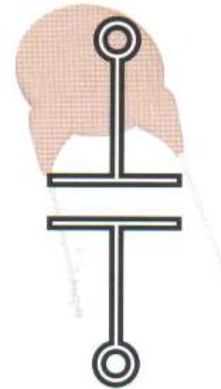
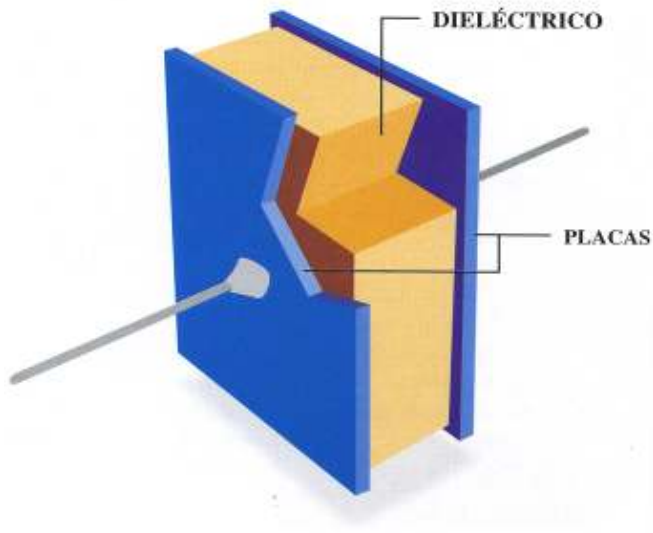


# Electricidade

## Capítulo 6.1. Condensadores

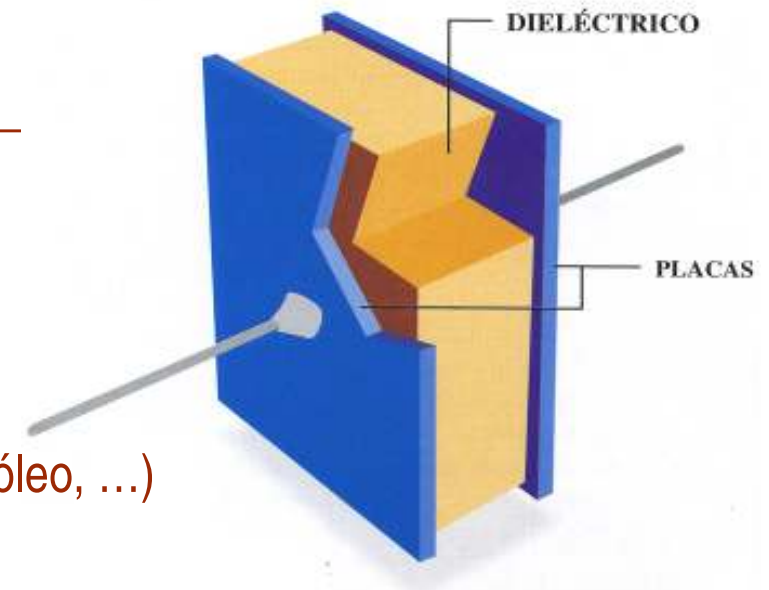


**Pedro Guimarães . 2010. [psg@isep.ipp.pt](mailto:psg@isep.ipp.pt)**

# ▪ Condensador

## — Constituição

- Um condensador é um dispositivo constituído por:
  - **Dois condutores** (designados **armaduras**),
    - Cargas de módulo igual
    - Uma positiva e outra negativa
  - Separados por um **dieléctrico** ou isolante (ar, papel, mica, óleo, ...)

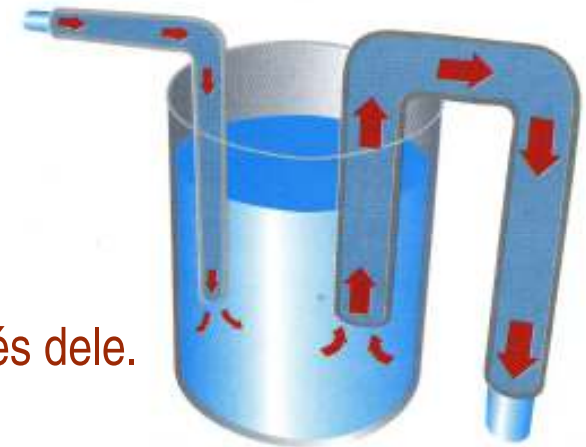


Símbolo:



## — Função

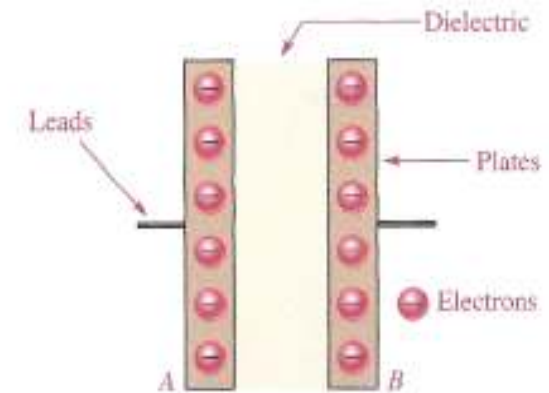
- **Acumular cargas eléctricas** entre seus terminais
- Um condensador **armazena energia eléctrica** além de circular através dele.
- Algo parecido acontece num tanque de água convencional



## ▪ Condensador

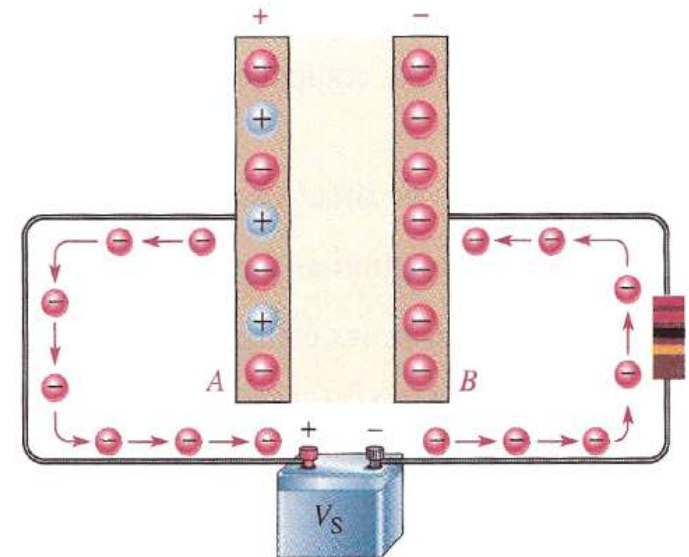
### — Carregar um condensador

- Condensador neutro (mesma carga em ambas as armaduras)



- Para **carregar um condensador** deve impor-se uma dada **tensão  $V$**  entre as suas **armaduras**, por intermédio de uma **fonte de energia eléctrica**.

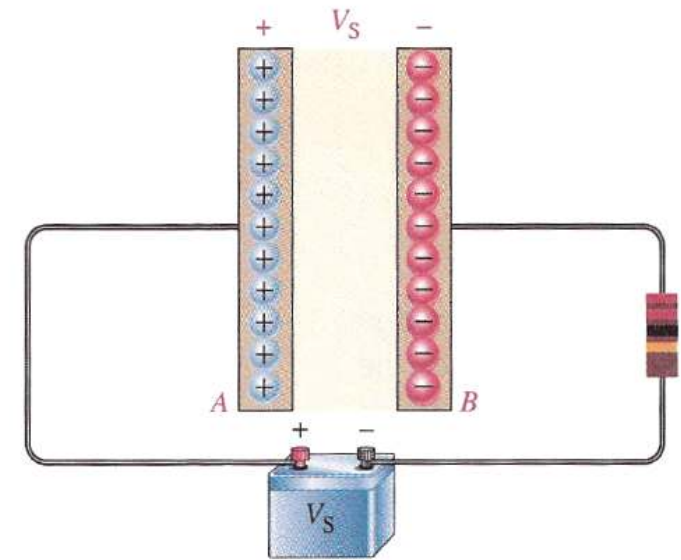
- Isso fará com que, através da fonte, uma quantidade de carga  $+Q$  (proporcional a  $V$ ) seja retirada à **armadura ligada ao terminal negativo** da fonte e **acrescentada à armadura ligada ao terminal positivo**.



- Electrões **circulam da armadura A para a armadura B**, quando ligado a uma fonte de tensão

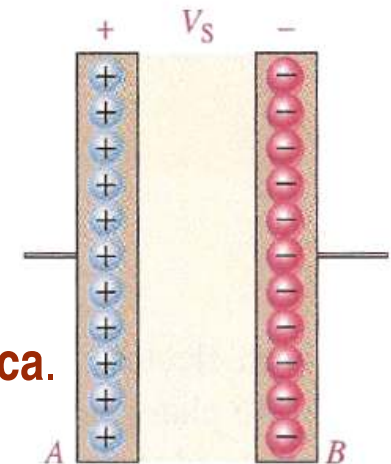
## ▪ Condensador

- Diz-se que a **carga do condensador é  $Q$** 
  - $+Q$  numa armadura e  $-Q$  na outra.
- Este facto implica o **aparecimento de um campo eléctrico no dieléctrico** entre as armaduras, ou seja, o **aparecimento de energia eléctrica armazenada nessa região**, obtida à custa da fonte de energia eléctrica que carregou o condensador.
- Depois do **condensador carregado, não há circulação de corrente**, enquanto a fonte de tensão estiver ligada



### — Condensador carregado

- **Idealmente** o condensador **retêm a carga** quando retirado do circuito
- Em conclusão, um **condensador é um dispositivo que armazena carga eléctrica**.



# ▪ Condensador

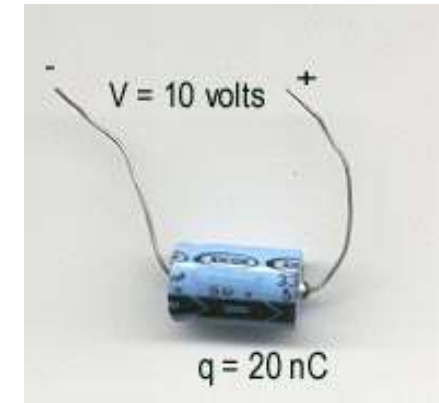
## — Capacidade de um condensador —

- A **capacidade de armazenamento de um condensador** é definida pela razão constante que existe entre o **módulo da carga** existente em cada armadura (Q) e a **tensão existente entre elas** (V):

### Capacidade de um condensador

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

- C – Capacidade do condensador (F)
- Q – Módulo da carga, em cada armadura (C)
- V – Tensão aos terminais do condensador (V)



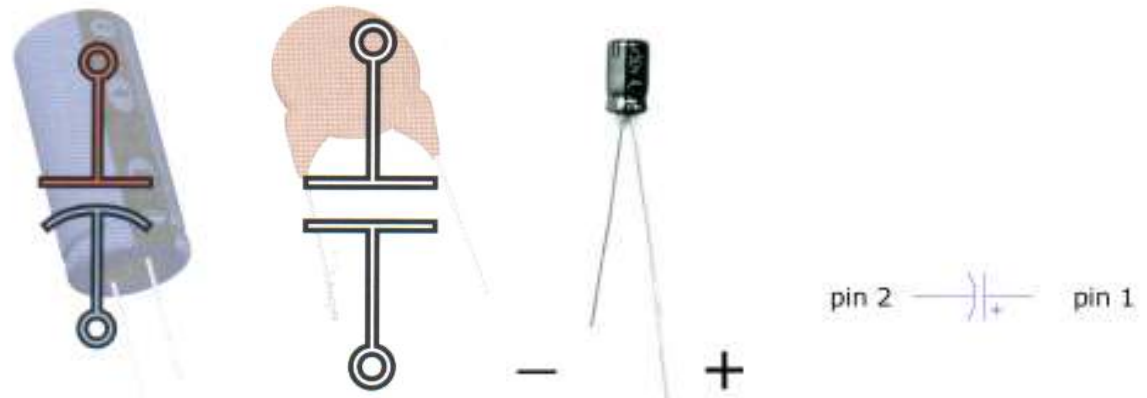
## — Unidades —

- A unidade de capacidade no **S.I. é o farad (F)**:
  - **1 F** é a capacidade de um condensador que armazena uma quantidade de carga de 1C (em módulo)

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

### ▪ Unidades mais comuns em electricidade

- microfarad ( $1 \mu F = 10^{-6} F$ )
- nanofarad ( $1 nF = 10^{-9} F$ )
- picofarad ( $1 pF = 10^{-12} F$ )



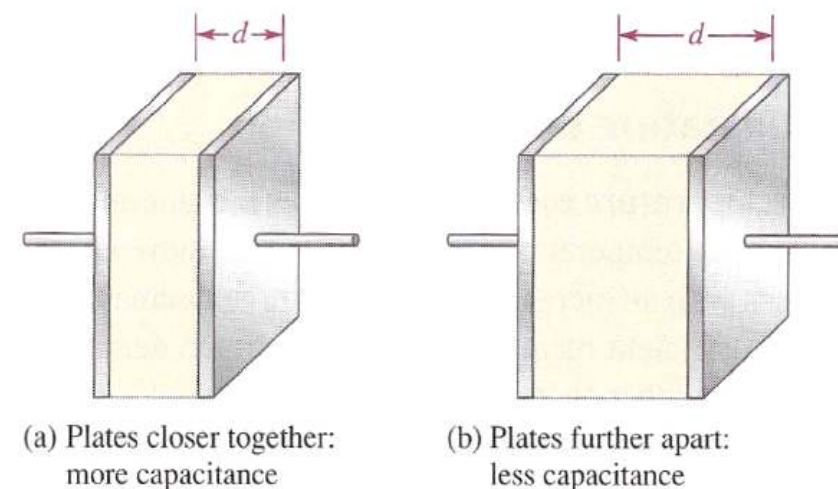
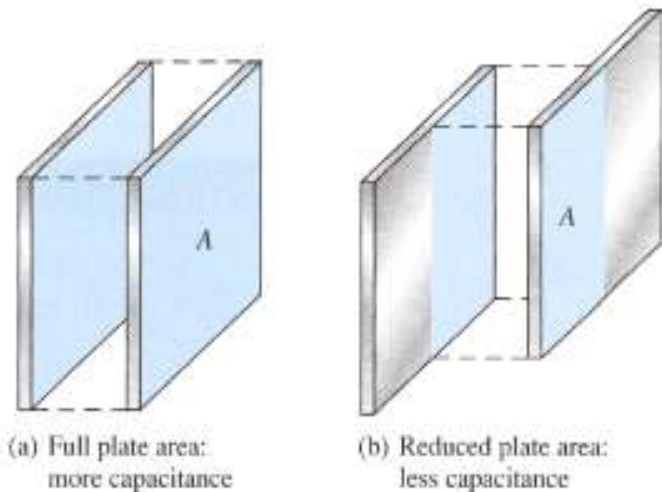
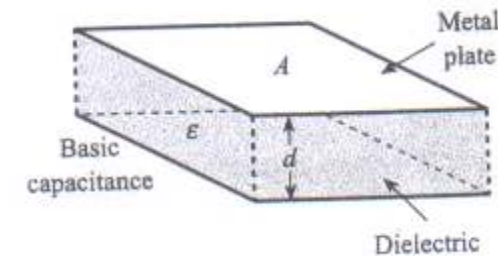


# ■ Características físicas de um condensador

## — Geometria

■ A capacidade de um condensador (que depende **da sua geometria** e do dieléctrico que separa as armaduras) só pode ser medida experimentalmente.

