

## **Sumário**

<b>Introdução</b>	<b>5</b>
<b>Comportamento do capacitor em CA</b>	<b>6</b>
<b>Funcionamento do capacitor em CA</b>	<b>6</b>
<b>Reatância capacitiva</b>	<b>8</b>
<b>Fatores que influenciam reatância capacitiva</b>	<b>9</b>
<b>Relação entre tensão ca, corrente ca e reatância capacitiva.</b>	<b>11</b>
<b>Determinação experimental da capacitância de um capacitor</b>	<b>12</b>
<b>Associação de capacitores</b>	<b>14</b>
<b>Associação paralela de capacitores</b>	<b>14</b>
<b>Capacitância total da associação paralela</b>	<b>15</b>
<b>Tensão de trabalho da associação paralela</b>	<b>16</b>
<b>Associação paralela de capacitores polarizados</b>	<b>17</b>
<b>Associação série de capacitores</b>	<b>17</b>
<b>Capacitância da associação série</b>	<b>18</b>
<b>Associação série de dois capacitores C1 e C2</b>	<b>18</b>
<b>Associação série de “n” capacitores de mesmo valor</b>	<b>18</b>
<b>Tensão de trabalho da associação série</b>	<b>20</b>
<b>Associação série de capacitores polarizados</b>	<b>21</b>
<b>Apêndice</b>	<b>22</b>
<b>Questionário</b>	<b>22</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>22</b>



## **Espaço SENAI**

### **Missão do Sistema *SENAI***

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

Participar do processo de modernização industrial decorrente da Adoção de novas tecnologias, elegendo prioridades em nível nacional.

# Introdução

---

Em corrente contínua um capacitor atua como um armazenador de energia elétrica. Já em corrente alternada, contudo, o comportamento do capacitor é completamente diferente, devido à troca de polaridade da fonte.

Este fascículo, que tratará do capacitor em CA e associação de capacitores, foi elaborado visando a capacitá-lo a utilizar corretamente o capacitor e suas associações em circuitos de CA.



*Para ter sucesso no desenvolvimento do conteúdo e atividades deste fascículo, o leitor já deverá ter conhecimentos relativos a:*

- Corrente alternada.
- Capacitores.

# Comportamento do capacitor em CA

Os capacitores despolarizados podem funcionar em corrente alternada devido ao fato de que cada uma das suas armaduras pode receber tanto potencial positivo como negativo.

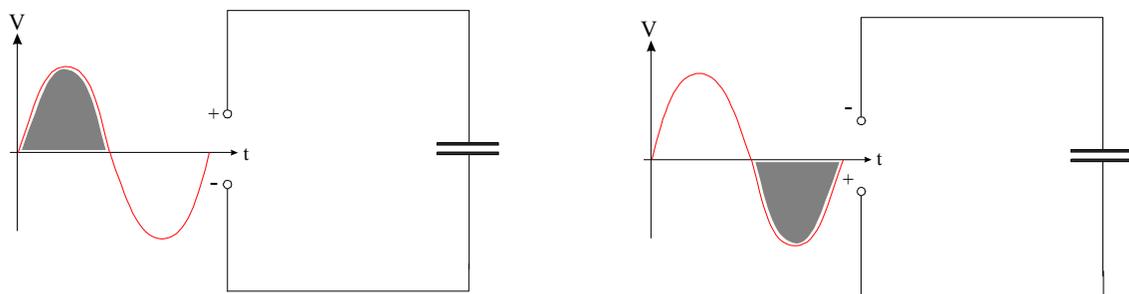


*Capacitores despolarizados podem ser ligados em CA.*

Os capacitores polarizados não podem ser conectados a CA porque a troca de polaridade provoca danos ao componente.

