Sumário

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.

Introdução

Capacitores podem ser utilizados em circuitos de corrente alternada, por exemplo, para a obtenção de defasagem entre sinais ou mesmo na filtragem ou sintonização de freqüências. Os capacitores podem também ser utilizados em circuitos de corrente contínua, principalmente em aplicações que envolvam o chaveamento de sinais.

Este fascículo é dirigido a um estudo mais detalhado da dinâmica envolvida nos processos de carga e descarga de um capacitor em circuitos de corrente contínua, de forma a permitir que o leitor adquira o embasamento necessário à compreensão do princípio de funcionamento dos circuitos de temporização que serão estudados em fascículos posteriores.

Para a boa compreensão do conteúdo e desenvolvimento das atividades contidas neste fascículo, o leitor deverá estar familiarizado com os conceitos relativos a:

- Resistência elétrica.
- Fontes *cc.*
- Capacitores.

Dinâmica de carga e descarga em capacitores

O PROCESSO DE CARGA DE UM CAPACITOR

O material que constitui as armaduras de um capacitor é eletricamente neutro no seu estado natural. Isso significa que no estado natural não existe diferença de potencial entre as armaduras de um capacitor. Sob essas condições o **capacitor está descarregado**.

Entretanto, se um capacitor for conectado a uma fonte *cc*, após ter decorrido algum tempo, irá se estabelecer entre as suas armaduras a mesma diferença de potencial existente entre os pólos da fonte, conforme ilustrado na **Fig.1**

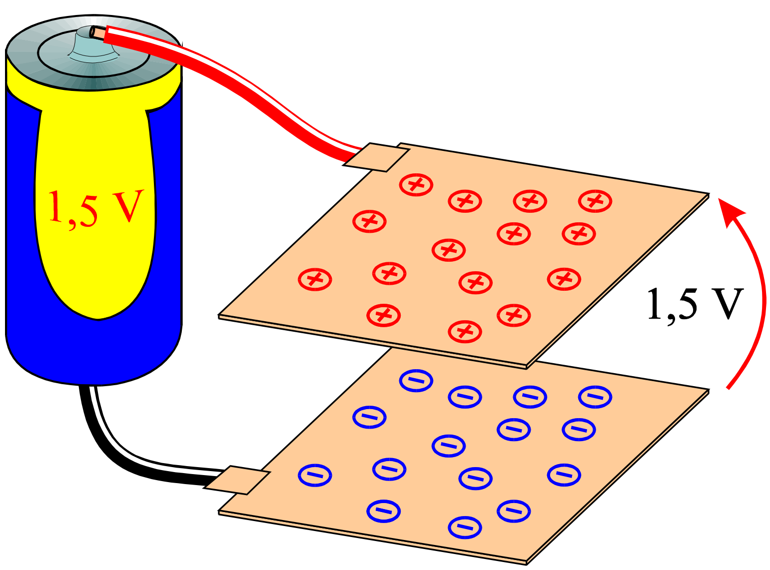

Fig.1 Capacitor conectado em paralelo a uma bateria.

Quando a diferença de potencial entre armaduras atinge um valor final de equilíbrio, o capacitor está **carregado**. O processo pelo qual o capacitor se carrega, assumindo uma diferença de potencial entre as armaduras, é denominado de **processo de carga do capacitor**.

No processo de carga do capacitor, a tensão entre armaduras varia com o tempo de forma não-linear. Para entender a existência dessa não-linearidade é preciso conhecer algumas propriedades elétricas do capacitor.

RELAÇÃO ENTRE TENSÃO E CARGA ARMAZENADA

Durante qualquer estágio do processo de carga do capacitor, a quantidade de carga removida de uma das armaduras é transferida para a outra armadura. Por isso ambas as armaduras armazenam cargas iguais e de sinais opostos em qualquer instante de tempo.