- A **capacidade  $C$**  de um condensador é
  - Directamente proporcional à **área  $A$**  das armaduras
  - Inversamente proporcional à **distância entre elas ( $d$ )**
  - Varia com a natureza do dieléctrico ou **Isolante ( $\epsilon$ )**



## — Dieléctrico ou isolante

■ Meio onde **não pode existir corrente eléctrica** pois **não existem cargas eléctricas livres**.

# Características físicas de um condensador

## Capacidade de um condensador plano

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

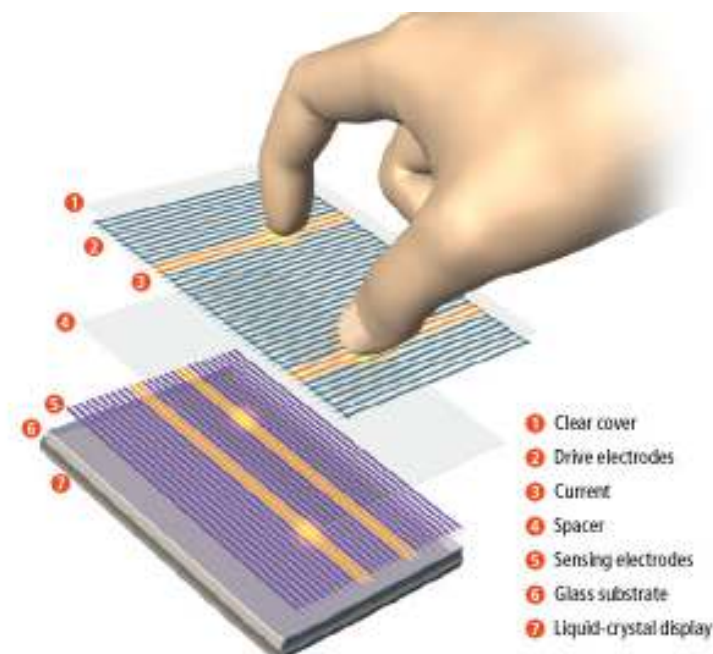
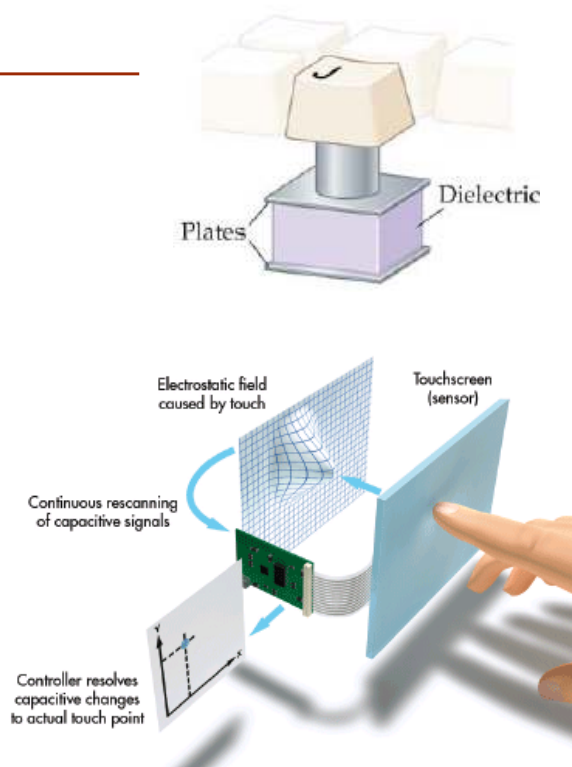
- C – Capacidade de um condensador [F]
- A – Área efectiva das placas [ m<sup>2</sup> ]
- d – Distância entre placas [ m ]
- $\epsilon_0$  – Permitividade absoluta no vácuo  $8,854188 \times 10^{-12}$  [F/m<sup>-1</sup>]
- $\epsilon_r$  – Constante dielétrica relativa

Dielétrico	Constante dielétrica $\epsilon_r$
Ar	1,0006
Baquelite	5
Vidro	6
Mica	5
Óleo	4
Papel	2,5
Borracha	3
Teflon	2

## Aplicações



### Touch screen capacitivo



## ▪ Exercícios Propostos

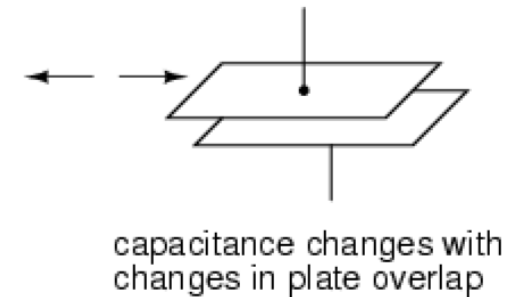
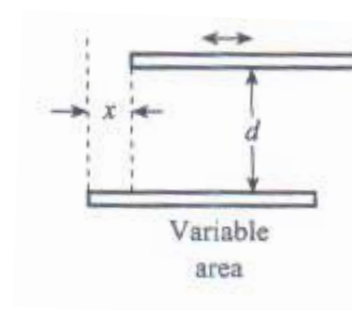
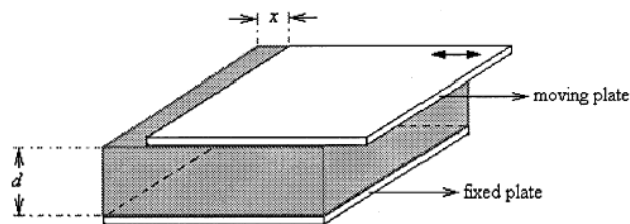
1. Um condensador de  $2,2 \mu\text{F}$  tem  $100\text{V}$  aos seus terminais. Qual a carga que o condensador consegue armazenar ?
2. Determine a tensão aos terminais de um condensador de  $1000 \text{ pF}$  quando está carregado com  $20 \text{ microcoulombs}$  ( $20 \mu\text{C}$ ).
3. Qual o valor do condensador que, submetido a uma tensão de  $100 \text{ V}$ , armazena  $10 \mu\text{C}$  de carga ?
4. Um determinado condensador armazena  $50 \text{ microcoulombs}$  ( $50 \mu\text{C}$ ) com  $10 \text{ V}$  aos terminais das suas placas. Qual a sua capacidade em microfarads?
5. Determine a capacidade de um condensador de placas paralelas com uma área de  $0,01 \text{ m}^2$  e uma distância entre placas de  $2,54 \times 10^{-5} \text{ m}$ . O dielétrico é de mica cuja constante é 5.
6. As armaduras de um condensador plano a vácuo apresenta uma área de  $0.20 \text{ m}^2$  e estão a uma distância de  $0.20 \text{ cm}$ . Qual a capacidade do condensador ?  
R:  $8,8 \times 10^{-11} \text{ F}$
7. As armaduras de um condensador plano, a vácuo, medem  $30 \text{ cm}$  e  $50 \text{ cm}$  e estão separadas por uma distância  $d=2 \text{ mm}$ . Calcule:
  - a) A capacidade do condensador;
  - b) A carga que ele receberá quando entre as suas armaduras for aplicada uma tensão de  $2000 \text{ V}$ .



## ▪ Sensores Capacitivos

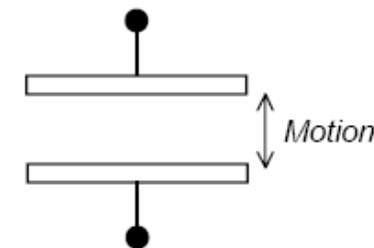
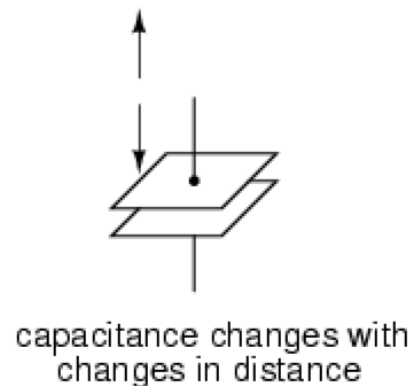
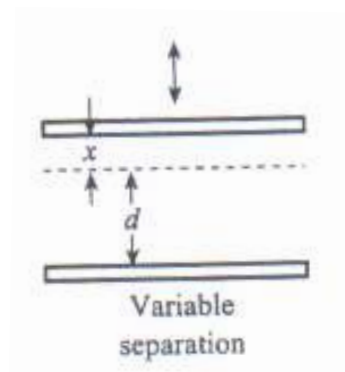
### — Área variável

- A capacidade **C** de um condensador pode ser modificada variando a área efectiva entre armaduras\placas



### — Distância entre Placas variável

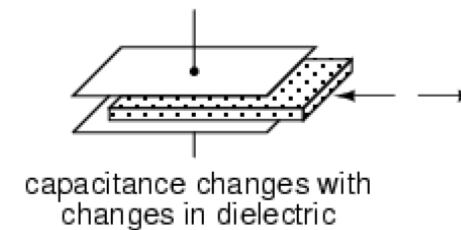
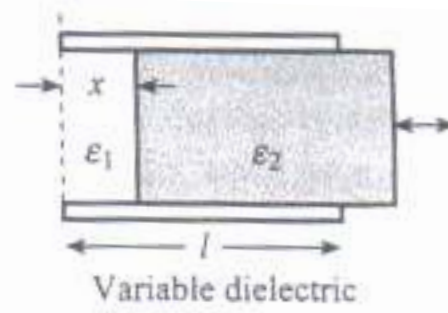
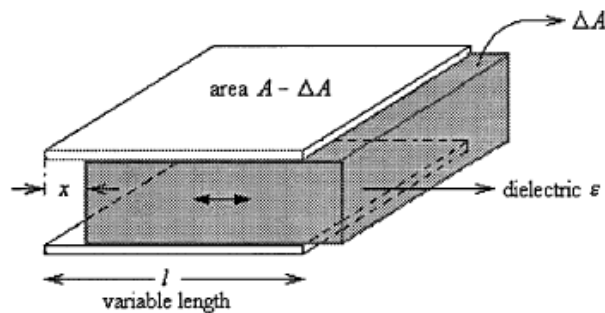
- A capacidade **C** de um condensador pode ser modificada variando a distância entre armaduras\placas



## ■ Sensores Capacitivos

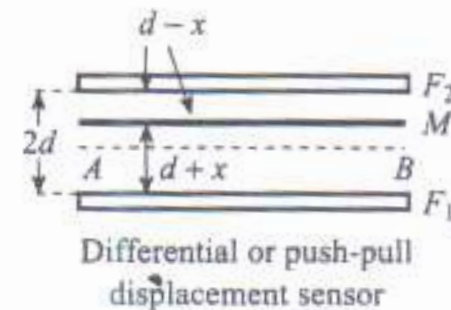
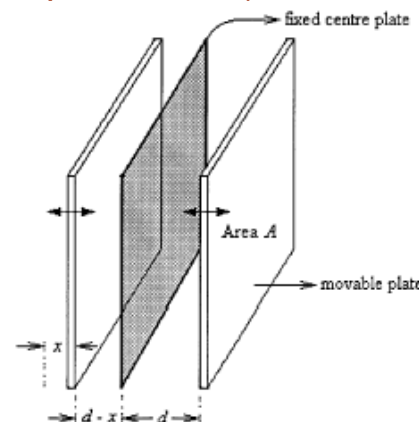
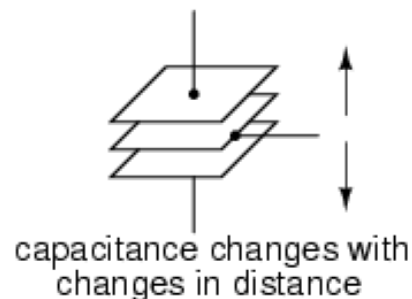
### — Dielétrico Variável

- A **capacidade C** de um condensador pode **ser modificada variando o dielétrico**.