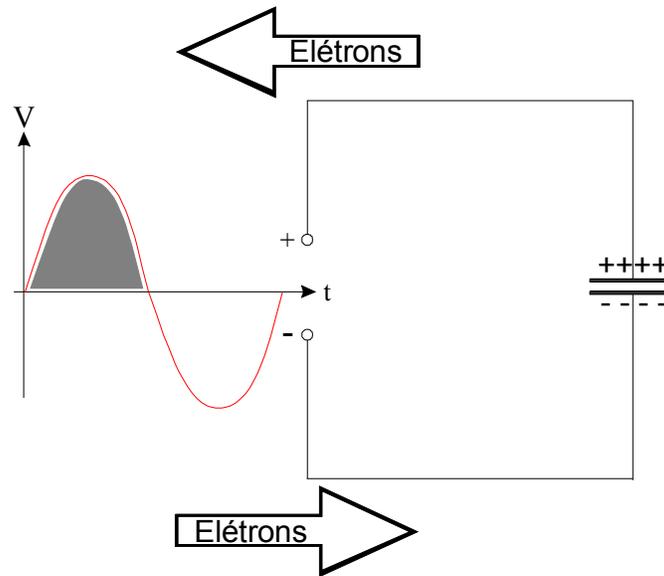
## FUNCIONAMENTO DO CAPACITOR EM CA

Quando um capacitor é conectado a uma fonte de corrente alternada as suas armaduras estão submetidas à troca sucessiva de polaridade da tensão aplicada. A **Fig.1** ilustra este fato.



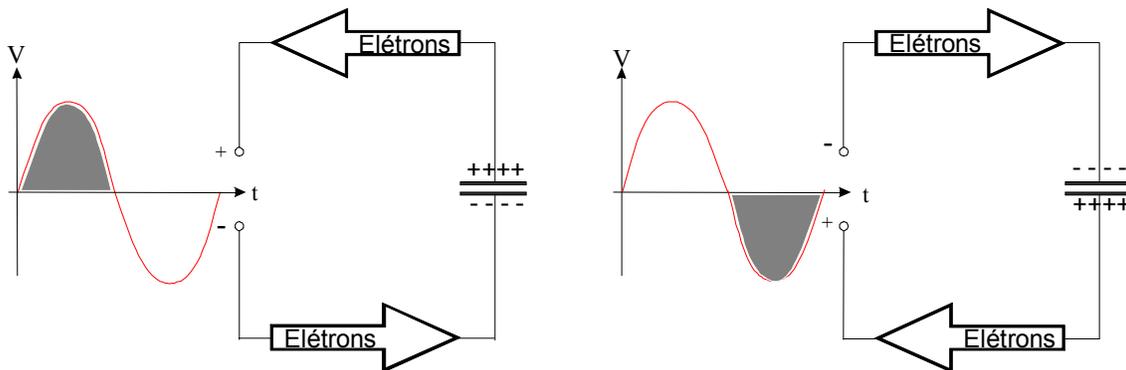
**Fig.1** Troca de polaridade das armaduras de um capacitor.

A cada semiciclo, a armadura que recebe potencial positivo entrega elétrons à fonte, enquanto a armadura que está ligada ao potencial negativo recebe elétrons, como ilustrado na **Fig.2**.



**Fig.2** Retirada e entrega de elétrons às armaduras do capacitor.

Com a troca sucessiva de polaridade, uma mesma armadura durante um semiciclo recebe elétrons da fonte e no outro devolve elétrons para a fonte, como mostrado na **Fig.3**.



**Fig.3** Inversão da polaridade nas armaduras de um capacitor.

Há, portanto, um movimento de elétrons ora entrando, ora saindo da armadura.

Isto significa que circula uma corrente alternada no circuito, embora as cargas elétricas não passem de uma armadura do capacitor para a outra através do dielétrico.



*Um capacitor ligado a uma fonte de CA permite a circulação de corrente num circuito.*

## REATÂNCIA CAPACITIVA

Os processos de carga e descarga sucessivas de um capacitor ligado em CA dá origem a uma resistência à passagem da corrente no circuito. Esta **resistência** é denominada de **reatância capacitiva**.



*Reatância capacitiva é a oposição que um capacitor apresenta à circulação de corrente em circuitos de CA.*

A reatância capacitiva é representada pela notação  $X_c$  e é expressa em ohms.

A reatância capacitiva  $X_c$  é expressa pela equação:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \times f \times C} \quad (1)$$

onde

$X_c$  = reatância capacitiva em  $\Omega$ .

$2\pi$  = constante (6,28).

$f$  = frequência da corrente alternada em Hz.

$C$  = capacitância do capacitor em F.

Como a capacitância normalmente não é expressa em Farad e sim em um submúltiplo, pode-se operar a **Eq.(1)** de forma a poder usar o valor do capacitor em  $\mu\text{F}$ .

