



Ficha nº 4 Condensadores



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 eléctrica que conseguia armazenar era muito maior do que quando a garrafa estava sobre a mesa. A razão para esse aumento 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.

A invenção de van Musschenbroek é actualmente designada de garrafa de Leiden, provavelmente devido à complexidade do seu apelido e porque Leiden é a cidade onde viveu. Trata-se de uma das invenções mais importantes na história da electricidade, pois permitia que fossem armazenadas cargas maiores, facilitando a realização de experiências de electrostática. Hoje em dia outros condensadores semelhantes à garrafa de Leiden, mas muito mais pequenos, são usados frequentemente nos circuitos eléctricos. Em qualquer circuito onde for preciso que a corrente varie rapidamente, por exemplo num amplificador de áudio, é preciso utilizar condensadores; os condensadores acumulam cargas em alguns intervalos, que são logo libertadas em outros instantes.

4.1 Capacidade de um condutor isolado

O potencial num condutor isolado é uniforme em todo o condutor e proporcional à carga total no condutor. Define-se a capacidade do condutor, igual à relação entre a carga e o potencial na superfície do condutor (arbitrando que o potencial é nulo no infinito)

$$C = \frac{Q}{V_{\text{sup}}}$$

No sistema internacional de unidades, a capacidade é medida em farads. Um farad, designado pela letra F, é a capacidade de um condutor que, quando nele for colocada uma carga de 1 C, o potencial resultante será de 1 V:

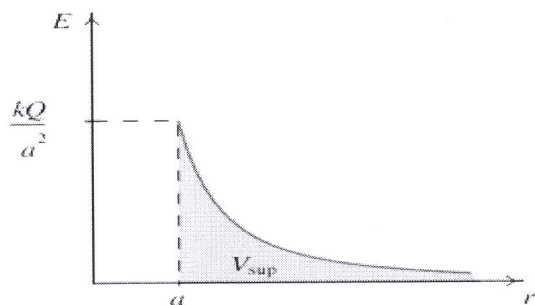
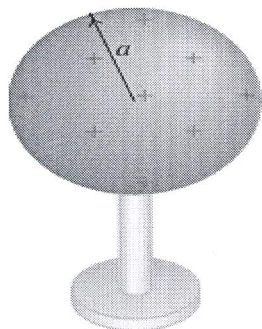
$$1 \text{ F} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V}}$$

Uma capacidade de 1 F é muito elevada, na prática é comum encontrar-mos capacidades de μF , nF ou pF.

4.2 Esfera condutora isolada

Numa esfera condutora isolada, a carga acumula-se toda na superfície, e em forma uniforme, devido à simetria da esfera. Se a carga total na esfera for Q , a força sobre uma carga pontual q , a uma distância r do centro da esfera, será igual à força que produziria uma carga pontual Q no centro da esfera. Assim, o campo eléctrico produzido pela esfera é igual ao campo produzido por uma carga pontual Q com componente radial dada pela equação

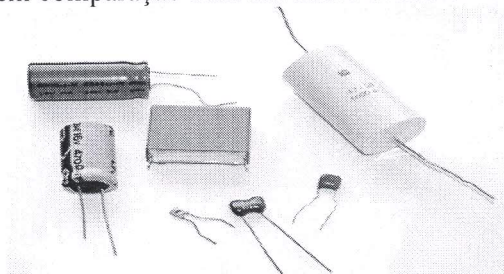
$$E = \frac{kQ}{r^2}$$



$$V_{\text{sup}} = - \int_{\infty}^a E \, dr = -kQ \int_{\infty}^a \frac{1}{r^2} \, dr = \frac{kQ}{a}$$

4.3 Condensadores

Falámos da 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 existirem cargas numa das armaduras serão 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 um único condutor isolado.



Vários tipos diferentes de condensadores.