### — Sensores capacitivos diferenciais

- **Possuem 3 fios** : 2 fios a cada condensador e um a um comum
- **Variação da capacidade em cada um das secções é complementar**
  - Quando **uma aumenta a outra diminui** e vice versa
- Variações pequenas de capacidades (ordem dos pico farads )



## ▪ Exercícios Propostos

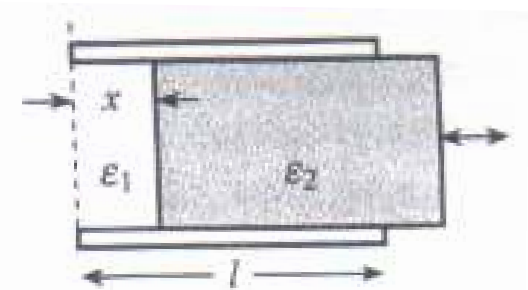
**8.** Um sensor de deslocamento capacitivo de placas paralelas consiste em duas placas de metal de 8 cm x 8 cm, separadas por um espaço de 2 mm. Esse espaço entre as placas é completamente preenchido por um material cuja constante dielétrica é 6.0. Se a permitividade absoluta do vácuo é de 8.85 pF/m, determine a capacidade do sensor.

Solução: 169,9 pF

**9.** Um sensor de pressão capacitivo de placas paralelas consiste em duas placas circulares de diâmetro 2 cm, separadas por um espaço de ar de 1 mm. Se a constante dielétrica do ar é 1.0 e a permitividade absoluta do vácuo de 8.85 pF/m, determine a capacidade do sensor.

Solução: 2,78 pF

**10.** Um sensor de deslocamento capacitivo de variação de dielétrico de placas paralelas consiste em duas placas de metal lado de 5 cm, separadas por um espaço de 1 mm. Uma folha de um material dielétrico de espessura 1 mm e com a mesma área das placas desliza como mostra a figura. Sabendo que a constante dielétrica do ar é 1 e que a constante dielétrica do material 4, calcular a capacidade do sensor quando o deslocamento é de  $x = 0.0, 2.5$  e  $5.0$  cm



Solução: 88.5 pF 55.3 pF e 22.1 pF

**11.** A membrana de um medidor de pressão capacitivo tem a área de  $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  e uma distância entre placas de  $1 \times 10^{-3} \text{ m}$ . Calcule o valor da sua capacidade se este se encontra a medir a pressão do ar ( $\epsilon - 1$ )

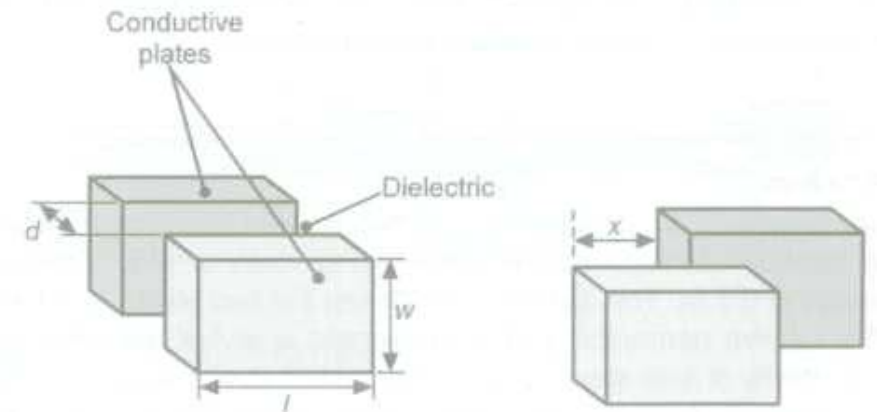
Solução: 44.25 pF

## ▪ Exercícios Propostos

**12.** Um condensador é constituído por 2 placas paralelas de secção transversal de  $0.1 \text{ m}^2$ , separadas por uma distância de 8 mm. O Isolante entre as placas é o ar atmosférico. Determine a capacidade do condensador.

**13.** Um condensador é constituído por 2 placas paralelas de secção transversal de  $0.2 \text{ m}^2$ , separadas por uma distância de 4 mm. O Isolante entre as placas é o ar atmosférico. Determine a capacidade do condensador.

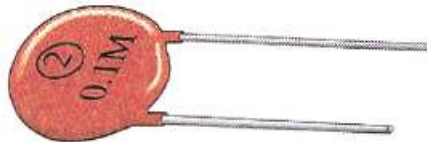
**14.** Um sensor capacitivo é formado por duas placas planas paralelas.  
Cada placa tem uma altura  $w = 0,1$  metros e comprimento  $l = 0,5$  metros.  
A distância  $d$  entre as placas é de 0,1 m. A permeabilidade relativa do meio dieléctrico é 1.



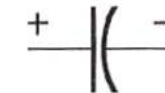
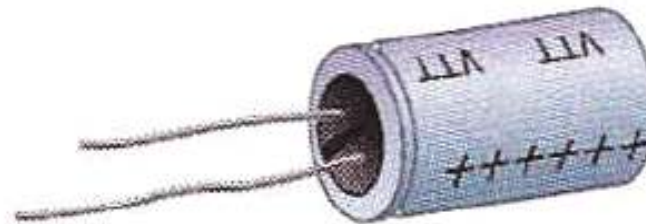
- Dado que a permeabilidade eléctrica do espaço livre é  $8,854 \times 10^{-12}$ , determine a capacidade do dispositivo.
- Se a superposição das placas é reduzida pelo deslocamento de uma das placas de 50 mm, determine o novo valor da capacidade

## Tipos de condensadores

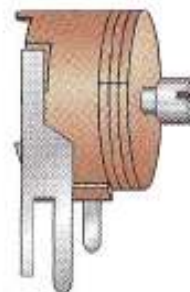
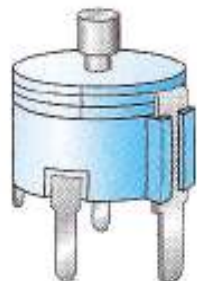
### Condensador não polarizados



### Condensador polarizados



### Condensador variável

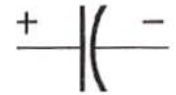




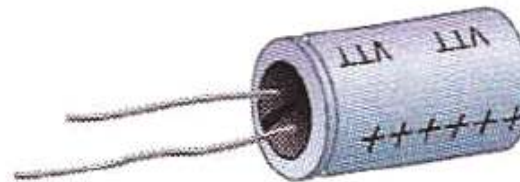
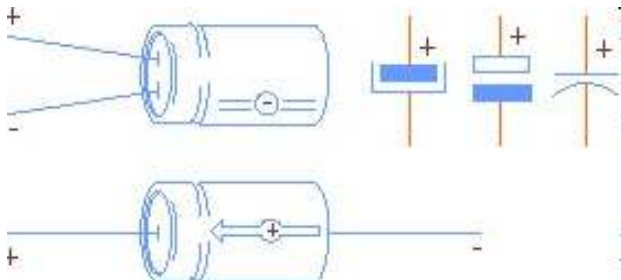
## ■ Tipos de condensadores

- Os principais **tipos de condensadores** encontrados nos equipamentos electrónicos são :

### — Condensador electrolíticos



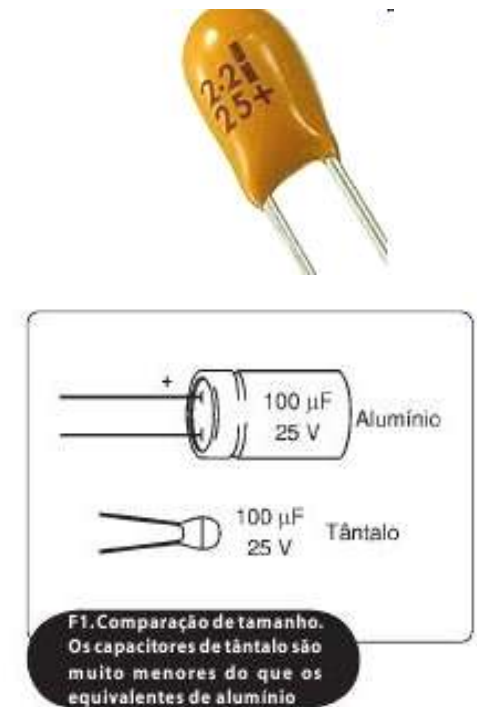
- Este tipo de condensadores usa **folhas de alumínio como armaduras** e, como dieléctrico, uma finíssima camada de óxido que se forma sobre as folhas por um processo electrolítico
- Como essa camada é **muito fina** podemos obter **grandes capacidades em pequenos espaços**.
- Assim, os condensadores electrolíticos caracterizam-se pela sua **capacidade elevada**, sendo encontrados em valores tipicamente de **0,5 a 100 000  $\mu\text{F}$**  ou mais.
- Além disso, eles são polarizados o que significa que existe **uma armadura que deve ficar sempre positiva** em relação à outra.
- A **marcação da polaridade** é feita no **próprio invólucro desses componentes**.
- Os condensadores electrolíticos são indicados para circuitos de **corrente contínua** e baixas frequências.



## ■ Tipos de condensadores

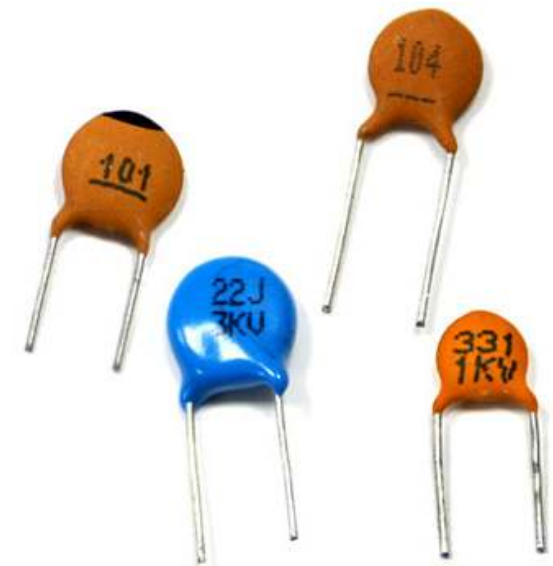
### — Condensador de tântalo

- Os condensadores de tântalo são semelhantes aos electrolíticos no princípio de fabrico, excepto pelo facto do óxido que se forma ser do outro elemento: o tântalo.
- Como o óxido de tântalo tem uma constante dielétrica muito maior do que o óxido de alumínio, é possível obter **grandes capacidades em componentes de tamanhos extremamente reduzidos**. Os condensadores de tântalo também são polarizados



### — Condensador cerâmicos

- Cerâmicas especiais como as de **titânio, bário** e outras são **usadas como dielétricos** desses condensadores que encontram aplicações em circuitos que vão de **corrente contínua e altas frequências**.
- O tipo mais comum é o disco cerâmico que está disponível com capacidades de **1 pF a 470 nF** tipicamente



## ▪ Tipos de condensadores

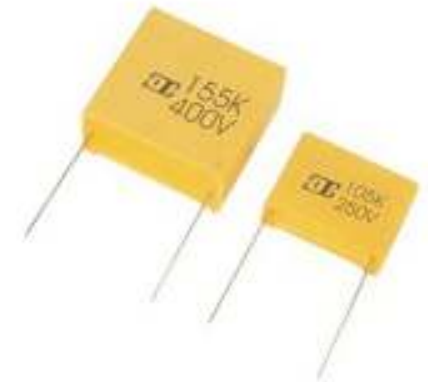
### — Condensador poliestireno

- Este condensador está incluído na família dos **tipos plásticos** em que temos um filme fino de poliestireno como dielectrico.
- Geralmente, esse tipo de condensador é fabricado com as folhas formando um tubo, o que lhes dota de certa indutância que limita as suas aplicações em circuitos de **altas frequências**.



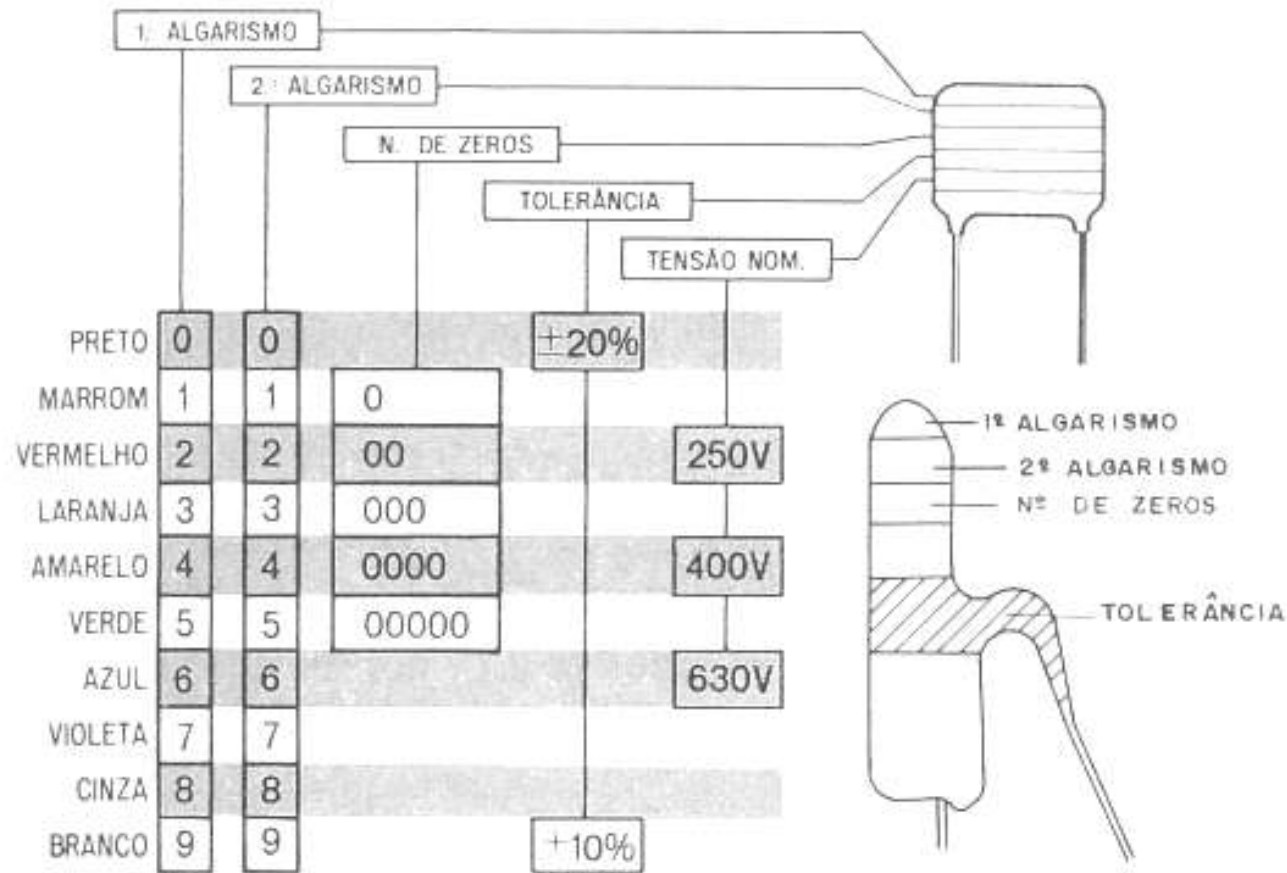
### — Condensador poliester (filme)