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi \times f \times C} \quad (2)$$

### **Exemplo 1:**

Calcular a reatância de um capacitor de 100nF quando conectado a uma rede de CA de frequência 60Hz.

### **Dados :**

$$f = 60\text{Hz}$$

$$C = 100\text{nF ou } 0.1\mu\text{F}$$

### **Solução :**

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi \times f \times C} = \frac{10^6}{2\pi \times 60 \times 0.1}$$

$$X_C = 26.539\Omega$$

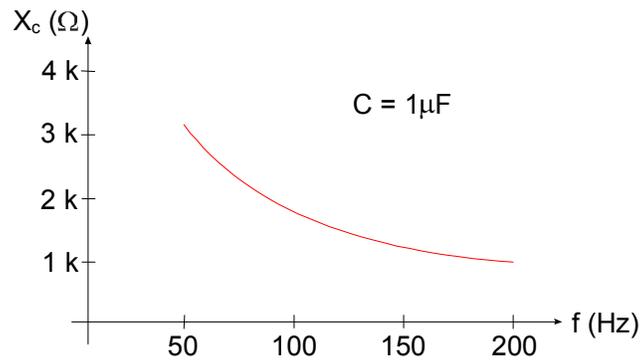
## **FATORES QUE INFLUENCIAM REATÂNCIA CAPACITIVA**

Verifica-se através da equação que a reatância capacitiva de um capacitor depende apenas da sua capacitância e da frequência da rede CA.



*A reatância capacitiva de um capacitor depende apenas da sua capacitância e da frequência da rede CA.*

O gráfico da **Fig.4** mostra o comportamento da reatância capacitiva com a variação da frequência da CA.



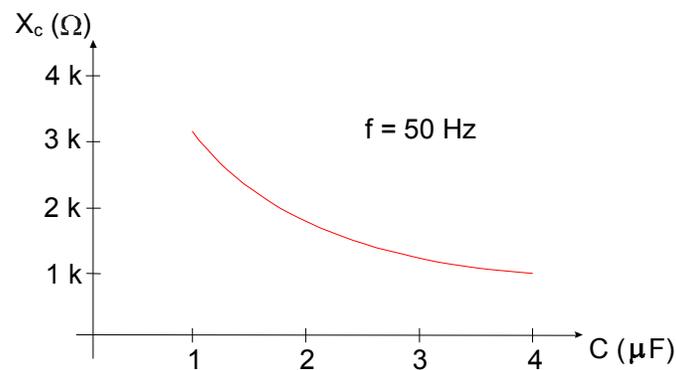
**Fig.4** Reatância versus frequência.

Pelo gráfico, verifica-se que a reatância capacitiva diminui com o aumento da frequência.



***A reatância capacitiva diminui com o aumento da frequência.***

No gráfico da **Fig.5** tem-se o comportamento da reatância capacitiva com a variação da capacitância.



**Fig.5** Reatância versus capacitância.



***A reatância capacitiva diminui com o aumento da capacitância.***

Na equação da reatância não aparece o valor de tensão. Isto significa que a reatância capacitiva é independente do valor de tensão CA aplicada ao capacitor.



***A reatância capacitiva não depende do valor de tensão CA aplicada aos terminais do capacitor.***

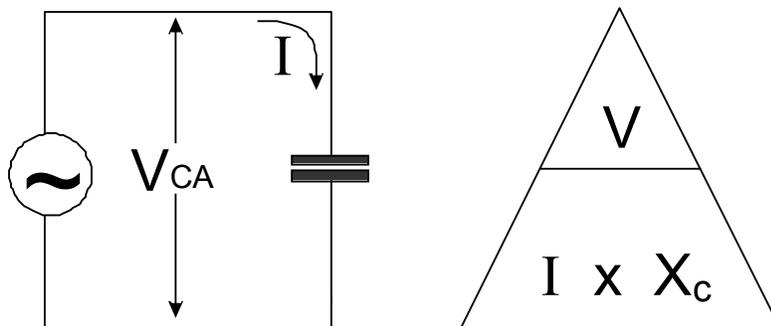
A tensão aplicada ao capacitor irá influenciar apenas na corrente circulante no circuito.

## RELAÇÃO ENTRE TENSÃO CA, CORRENTE CA E REATÂNCIA CAPACITIVA.

Quando um capacitor é conectado a uma fonte de CA, estabelece-se um circuito elétrico. Neste circuito estão em jogo três valores:

- Tensão aplicada.
- Reatância capacitiva.
- Corrente circulante.