Se uma das armaduras tiver carga Q a outra terá carga $-Q$. Se ΔV for a diferença de potencial entre as armaduras, define-se a capacidade do condensador assim:

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

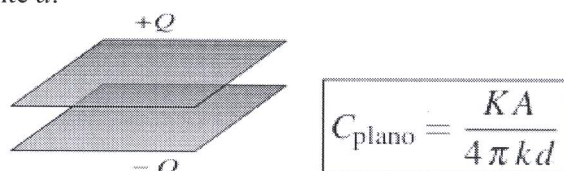
O isolador entre as armaduras de um condensador também é designado de dieléctrico. O dieléctrico também ajuda a aumentar a diferença de potencial máxima que pode existir entre as armaduras. Cada material isolador tem um valor da rigidez dieléctrica, que é o valor máximo que pode ter a diferença de potencial, por unidade de comprimento, sem que as moléculas ou átomos do dieléctrico sejam ionizados, formando-se fendas onde o material foi queimado

Constante dieléctrica e rigidez dieléctrica de alguns materiais.

Material	Constante dieléctrica, 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

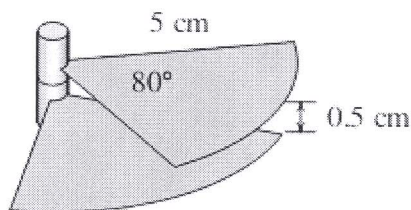
4.3.1 Condensador plano

Um condensador plano está formado por duas armaduras planas, de área A , paralelas e separadas por uma distância constante d .



Exemplo

Um condensador variável é formado por duas placas planas paralelas com forma de sector 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 uma em frente da outra, de forma que a carga se distribui ao longo de toda a superfície das placas. O ângulo de 80° equivale a uma fracção $80/360$ 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 4.9, com a constante dieléctrica 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 em frente uma da outra, ou seja, um sector circular de ângulo 50° . Portanto a área é $5/8$ da área total das armaduras e a capacidade, sendo directamente proporcional à área, será $5/8$ da capacidade máxima:

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

4.3.2 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 reacções químicas envolvidas, a carga e descarga podem ser feitas muito rapidamente e um 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

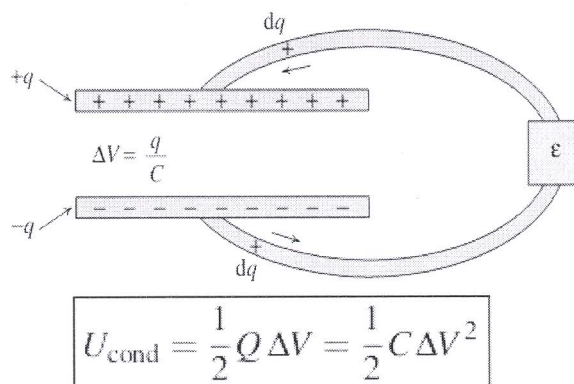
recarregar a bateria do telemóvel, esta ficasse imediatamente recarregada quando fosse ligada à tomada, e que nunca tivesse que trocá-la por uma nova. Isso está cada vez mais perto de ser uma realidade, com o desenvolvimento dos ultracondensadores.



O ultracondensador permite acumular rapidamente as cargas produzidas pelas células de combustível ou pelos travões electromagnéticos, e essa carga pode ser fornecida rapidamente, nos momentos em que for preciso acelerar. As únicas reacções químicas produzidas nesse tipo de veículo é a combinação do hidrogénio com 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 eléctrica armazenada num condensador

Para carregar um condensador, é preciso 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 devida à ligação de dois cabos nas armaduras e nos terminais de uma bateria



4.5 Associações de condensadores

Um sistema de condensadores pode ser substituído por um único condensador equivalente. Nos casos em que os condensadores estejam ligados em série ou em paralelo, é fácil calcular a capacidade que deverá ter o condensador equivalente.

Condensadores ligados em série.



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

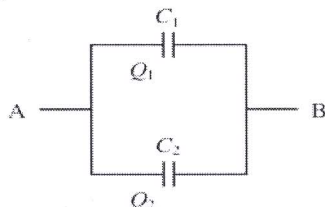
$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) Q$$

Assim, o sistema é equivalente a um único condensador com capacidade que verifica a equação:

$$\frac{1}{C_s} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

A carga armazenada no condensador equivalente é a mesma que em cada um dos condensadores em série.