- Este condensador de poliester (filme)
- Um outro **tipo de plástico** que é muito usado no fabrico de condensadores é o poliester, que tanto pode dar origem aos tipos tubulares quanto planos.
- Esse tipo de condensadores também não é recomendado para aplicações em **frequências muito altas** e pode ser encontrado numa faixa de valores de 1000 pF a mais de 10  $\mu$ F

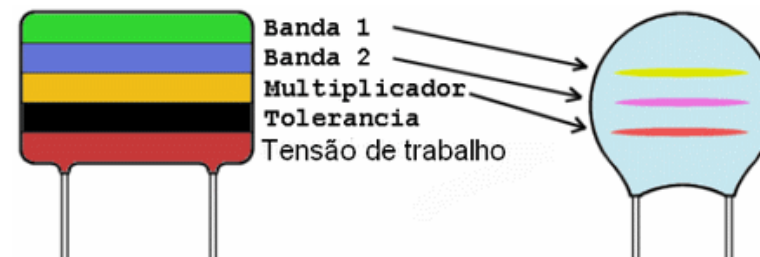


# ▪ Códigos de marcação de Condensadores

## — Código de cores



▪ **Unidade:** picofarad ( $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$ )

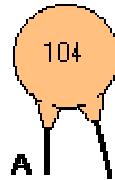


## ▪ Códigos Numérico

### — Condensadores Cerâmicos —

#### ▪ Unidade “pF”

▪ Ex: 1.8=1,8pF; 5,6=5,6pF; 27=27pF; 101=100pF; 332=3300pF=3,3nF.

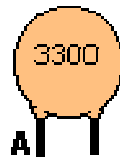


▪ 100000 pF ou 100 nF ou 0,1μ F.



▪ 3300 pF ou 3,3 nF ou 0,033 μF .

▪ Alguns fabricantes fazem condensadores com **formatos e valores impressos** como os apresentados na figura seguinte



▪ 3300pF

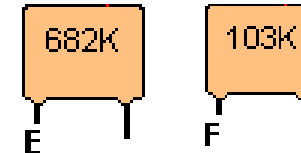


## ▪ Código Numérico

### — Plástico

- “pF” para três dígitos com o último dígito diferente de zero.

- Ex: 472 = 4700pF = 4,7nF.



- “nF” para valores >10 com dois dígitos ou três dígitos com o último igual a zero.

- Ex: 22=22nF; 47=47nF; 100=100nF; 470=470nF; 680=680nF.



- “μF” para valores <10

- Ex: .01=0,01 μF=10nF; 0.22=0,22 μF; 1.8= 1,8μF; 4.7=4,7μF.



### ▪ Código de identificação do para condensadores de Plástico

- Condensadores que usam uma película de **plástico** como dielétrico **são identificados** utilizando os seguintes códigos

**MKT**- Metallised Polyester (PETP)

**MKC** - Metallised Polycarbonate

**KT** - Polyester film/foil

**KS** -Polystyrene film/foil

**KP** - Polypropylene film/foil

**MKP** - Metallised polypropylene

# ▪ Código Numérico

## — Electrolíticos

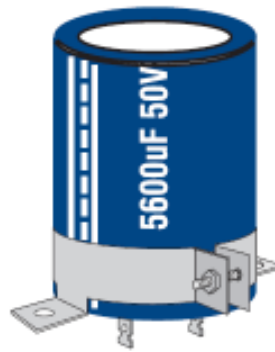
- "μF" Ex: .1=0,1μF; 2,2=2,2μF; 4.7=4,7μF; 68= 68μF; 2200=2200μF.



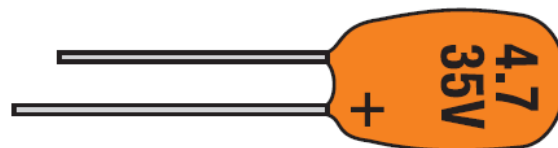
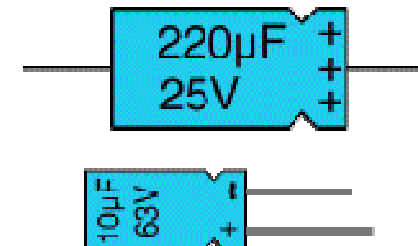
RB ELECTRO



RT ELECTRO



RG ELECTRO

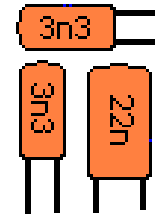


TAG TANTALUM

## ▪ Código Alfanumérico

- Código constituído **por um número e pela letra** indicativa do multiplicador que ocupa o lugar da vírgula

- $3p3 = 3,3pF$ ;  $n47 = 0,47nF$ ;  $6n8 = 6,8nF$



## — Escrita

- De acordo com as **recomendações do SI (Sistema Internacional)** ao escrevermos números devemos utilizar uma **vírgula (,)** e **não um ponto (.)** ou outra qualquer grafia para **separar a parte inteira da parte decimal**. Desta forma ao escrevermos números de muitos dígitos estes devem ser **agrupados de três em três**, a partir da virgula, tanto para a **parte inteira como para a decimal**.

### ▪ Exemplos

- $5,6 \mu F = 0,000.005 \ 6 \ F$
- $4,7 M\Omega = 4.700.00\Omega$
- $32,768 \ kHz = 32.768 \ Hz$

## ▪ Tolerância

- Em alguns condensadores seguintes aparece uma **letra maiúscula ao lado dos números**.
- Esta letra refere-se a **tolerância** do condensador à temperatura padrão de 25° C.
- A **letra "J"** significa que este condensador pode variar até **5%** de seu valor, a letra **"K" = 10%** ou **"M" = 20%**.

Capacitor Tolerance Marking Codes					
<b>F</b>	<b>G</b>	<b>J</b>	<b>K</b>	<b>M</b>	<b>Z</b>
±1%	±2%	±5%	±10%	±20%	-20%, +80%
Examples: 104K = 0.1μF ± 10%; 4n7J = 4.7nF ±5%					

Até 10pF	Código	Acima de 10pF
±0,1pF	B	
±0,25pF	C	
±0,5pF	D	
±1,0pF	F	±1%
	G	±2%
	H	±3%
	J	±5%
	K	±10%
	M	±20%
	S	-50% -20%
	Z	+80% -20% ou +100% -20%
	P	+100% -0%

# ▪ Coeficiente de temperatura

## — Classe I

▪ O **coeficiente de temperatura positivo** é designado por “**P**”, enquanto “**N**” é para coeficiente **negativo**, seguido por um **valor numérico de três dígitos** que corresponde ao coeficiente de temperatura em ppm/°C.

### ▪ Por exemplo

- N220 significa - 200 ppm/°C
- P100 significa + 100 ppm/°C.

▪ A exceção a esta nomenclatura é “**NPO**” que significa **estável com a temperatura** (coeficiente de temperatura praticamente zero).



**P100:** Vermelho/Violeta

**N033:** Castanho

**N150:** Laranja

**N330:** Verde

**N750:** Violeta

**NP0:** Preto

**N075:** Vermelho

**N220:** Amarelo

**N470:** Azul

**N1500:** Laranja/Laranja

Código	Coeficiente de temperatura
NPO	-0± 30ppm/°C
N075	-75± 30ppm/°C
N150	-150± 30ppm/°C
N220	-220± 60ppm/°C
N330	-330± 60ppm/°C
N470	-470± 60ppm/°C
N750	-750± 120ppm/°C
N1500	-1500± 250ppm/°C
N2200	-2200± 500ppm/°C
N3300	-3300± 500ppm/°C
N4700	-4700± 1000ppm/°C
N5250	-5250± 1000ppm/°C
P100	+100± 30ppm/°C



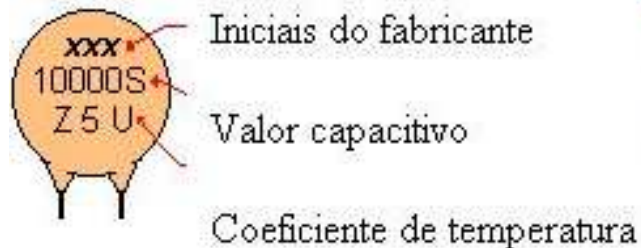
## ▪ Coeficiente de temperatura

### — Classe II

▪ Outra forma de representar **coeficientes de temperatura** é mostrado a seguir. Os coeficientes podem ser representadas igualmente através de **sequências de letras e números** como por exemplo :

▪ X7R, Y5F e Z5U.

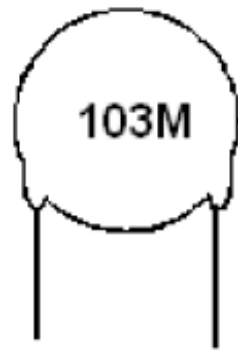
▪ Para um condensador **Z5U**, a **faixa de operação** é de +10°C que significa "**Temperatura Mínima**" é +85°C que significa "**Temperatura Máxima**" e uma variação de "**Máxima de capacidade**", dentro desses **limites de temperatura**, que não ultrapassa -56%, +22%.



Temperatura Mínima		Temperatura Máxima		Variação Máxima de Capacitância	
X	-55°C	2	+45°C	A	±1.0%
Y	-30°C	4	+65°C	B	±1.5%
Z	+10°C	5	+85°C	C	±2.2%
		6	+105°C	D	±3.3%
		7	+125°C	E	±4.7%
				F	±7.5%
				P	±10%
				R	±15%
				S	±22%
				T	-33%, +22%
				U	-56%, +22%
				V	-82%, +22%

▪ Um condensador "X7R" não apresenta mais do que 15% de variação na faixa de -55 a +125 °C, e um condensador "Z5U" apresenta um desvio de no máximo + 22 a - 56% na faixa de temperatura de +10 a - 85 °C.

## ▪ Exemplos



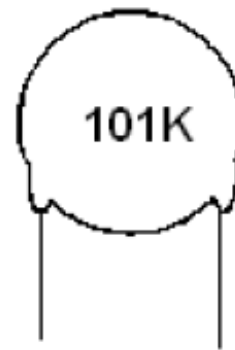
10 000 pF

+ - 20%



0.47  $\mu$ F

+ - 30%



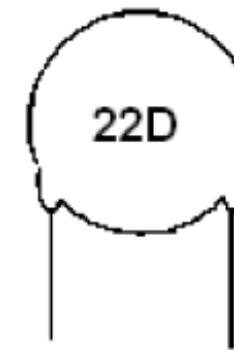
100 pF

+ - 10%

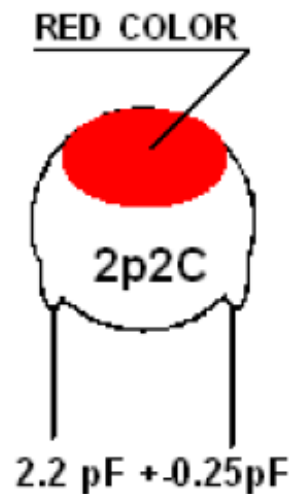


3300 pF

+ - 20%



22 pF +0.5pF



2.2 pF +0.25pF

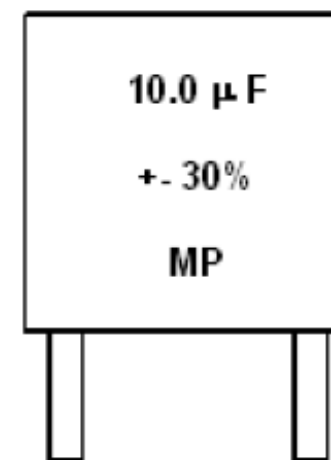
N080



2200 pF

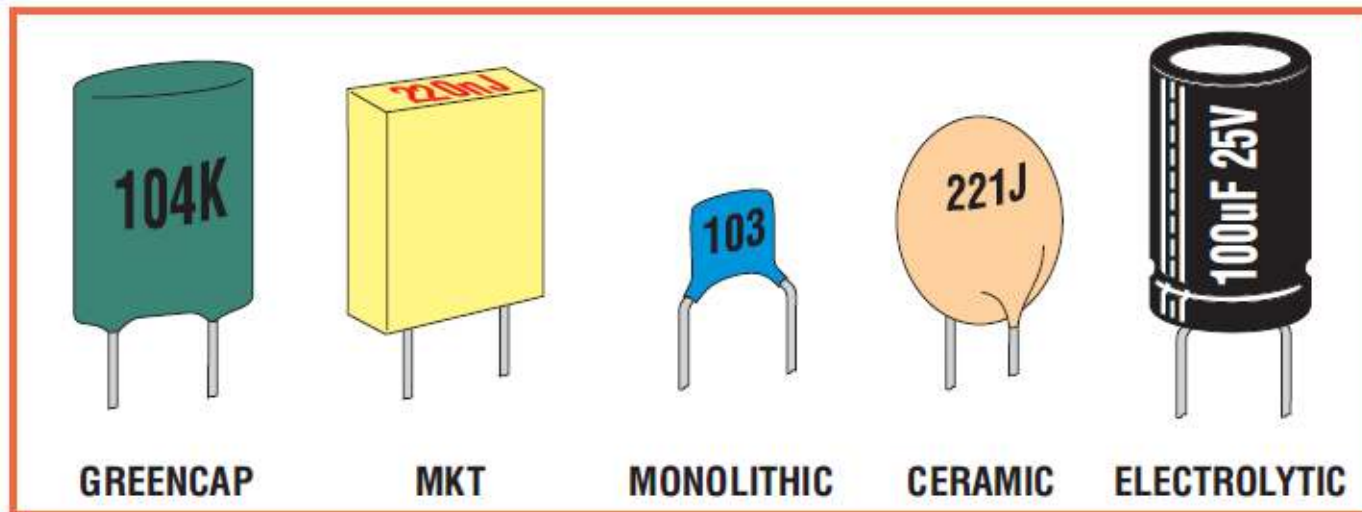
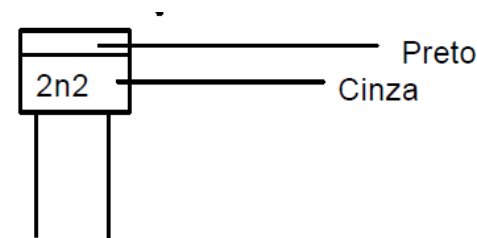
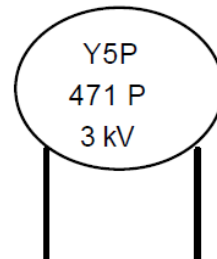
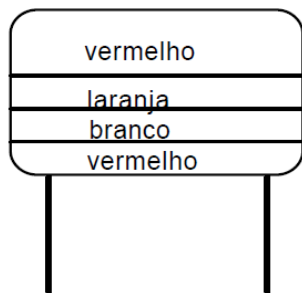
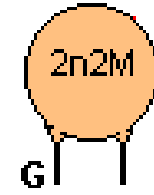
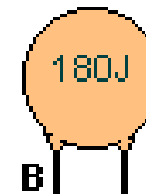
+ - 20%