Esses três valores estão relacionados entre si nos circuitos de CA da mesma forma que nos circuitos de CC, ou seja, através da lei de Ohm, como ilustrado na **Fig.6**.



**Fig.6** Relação entre tensão aplicada, reatância capacitiva e corrente.

**Exemplo 2:**

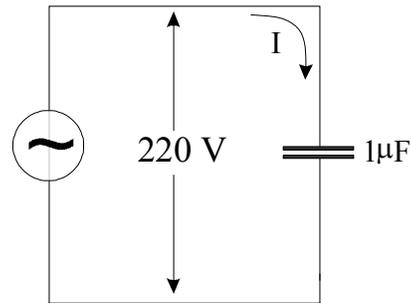
Um capacitor de  $1\mu\text{F}$  é conectado a uma rede de CA 220V e 60Hz. Qual a corrente circulante no circuito?

**Solução :**

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi \times f \times C} = \frac{10^6}{6,28 \times 60 \times 1} = 2.653 \Omega$$

$$I = \frac{V_C}{X_C} = \frac{220}{2.653} = 0,0829 \text{ A}$$

$$I = 82,9 \text{ mA}$$



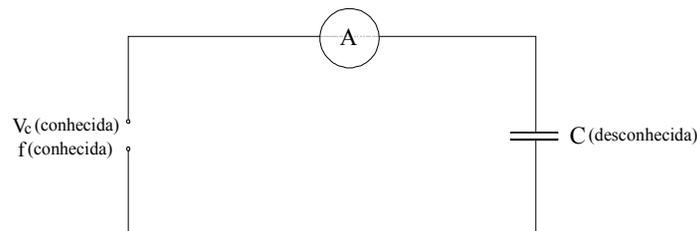
Deve-se lembrar que os valores de V e I são eficazes, ou seja, são valores que serão indicados por um voltímetro e um miliamperímetro de CA conectados ao circuito.

Toda vez que se refere à tensão ou corrente em CA, esses valores são eficazes, a menos que se especifique de forma diferente ( $V_p$ ,  $V_{pp}$  ou  $I_p$ ,  $I_{pp}$ ).

## DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CAPACITÂNCIA DE UM CAPACITOR

Quando a capacitância de um capacitor despolarizado é desconhecida, é possível determiná-la por processo experimental.

Conecta-se o capacitor a uma fonte de CA com tensão e frequência conhecidos e determina-se a corrente com um amperímetro de CA, como ilustrado na Fig.7. O valor de tensão de pico da CA aplicada deve ser inferior à tensão de trabalho do capacitor.



**Fig.7** Determinação de uma capacitância experimentalmente.

Conhecendo-se os valores de tensão e corrente no circuito, determina-se a reatância capacitiva do capacitor da seguinte forma :

$$X_C = \frac{V_C}{I_C} \quad (3)$$

onde

$V_C$  = tensão no capacitor.

$I_C$  = corrente no circuito.

Utilizando os valores disponíveis determina-se a capacitância.

$$C (\mu\text{F}) = \frac{10^6}{2\pi \times f \times X_C}$$

Este processo também pode ser utilizado para determinação da capacitância de uma associação de capacitores, desde que sejam despolarizados.

# Associação de capacitores

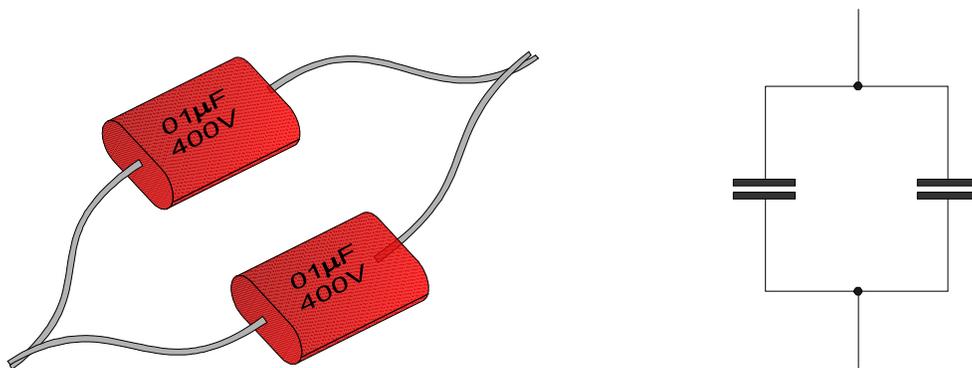
Os capacitores, assim como os resistores podem ser conectados entre si formando uma associação em série, paralela ou mista.