A diferença de potencial entre as armaduras de um capacitor é proporcional à quantidade de carga armazenada na armadura positivamente carregada. Se V é a diferença de potencial entre as armaduras positiva e negativa, e Q é a quantidade de carga armazenada na armadura positiva, tem-se que

$$V = \frac{Q}{C} \qquad (1)$$

onde C é a capacitância.

Considerando a carga Q expressa em *coulombs* e a capacitância C expressa em *faradas*, a **Eq.(1)** fornece o valor correspondente em *volts* para a diferença de potencial entre as armaduras do capacitor.

A capacitância é um parâmetro independente da quantidade de carga armazenada em cada armadura e portanto a **Eq.(1)** pode ser representada graficamente conforme ilustrado no gráfico da **Fig.2**.

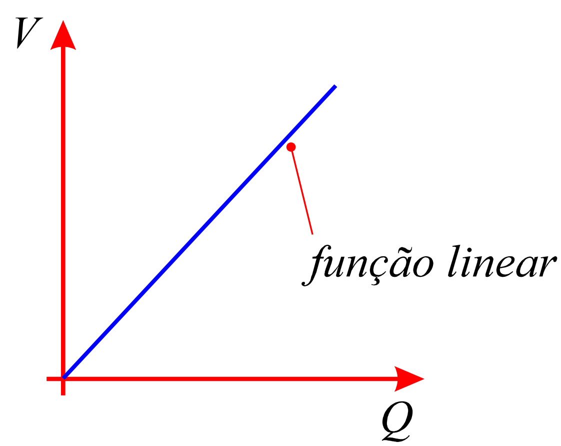

Fig.2 Representação gráfica da **Eq.(1)**.

RELAÇÃO ENTRE TENSÃO E CORRENTE

A quantidade de carga adicionada à armadura positiva do capacitor em um determinado intervalo de tempo depende da corrente de carga. Dessa forma, um alto valor de corrente implica um rápido aumento da quantidade de carga armazenada na armadura positiva e vice-versa. Da relação linear entre tensão e carga armazenada, expressa pela **Eq.(1)**, pode-se concluir que:

Baixa corrente de carga $\Rightarrow$ Carga armazenada aumenta lentamente $\Rightarrow$ Diferença de potencial aumenta lentamente

Alta corrente de carga $\Rightarrow$ Carga armazenada aumenta rapidamente $\Rightarrow$ Diferença de potencial aumenta rapidamente

A **Fig.3** ilustra a dependência com o tempo da tensão no capacitor como função da corrente que flui entre seus terminais.