N1500



## Exercícios Propostos

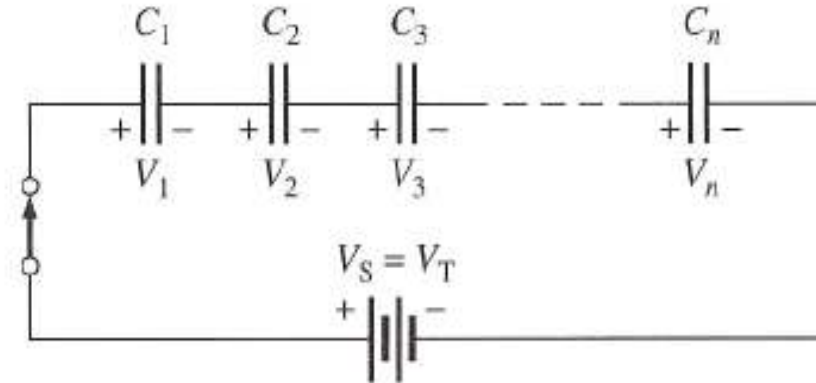
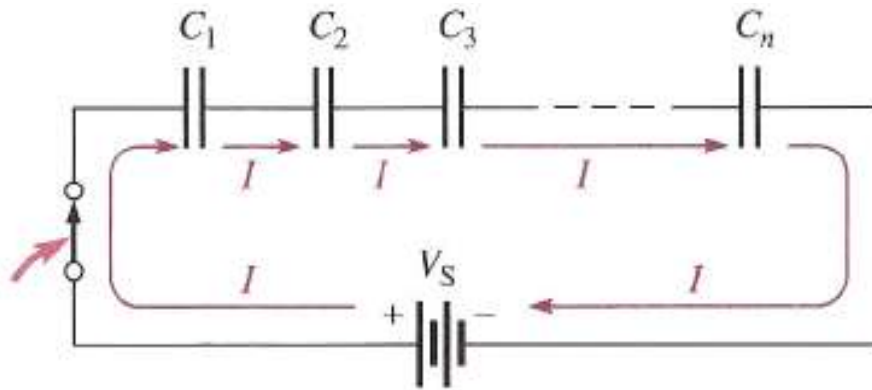
15. Quais são as características dos condensadores seguintes :



# ▪ Associação de condensadores

## — Associação série

- Dois condensadores estão associados em série se forem **percorridos pela mesma corrente**.



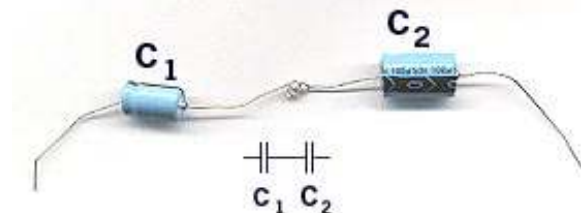
## — Condensador equivalente

O inverso da capacidade equivalente é igual à soma dos inversos das capacidades associadas em série

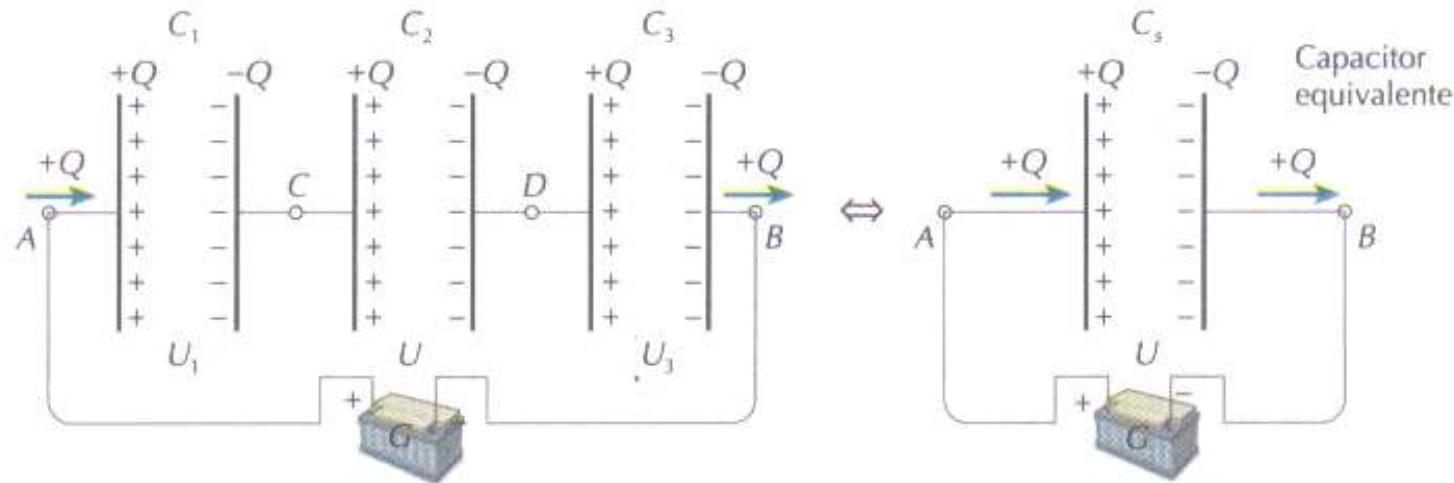
$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

- No caso de dois condensadores

$$C_S = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$



## ▪ Associação de condensadores



- Todos os condensadores têm a **mesma carga** nas armaduras

$$Q_t = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

- A **ddp total** é igual à **soma das ddp de cada condensador**.

$$C_1 = \frac{Q}{U_1} \Rightarrow \boxed{U_1 = \frac{Q}{C_1}} \quad C_2 = \frac{Q}{U_2} \Rightarrow \boxed{U_2 = \frac{Q}{C_2}} \quad C_3 = \frac{Q}{U_3} \Rightarrow \boxed{U_3 = \frac{Q}{C_3}}$$

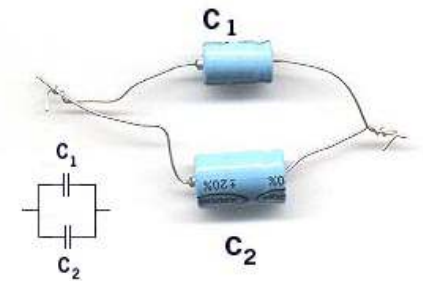
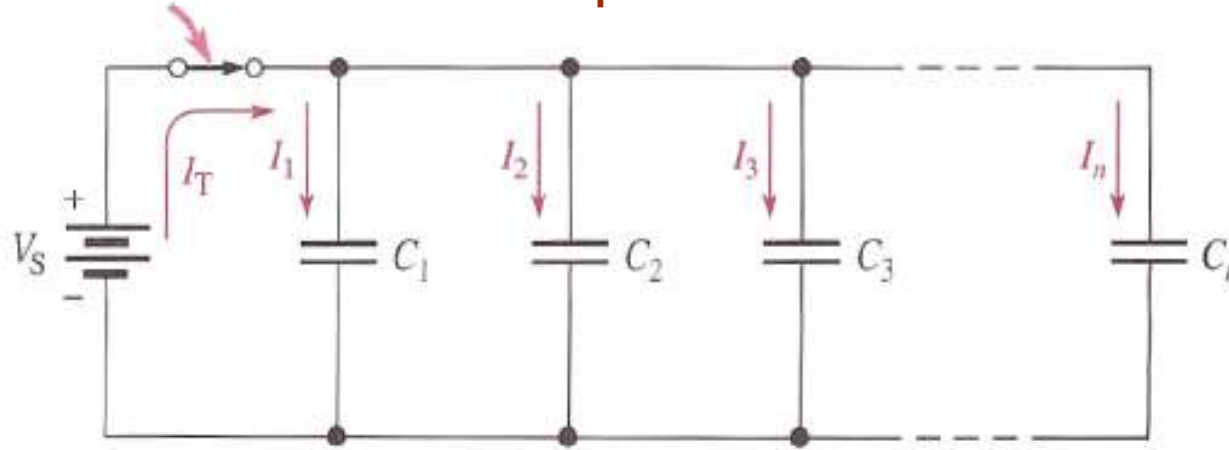
$$\boxed{U_s = U_1 + U_2 + U_3}$$



# ▪ Associação de condensadores

## — Associação em Paralelo

- Dois condensadores estão associados em **paralelo** se tiverem a mesma tensão entre as armaduras



$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

## — Condensador equivalente

- A capacidade equivalente é igual à soma das capacidades associadas em paralelo

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

# ▪ Associação de condensadores

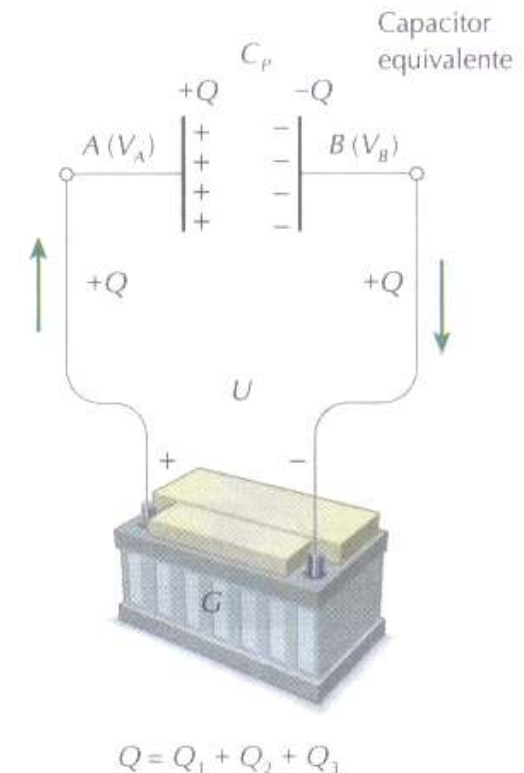
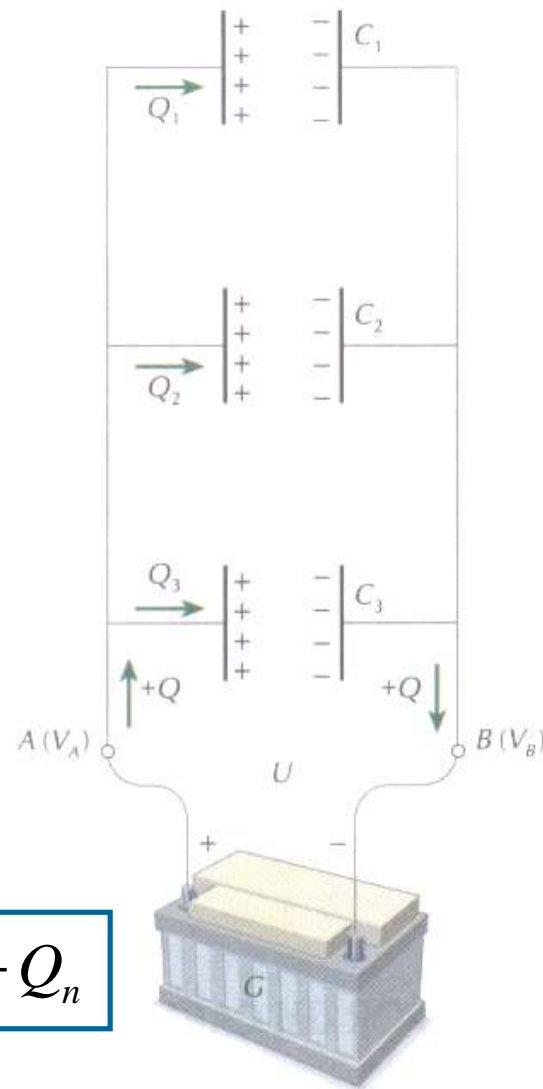
- Todos os **condensadores têm a mesma tensão**.
- A **carga total separada** pela associação é **igual à soma da carga separada** em cada condensador