As associações paralela e série são encontradas na prática, as mistas dificilmente são utilizados.

## ASSOCIAÇÃO PARALELA DE CAPACITORES

A associação paralela de capacitores tem por objetivo obter maiores valores de capacitância.

A **Fig.8** mostra uma associação paralela de capacitores e sua representação simbólica.



**Fig.8** Associação paralela de capacitores.

Esta associação tem características particulares com relação à capacitância total e a tensão de trabalho.

## CAPACITÂNCIA TOTAL DA ASSOCIAÇÃO PARALELA

A capacitância total da associação paralela é a soma das capacitâncias individuais.

Matematicamente, a capacitância total de uma associação paralela é dada pela equação:

$$C_T = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (4)$$

onde

$C_T$  = capacitância total da associação.

$C_1$  = capacitância de  $C_1$ .

$C_2$  = capacitância de  $C_2$ .

$C_n$  = capacitância do capacitor  $C_n$ .

Para executar a soma, todos os valores devem ser convertidos à mesma unidade.

### Exemplo 3:

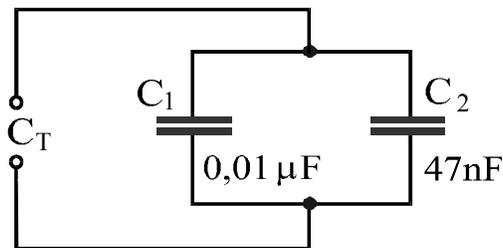
Qual a capacitância total da associação paralela de capacitores mostradas nas figuras abaixo.

#### Solução :

$$C_T = C_1 + C_2$$

$$C_T = 0,01\mu\text{F} + 0,047\mu\text{F}$$

$$C_T = 0,057\mu\text{F} \text{ ou } C_T = 57\text{nF}$$

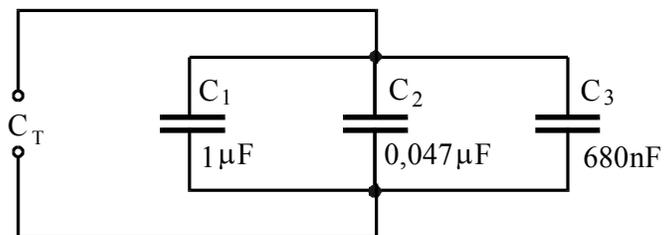


#### Solução :

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_T = 1\mu\text{F} + 0,047\mu\text{F} + 0,68\mu\text{F}$$

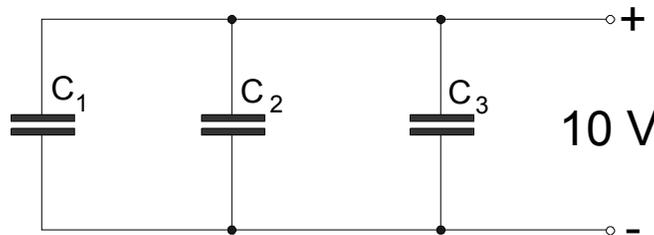
$$C_T = 1,727\mu\text{F}$$



## TENSÃO DE TRABALHO DA ASSOCIAÇÃO PARALELA

Considere todos os capacitores associados em paralelo da **Fig.9**. Eles recebem a mesma tensão aplicada ao conjunto.

$$V_{c_1} = V_{c_2} = V_{c_3} = 10V$$

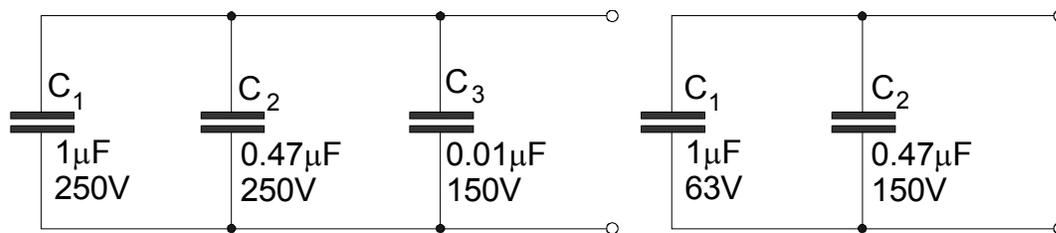


**Fig.9** Capacitores em paralelo recebendo a mesma tensão de 10V.

Assim, a máxima tensão que pode ser aplicada a uma associação paralela é a **daquele capacitor que tem menor tensão de trabalho.**