Condensadores ligados em paralelo

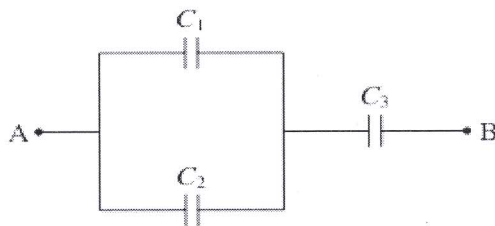


A quantidade de carga que entra em cada condensador não tem que ser a mesma; a carga total que entra e sai entre os pontos A e B é:

$$Q = Q_1 + Q_2 = (C_1 + C_2) \Delta V$$

Exercícios Propostos

- Se aumentarmos a carga de um condensador de placas paralelas de $3 \mu\text{C}$ para $9 \mu\text{C}$ e aumentarmos a separação entre as placas de 1 mm para 3 mm , a energia armazenada no condensador varia de um factor
 A. 9
 B. 3
 C. 8
 D. 27
 E. $1/3$
- Qual deve ser a capacidade de um condensador se quisermos, a uma diferença de potencial de 9.0 V , armazenar um excesso de 10^{10} electrões na placa negativa?
 A. $0.014 \mu\text{F}$
 B. $0.18 \mu\text{F}$
 C. 0.18 nF
 D. 14 pF
 E. 5.6 pF
- Qual é a capacidade de um condensador de placas paralelas circulares, com 5 cm de raio, separadas de 1 cm ?
 A. 7.0 pF
 B. 22.0 pF
 C. 2.2 pF
 D. 0.22 nF
 E. 0.7 nF
- A capacidade eléctrica de um condutor isolado:
 A. Diminui se o condutor tiver um dieléctrico à sua volta.
 B. É independente do tamanho do condutor.
 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.
- 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.
- Um flash fotográfico típico fornece 2 kW durante aproximadamente 2 ms . Essa energia é obtida descarregando um condensador de $50 \mu\text{F}$. (a) Até que diferença de potencial deverá ser carregado o condensador? (b) Se o condensador fosse substituído por outro de $250 \mu\text{F}$, até que diferença de potencial deveria ser carregado? (c) Qual seria a desvantagem em usar o condensador com maior capacidade?
- No sistema de três condensadores apresentado na figura, $C_1 = 1,2 \mu\text{F}$, $C_2 = 4,3 \mu\text{F}$ e $C_3 = 2,5 \mu\text{F}$. Entre os pontos A e B liga-se uma bateria de 9.0 V . (a) Calcule a carga acumulada em cada condensador. (b) Calcule a energia total armazenada no sistema.

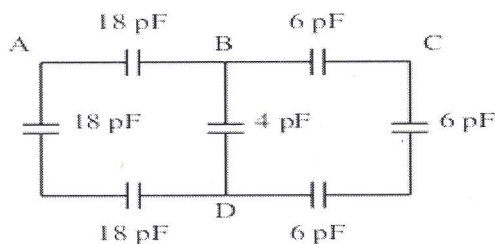


8. Um condensador de placas planas e paralelas distanciadas 1 cm e de 12 cm^2 de área, está totalmente preenchido por dois dielétricos, cada um com espessura igual a 0.5 cm e a mesma área das placas. Calcule a capacidade do condensador sabendo que as constantes dos dielétricos são 4.9 e 5.6 (sugestão: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

9. Considere um condensador de placas planas e paralelas, 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 ruptura com dielétrico e depois de este ser removido.

10. Dois condensadores de $10 \mu\text{F}$ e $20 \mu\text{F}$ ligam-se em série a uma fonte de 1200 V. (a) Calcule a carga em cada condensador. (b) A fonte é logo desligada, ligando-se entre si os dois condensadores (armadura positiva com positiva e negativa com negativa). Calcule a diferença de potencial e carga final em cada condensador.

11. No circuito seguinte calcule a capacidade equivalente: (a) Entre os pontos B e D. (b) Entre os pontos A e B.



12. Os condensadores no circuito da figura encontram-se inicialmente descarregados. Calcule a carga que ficará armazenada no condensador de 2.4 pF quando os terminais de uma fonte, com força electromotriz de 5 V, forem ligados nos pontos A e B.