$$Q_1 = C_1 U$$

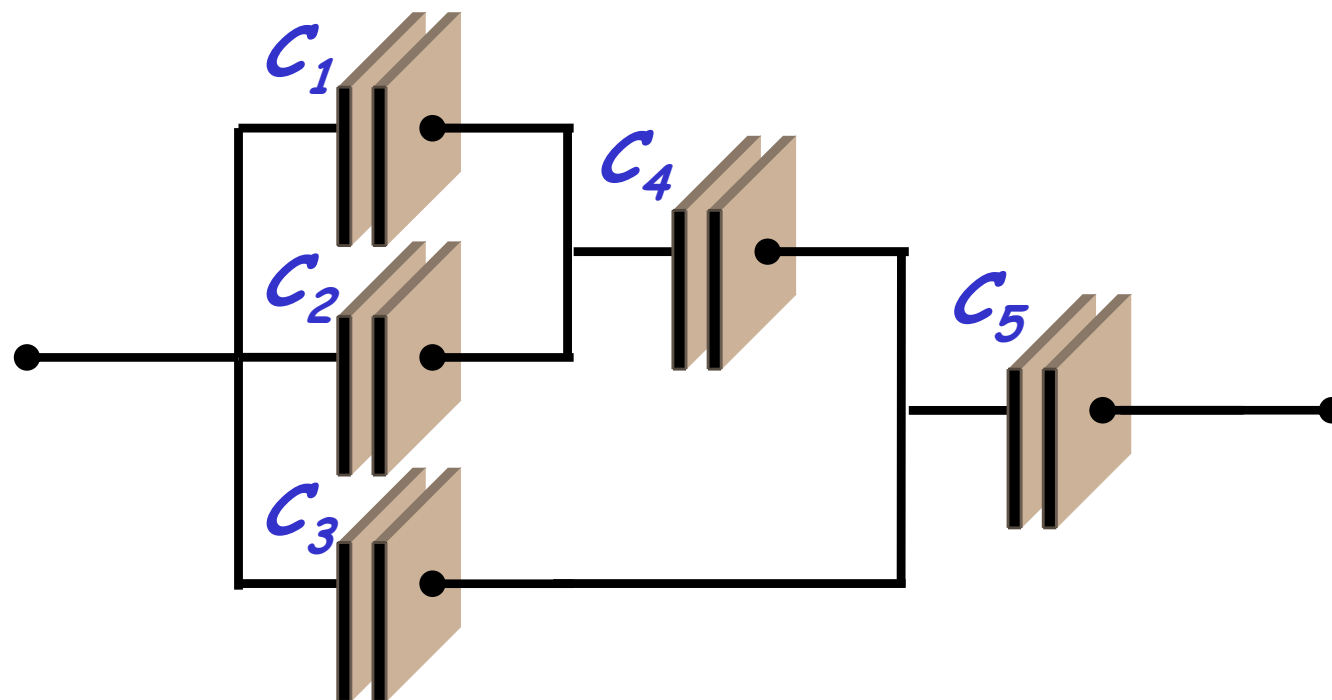
$$Q_2 = C_2 U$$

$$Q_3 = C_3 U$$

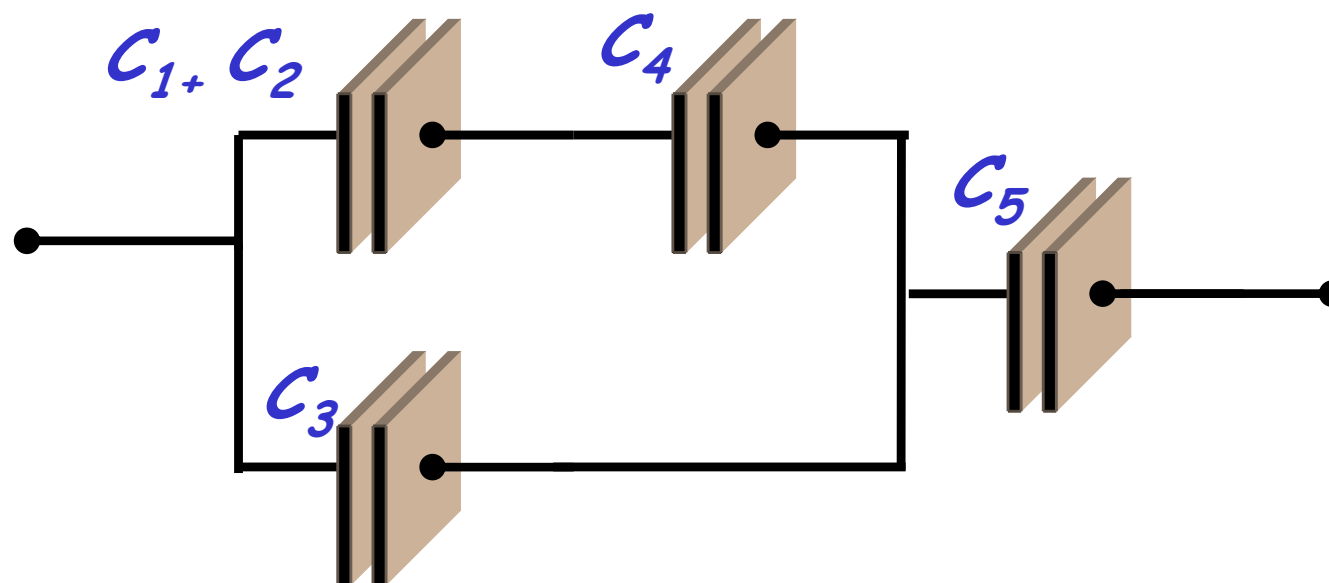
$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$



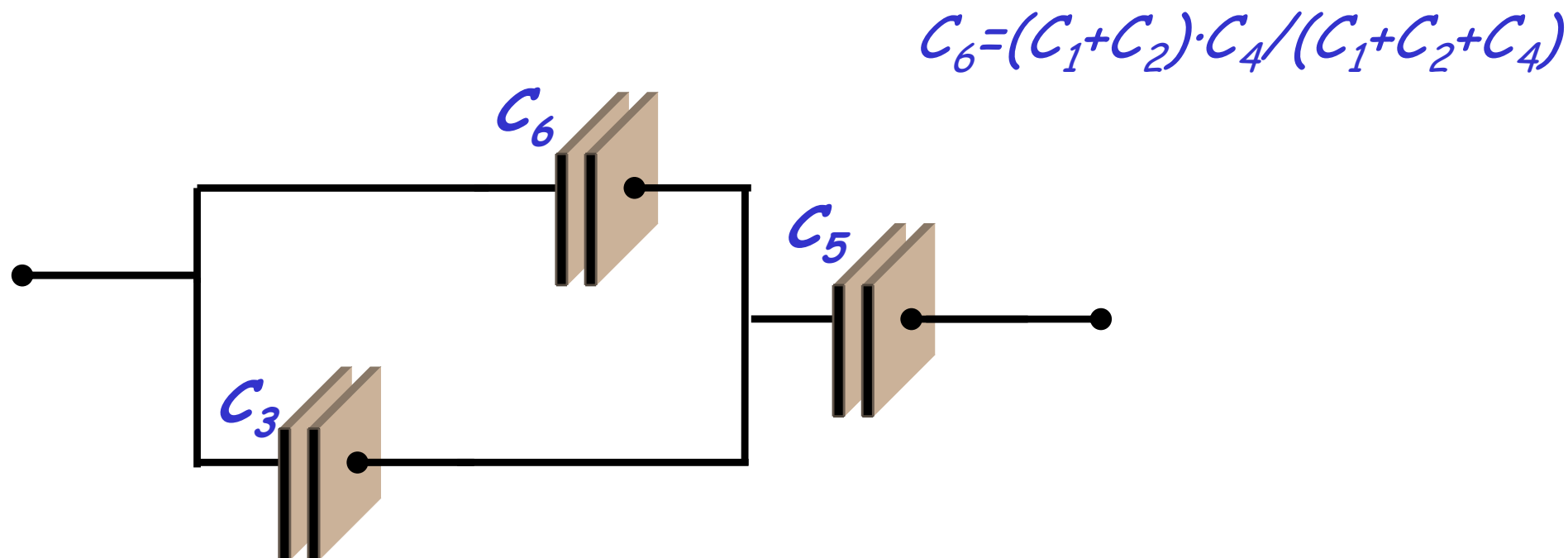
## ▪ Associação de condensadores



## ▪ Associação de condensadores



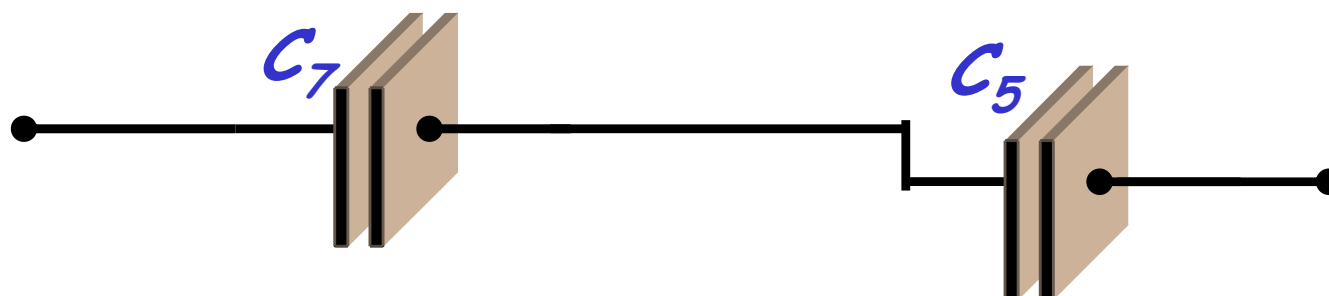
## ▪ Associação de condensadores



## ▪ Associação de condensadores

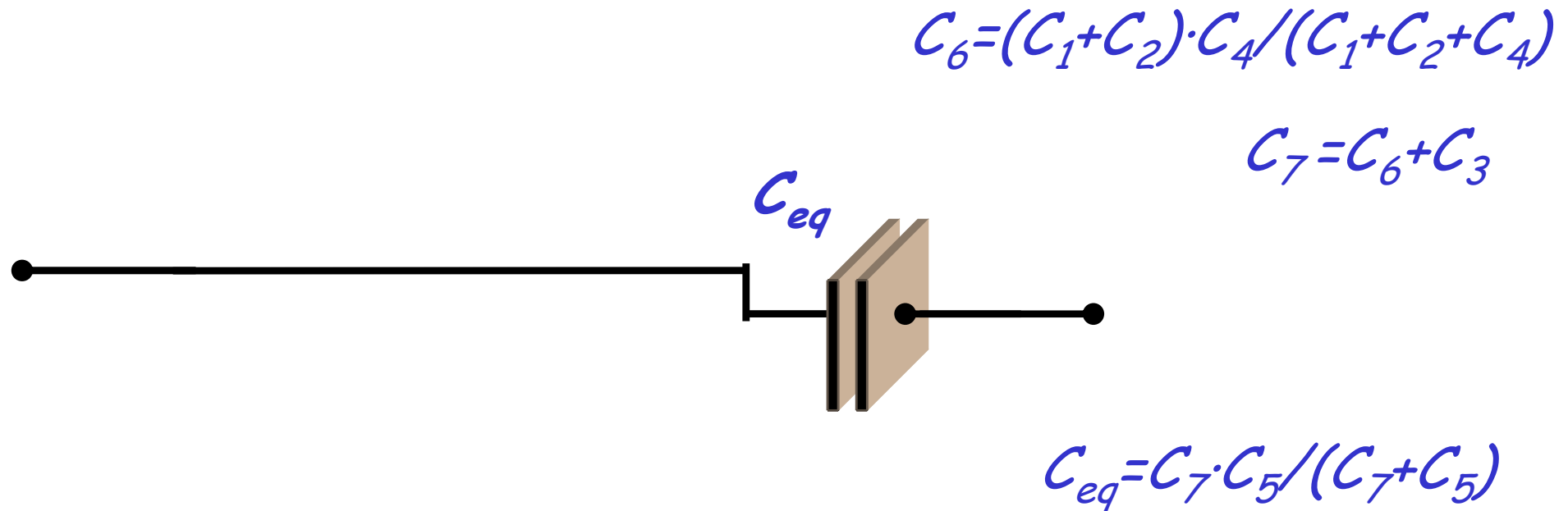
$$C_6 = (C_1 + C_2) \cdot C_4 / (C_1 + C_2 + C_4)$$