### Exemplo 4:

Qual a máxima tensão que pode ser aplicada nas associações apresentadas nas figuras a seguir?



### Solução :

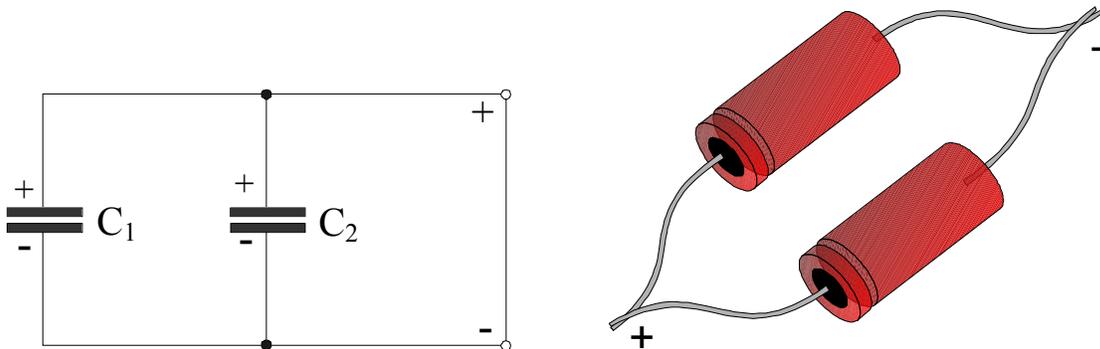
As tensões máximas são 150V e 63V, respectivamente.

É importante lembrar ainda dois aspectos:

- Deve-se evitar aplicar a um capacitor a tensão máxima que este suporta.
- Em CA, a tensão máxima é a tensão de pico. Um capacitor com tensão eficaz máxima de 70V (70V eficazes correspondem a uma tensão CA com pico de 100V).

## ASSOCIAÇÃO PARALELA DE CAPACITORES POLARIZADOS

Ao se associarem capacitores polarizados em paralelo, os terminais positivos dos capacitores devem ser ligados em conjunto entre si e os negativos da mesma forma, como mostrado na **Fig.10**



**Fig.10** Associação paralela de capacitores polarizados.

 *Na associação paralela de capacitores: (1) a capacitância total é a soma das capacitâncias individuais, (2) a tensão máxima da associação é a do capacitor com menor tensão de trabalho e (3) ao associarem-se capacitores polarizados, os terminais de mesma polaridade são ligados entre si.*

Deve-se lembrar que capacitores polarizados só podem ser utilizados em CC, porque **não há troca de polaridade da tensão.**

## ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE CAPACITORES

A associação série de capacitores tem por objetivo obter capacitâncias menores ou tensões de trabalho maiores.

A Fig.11 mostra uma associação série de dois capacitores e sua representação simbólica.

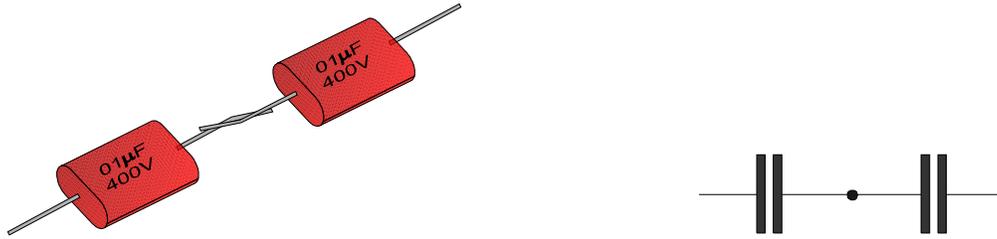


Fig.11 Associação série de capacitores.

