calcule o potencial de rutura com dielétrico e depois de este ser removido.

6. Dois condensadores de 10 µF e 20 µF ligam-se em série a uma fonte de 1200 V até estarem completamente carregados. (*a*) Calcule a carga em cada condensador. (*b*) A fonte é então desligada, ligando-se entre si os dois condensadores (armadura positiva com positiva e negativa com negativa). Calcule a voltagem e a carga final em cada condensador.

7. No circuito da figura, calcule a capacidade equivalente: (*a*) Entre os pontos B e D. (*b*) Entre os pontos A e B.



8. Os condensadores no circuito da figura encontram-se inicialmente descarregados. Calcule a carga armazenada no condensador de 2.4 pF quando a voltagem entre os pontos A e B é 5 V.



Respostas

Perguntas: 1. E. **2.** C. **3.** A. **4.** D. **5.** C.

Problemas

1. (*a*) 400 V. (*b*) 179 V. (*c*) O condensador de maior capacidade ocupa um volume maior.

2. (*a*) 4.44 pF. (*b*) 1.02 nF. (*c*) 229.6

3. (*a*) $Q_1 = 3.38$ μC, $Q_2 = 12.1$ μC e $Q_3 = 15.5$ μC. (*b*) 69.6 μJ

4. 5.55 pF.

5. (*a*) 3.12×10^{-7} J. (*b*) Sem dielétrico, 15 kV; com dielétrico 200 kV.

6. (*a*) 8 mC. (*b*) $\Delta V = 1600/3$ V, $Q_1 = 16/3$ mC, $Q_2 = 32/3$ mC.

7. (*a*) 12 pF. (*b*) 21.6 pF.

8. 3.15 pC.