$$C_7 = C_6 + C_3$$

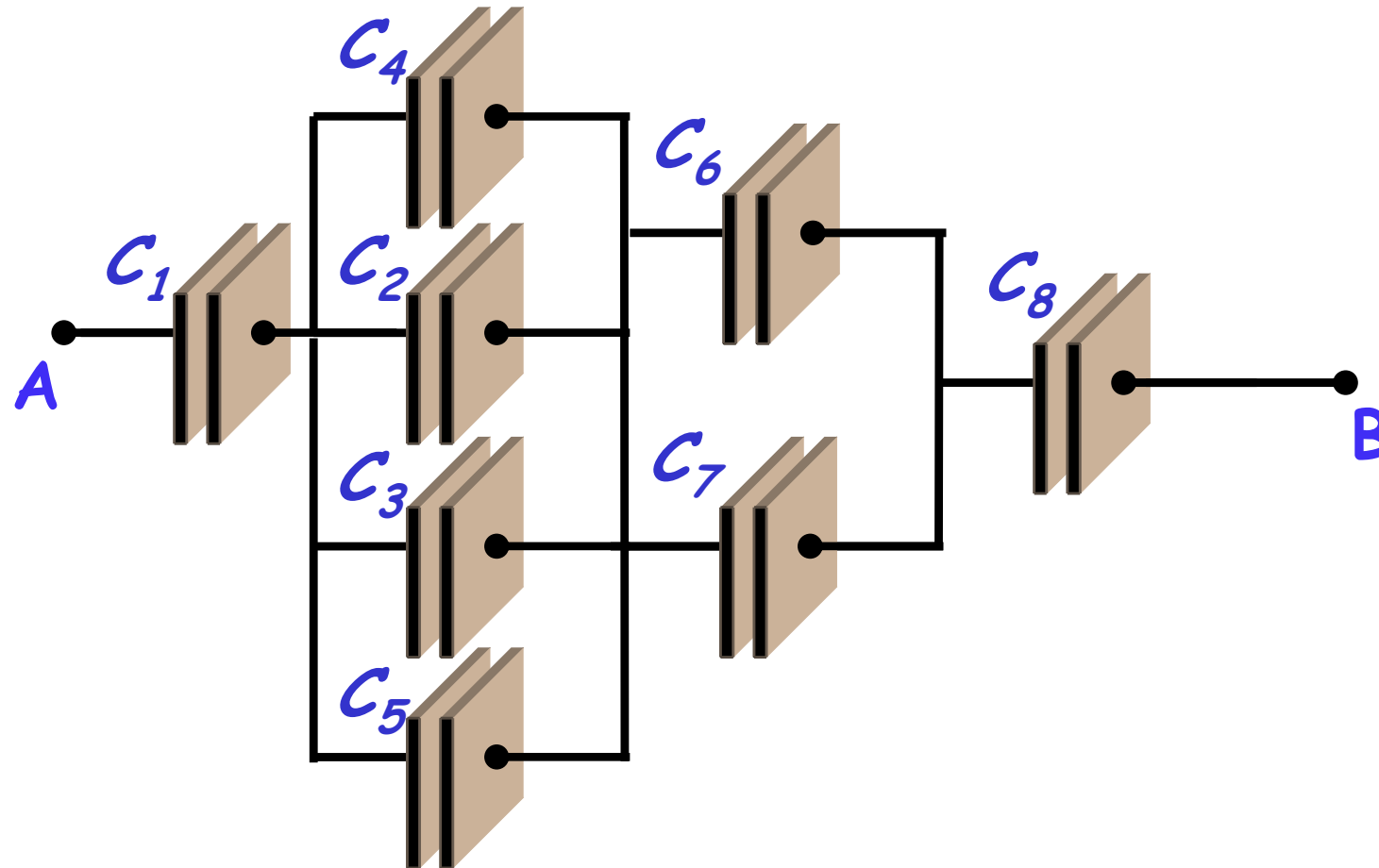




## ▪ Associação de condensadores



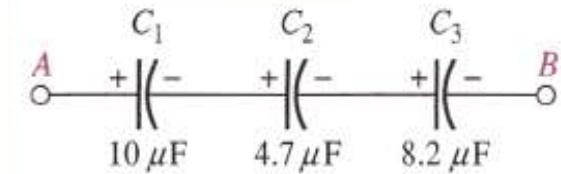
## ▪ Associação de condensadores



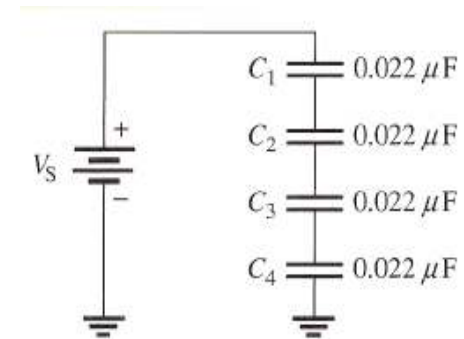
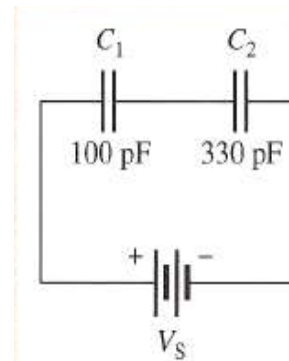
$$\begin{aligned}
 C_1 &= 2\mu F \\
 C_2 &= 1\mu F \\
 C_3 &= 1\mu F \\
 C_4 &= 1\mu F \\
 C_5 &= 1\mu F \\
 C_6 &= 2\mu F \\
 C_7 &= 2\mu F \\
 C_8 &= 4\mu F
 \end{aligned}$$

## Exercícios Propostos

**16.** Determine a capacidade total entre os pontos A e B da figura seguinte .



**17.** Determine o valor da capacidade total para cada um dos seguintes circuitos .



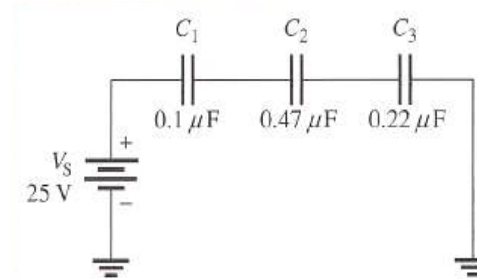
**18.** Três condensadores de capacidades  $6 \mu\text{F}$ ,  $3 \mu\text{F}$  e  $2 \mu\text{F}$  estão associados em série. Fornecendo-se à associação a carga de  $12 \mu\text{C}$ , determine

- A carga e a tensão em cada condensador;
- A tensão da associação;
- A capacidade do condensador equivalente

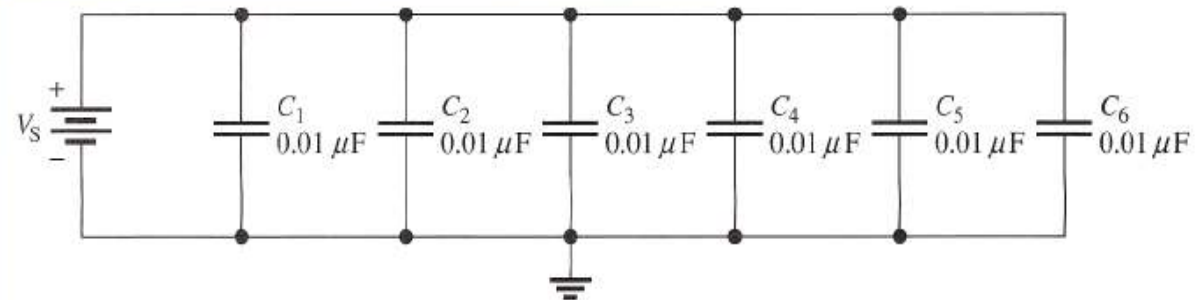
**19.** Dois condensadores em série, um de  $8 \times 10^{-6} \text{ F}$  e outro de  $2 \times 10^{-6} \text{ F}$ , estão ligados a uma tensão de  $100 \text{ V}$ . Determine a carga e a tensão de cada condensador.

## Exercícios Propostos

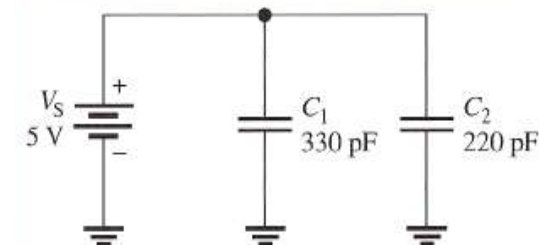
**20.** Qual a tensão aos terminais de cada condensador ?



**21.** Determine a capacidade equivalente do circuito.



**22.** Qual a capacidade total da associação do circuito da figura seguinte?  
Qual a tensão aos terminais de cada condensador ?

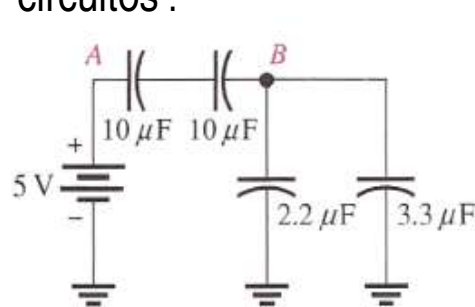


**23.** Três condensadores de capacidades  $6 \mu\text{F}$ ,  $3 \mu\text{F}$  e  $2 \mu\text{F}$  estão associados em paralelo. Aplicando-se aos terminais da associação a tensão de 10V, determine:

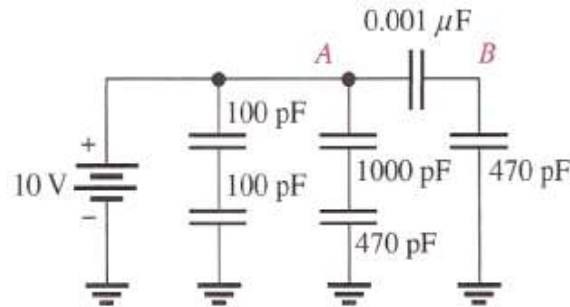
- A carga e a tensão em cada condensador;
- A carga da associação;
- A capacidade do condensador equivalente

## Exercícios Propostos

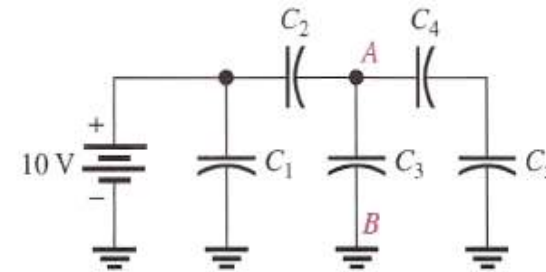
24. Determine o valor da capacidade total e a tensão aos terminais de cada condensador para cada um dos seguintes circuitos .



(a)



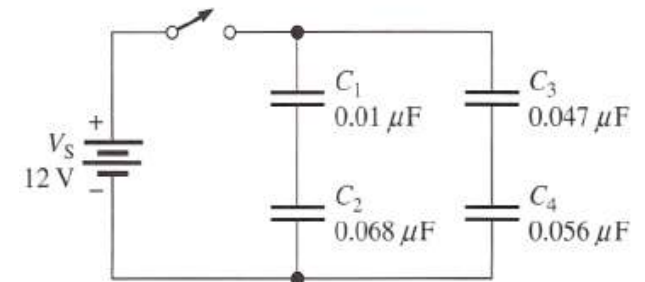
(b)



(c)  $C = 1 \mu\text{F}$  for each capacitor

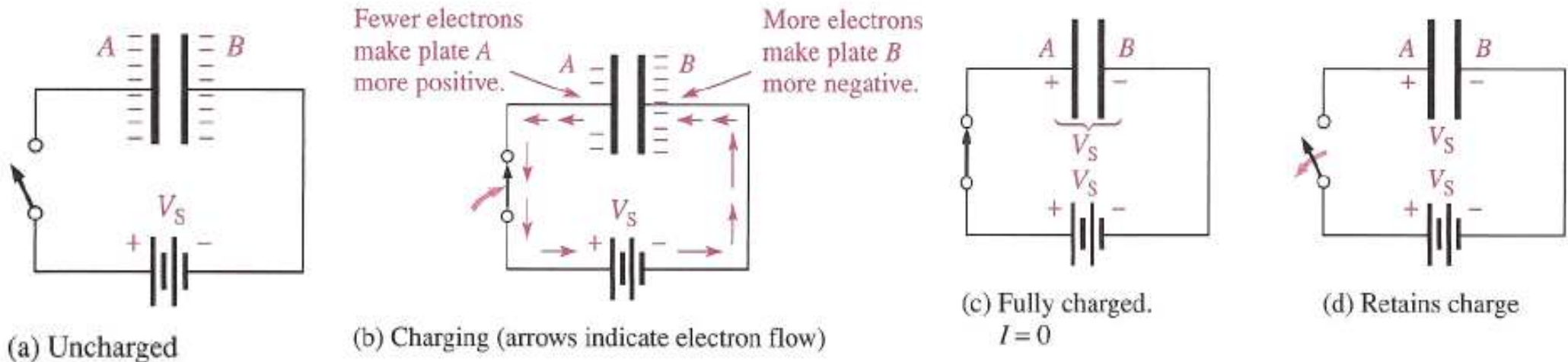
25. Inicialmente, os condensadores do circuito da figura seguinte encontram-se descarregados.

- Depois de fechar o interruptor, qual a carga total que é fornecida pela fonte ?
- Qual a tensão aos terminais de cada condensador ?

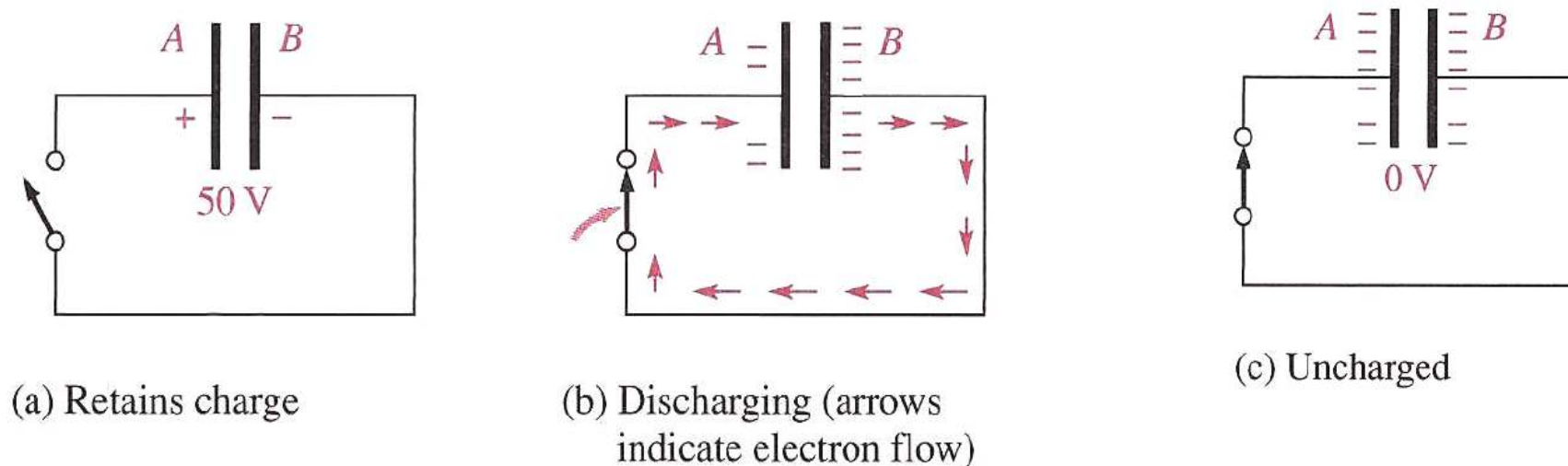


## ▪ Condensadores em DC

### — Carga de um condensador



### — Descarga de um condensador





# Condensadores em DC

## — Constante de tempo —

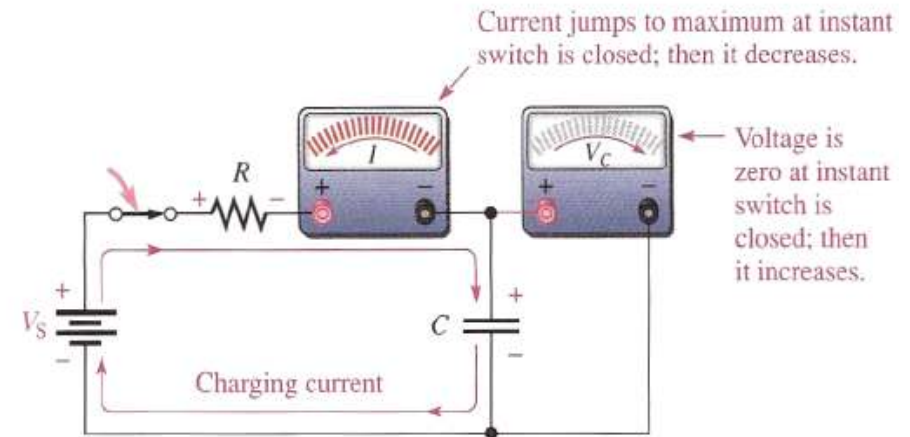
- **Carga de um condensador** é o processo de **fazer o seu carregamento**, ou seja, de fazer com que ele armazene carga e energia eléctricas.
- O significado físico da constante de tempo pode ser interpretado :