## CAPACITÂNCIA DA ASSOCIAÇÃO SÉRIE

Quando se associam capacitores em série, a capacitância total é menor que o valor do menor capacitor associado.

A capacitância total de uma associação série é dada pela equação:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}} \quad (5)$$

Esta equação pode ser desenvolvida (como a equação da resistência equivalente de resistores em paralelo) para duas situações particulares:

### ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE DOIS CAPACITORES $C_1$ E $C_2$

$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \quad (6)$$

onde  $C_T$  é a capacitância total da associação.

### ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE “N” CAPACITORES DE MESMO VALOR

$$C_T = \frac{C}{n} \quad (7)$$

Para a utilização das equações, todos os valores de capacitância devem ser convertidos para a mesma unidade.

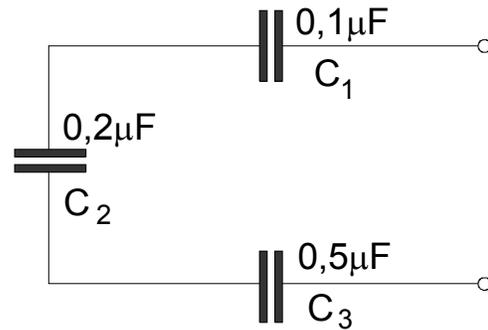
**Exemplo 5:**

Determinar a capacitância total dos circuitos abaixo

**Solução :**

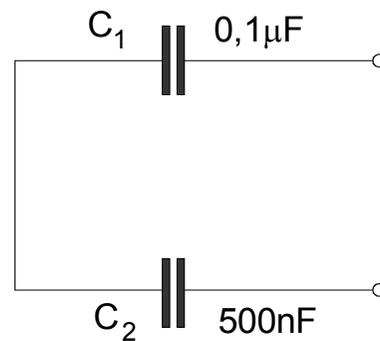
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,5}}$$

$$C_T = \frac{1}{17} = 0,059\mu\text{F}$$

**Solução :**

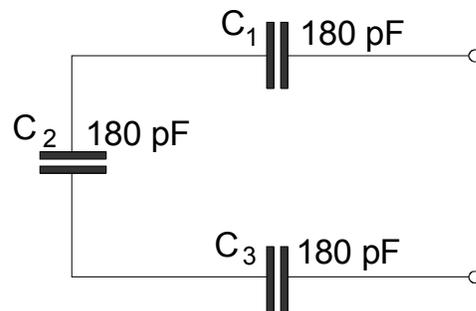
$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{0,1 \times 0,5}{0,1 + 0,5}$$

$$C_T = 0.083 \mu\text{F}$$

**Solução :**

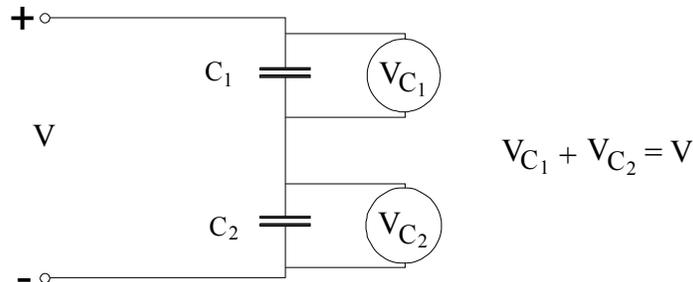
$$C_T = \frac{C}{n} = \frac{180}{3}$$

$$C_T = 60\text{pF}$$



## TENSÃO DE TRABALHO DA ASSOCIAÇÃO SÉRIE

Quando se aplica uma tensão a uma associação série de capacitores a tensão aplicada se divide entre eles, como ilustrado na **Fig.12**.



**Fig.12** Tensão em uma associação série.

A distribuição da tensão nos capacitores ocorre de forma inversamente proporcional à capacitância, ou seja:

- Uma maior capacitância corresponde a uma menor tensão.
- Uma menor capacitância corresponde a uma maior tensão.



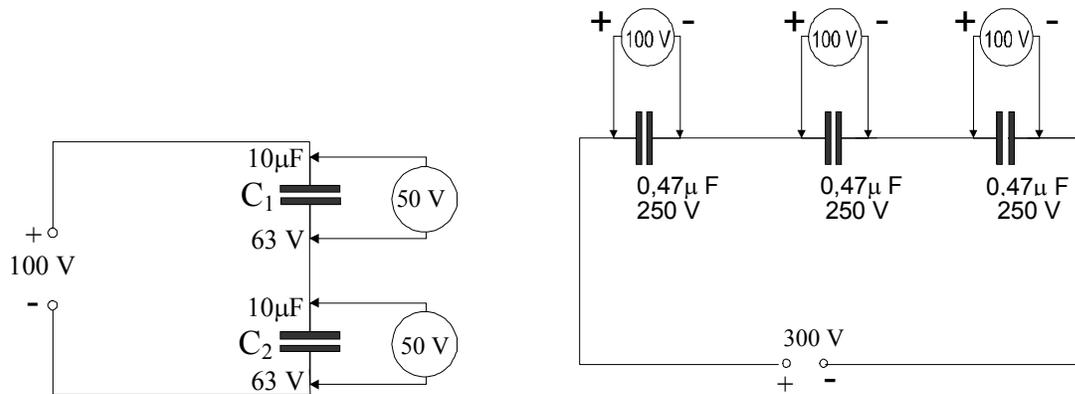
***Em uma associação série de capacitores, a tensão se distribui de forma inversamente proporcional à capacitância dos capacitores. O capacitor de menor capacitância fica com a maior parcela da tensão total.***

A determinação do valor de tensão em cada capacitor de uma associação série é feita através das equações da eletrostática.

Como forma de simplificação, pode-se adotar um procedimento simples e que evita a aplicação de tensões excessivas a uma associação série de capacitores.

Esse procedimento consiste em se associarem em série capacitores de mesma capacitância e mesma tensão de trabalho.

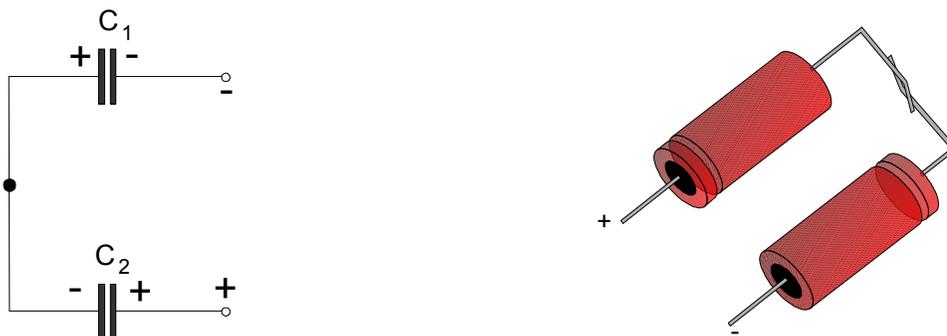
Desta forma, a tensão aplicada se distribui igualmente sobre todos os capacitores. A **Fig.13** ilustra este procedimento.



**Fig.13** Associação série de capacitores de mesma tensão.

## ASSOCIAÇÃO SÉRIE DE CAPACITORES POLARIZADOS

Ao se associarem capacitores polarizados em série, o terminal positivo de um capacitor é conectado ao terminal negativo do outro, como mostrado na Fig14.



**Fig.14** Associação série de capacitores polarizados.

É importante lembrar que capacitores polarizados só podem ser ligados em CC.

 **Na associação série de capacitores, (1) a capacitância total é sempre menor que a capacitância de menor valor e (2) ao se associarem capacitores polarizados em série, a armadura positiva de um capacitor é conectada à armadura negativa do capacitor seguinte.**

# Apêndice

## QUESTIONÁRIO

1. Quais os tipos de capacitores podem ser ligados em CA ?
2. O que se entende por reatância capacitiva e de que ela depende ?
3. Como se determina a capacitância total de um arranjo de capacitores ligados em paralelo ?

## BIBLIOGRAFIA

- DEGEM SYSTEMS. Eletrônica elementar. Israel, Eletrônica Modular Pantec, c1976, 141p. ilustr.
- MARCUS, ABRAHAM. Eletricidade Básica. Trad. de Ernest Muhr. São Paulo, Importadora de livros, c1964. 194p. ilustr.
- SENAI/Departamento Nacional. Impedância. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, 1980, 91p. (Módulo Instrucional: Eletricidade - Eletrotécnica, 18).
- VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. Eletricidade Básica. Trad. J.C.C. Walny e outros. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, c1971. vol.3 ilustr.