$$\tau = RC$$

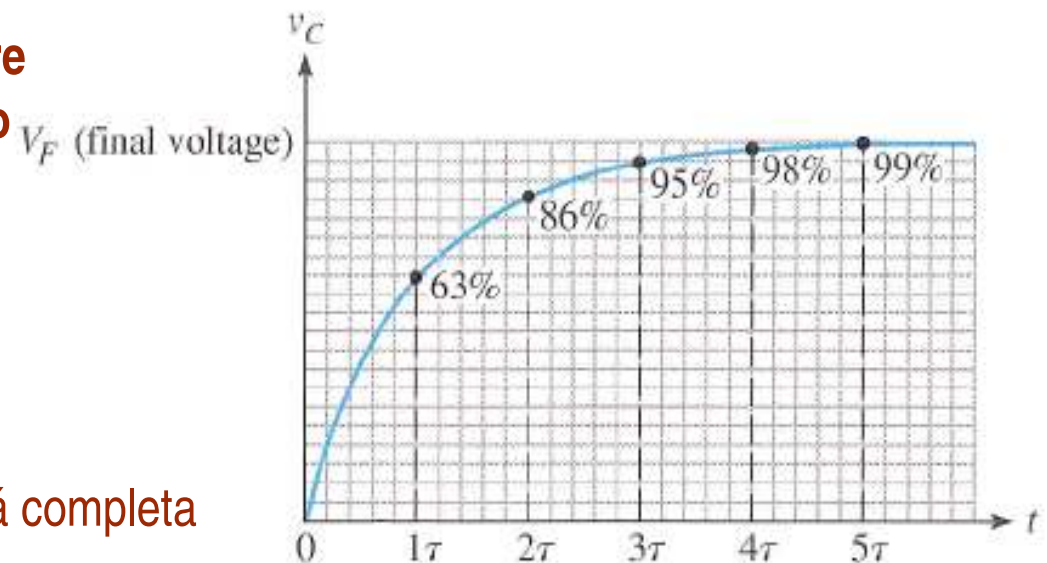
$\tau$  representa o tempo ao fim do qual a tensão entre as armaduras do condensador já atingiu 63,2% do seu valor final ( $V_F = E$ )

$$v_c(t) = E(1 - e^{\frac{-t}{\tau}})$$

- Na prática, costuma considerar-se que a carga está completa ao fim de um **tempo igual a  $5\tau$** .

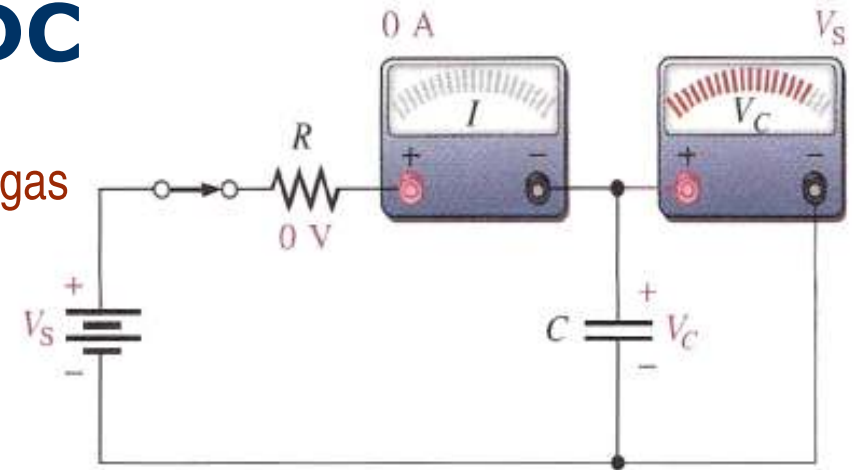


(a) Charging: Capacitor voltage increases as the current and resistor voltage decrease.



## ■ Condensadores em DC

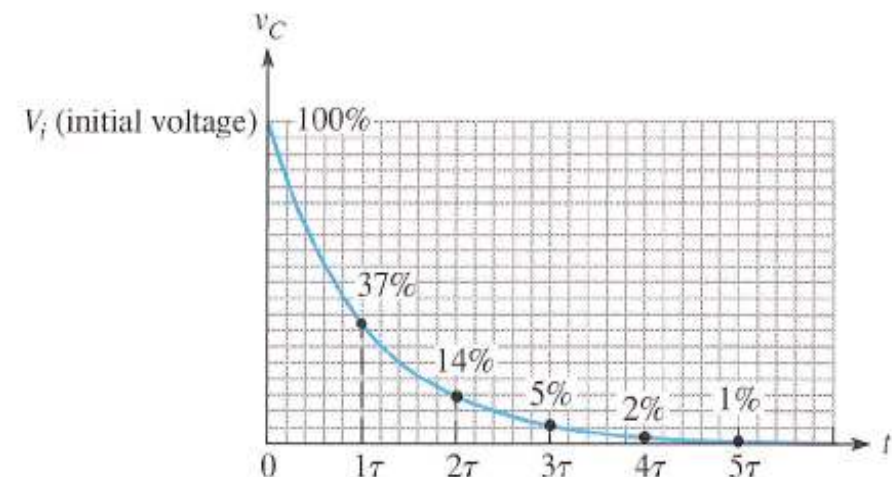
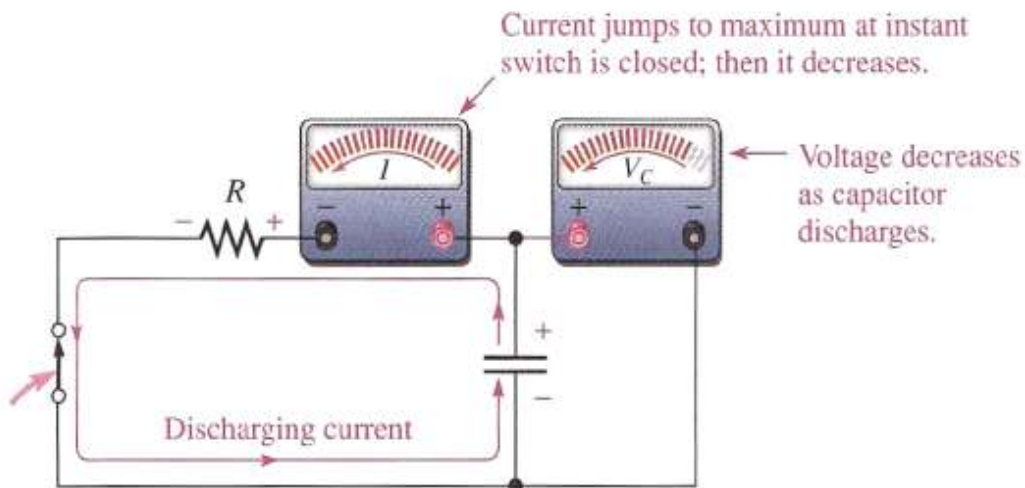
- Um condensador, uma vez carregado, manter-se-á com cargas nas suas armaduras **enquanto não existir um percurso electricamente fechado** que permita a sua anulação mútua.



### — Descarga de um condensador —

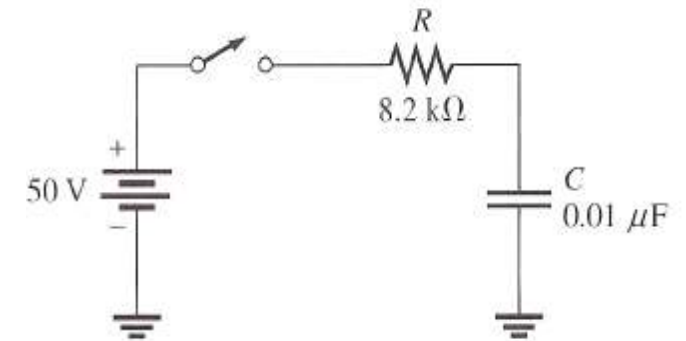
- Nesta situação as cargas têm possibilidade de se deslocar através da resistência, criando, portanto, uma corrente que existirá enquanto as cargas de sinais contrários não se anularem completamente.

$$V_c(t) = Ri(t) = V_i e^{\frac{-t}{\tau}}$$



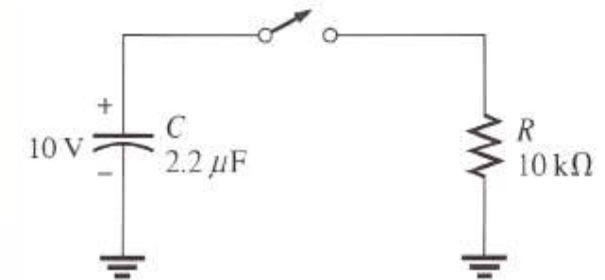
## Exercícios Propostos

26. Na figura seguinte determine a tensão do condensador  $50 \mu\text{s}$  depois do interruptor fechar se o condensador estiver inicialmente descarregado. Desenhe a curva de carga.



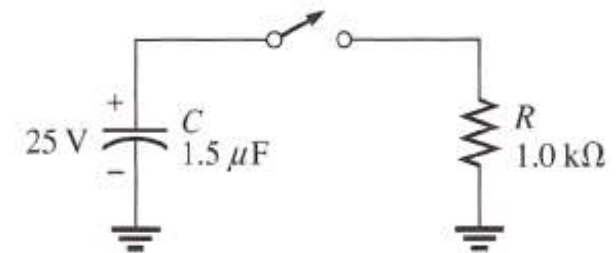
27. O circuito serie RC tem uma resistência de  $1\text{M}\Omega$  e uma capacidade de  $4,7 \mu\text{F}$ . Qual a constante de tempo ?

28. Determine a tensão aos terminais do condensador da figura seguinte  $6 \text{ ms}$  depois do interruptor fechar. Desenhe a curva de descarga



29. Na figura seguinte a tensão do condensador é  $25\text{V}$ . Depois do interruptor fechar qual a tensão aos terminais do condensador para os seguinte instantes de tempo ?

a)  $1,5 \text{ ms}$     b)  $4,5 \text{ ms}$     c)  $6 \text{ ms}$     d)  $7,5 \text{ ms}$



## ▪ Exercícios Propostos

**30.** Determine as constantes de tempo para cada uma das combinações seguintes de circuitos serie RC

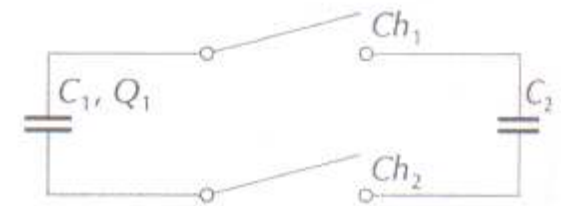
- |  |  |
|--|--|
| a) $R = 100 \, \Omega$ , $C = 1 \, \mu\text{F}$              | b) $R = 100 \, \text{M}\Omega$ , $C = 47 \, \text{pF}$     |
| c) $R = 4,7 \, \text{k}\Omega$ , $C = 0,0047 \, \mu\text{F}$ | d) $R = 1,5 \, \text{M}\Omega$ , $C = 0,01 \, \mu\text{F}$ |

**31.** Determine quanto tempo leva o condensador a atingir a carga completa para cada uma das seguintes combinações.

- |  |   |
|--|---|
| a) $R = 56 \, \Omega$ , $C = 47 \, \mu\text{F}$        | b) a) $R = 3300 \, \Omega$ , $C = 0,015 \, \mu\text{F}$ |
| c) $R = 22 \, \text{k}\Omega$ , $C = 100 \, \text{pF}$ | d) $R = 5,6 \, \text{M}\Omega$ , $C = 10 \, \text{pF}$  |

**32.** Na figura, apenas o condensador de capacidade  $C_1 = 4 \, \mu\text{F}$  está carregado com carga  $Q_1 = 12 \, \mu\text{C}$ . As chaves Ch1 e Ch2 são fechadas. Sabendo que  $C_2 = 2 \, \mu\text{F}$ , determine, após o equilíbrio electrostático ser atingido

- A nova ddp entre as armaduras dos condensadores.
- As novas cargas



## ▪ Exercícios Propostos

33. Determine a carga armazenada pelo condensador nos circuitos