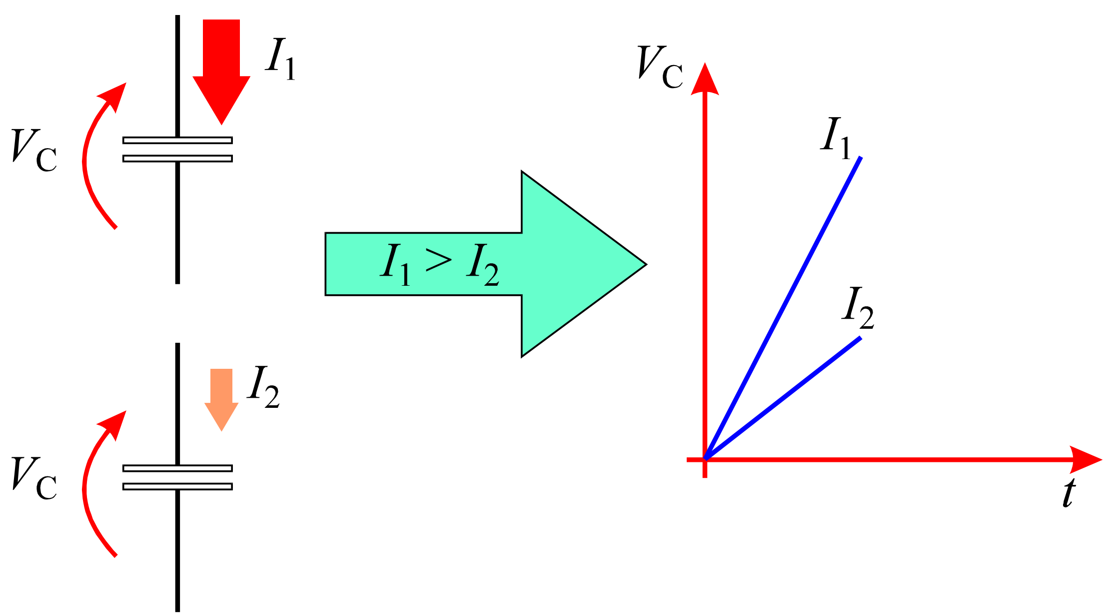

Fig.3 Variação da tensão como função do tempo para níveis distintos da corrente no capacitor.

Pelo que foi exposto anteriormente, conclui-se que a rapidez com que o capacitor se carrega depende fundamentalmente da corrente de carga, sendo este o princípio que estabelece a não-linearidade da dependência temporal da tensão ou da carga armazenada durante o processo de carga do capacitor.

O circuito mostrado na **Fig.4** facilita a análise da dinâmica de carga do capacitor, ou seja, o processo de variação da carga armazenada ou da tensão no capacitor como função do tempo.

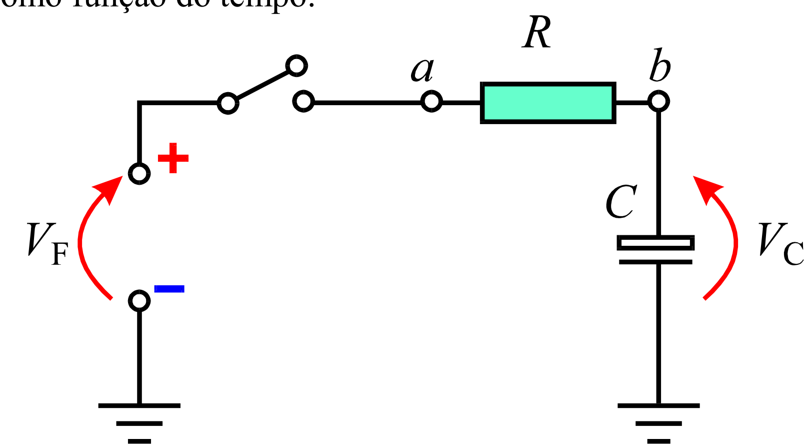

Fig.4 Circuito utilizado para a análise da dinâmica de carga de um capacitor.

Admitindo-se que o capacitor na **Fig.4** esteja inicialmente descarregado, a condição inicial para os parâmetros elétricos do circuito pode ser posta na forma

tensão da fonte	$\Rightarrow$	V_F
tensão no capacitor	$\Rightarrow$	V_{C0}
corrente de carga	$\Rightarrow$	I_0

Quando a chave é ligada no instante de tempo $t = 0$, por estar descarregado, o capacitor comporta-se efetivamente como um curto-circuito. Sob essas condições, a queda de tensão no capacitor sem mantém no valor $V_{C0} = 0$. Dessa forma a tensão V_F da fonte é aplicada diretamente aos terminais do resistor, ou seja, o terminal b do resistor fica submetido efetivamente a um potencial de 0 V, e a corrente inicial do circuito é simplesmente

$$I_0 = \frac{V_F}{R}$$

onde R é a resistência do resistor.

A medida que o tempo passa, o capacitor começa a se carregar e a queda de tensão entre seus terminais começa a aumentar. Como resultado, o potencial do terminal b do resistor aumenta. Representando a tensão no capacitor no tempo t por $V_C(t)$, conforme mostrado na **Fig.5**, a tensão sobre o resistor no tempo t é dada por

$$V_R(t) = V_F - V_C(t)$$

e a corrente do circuito no tempo *t* pode ser obtida da relação

$$I(t) = \frac{V_F - V_C(t)}{R} \tag{2}$$

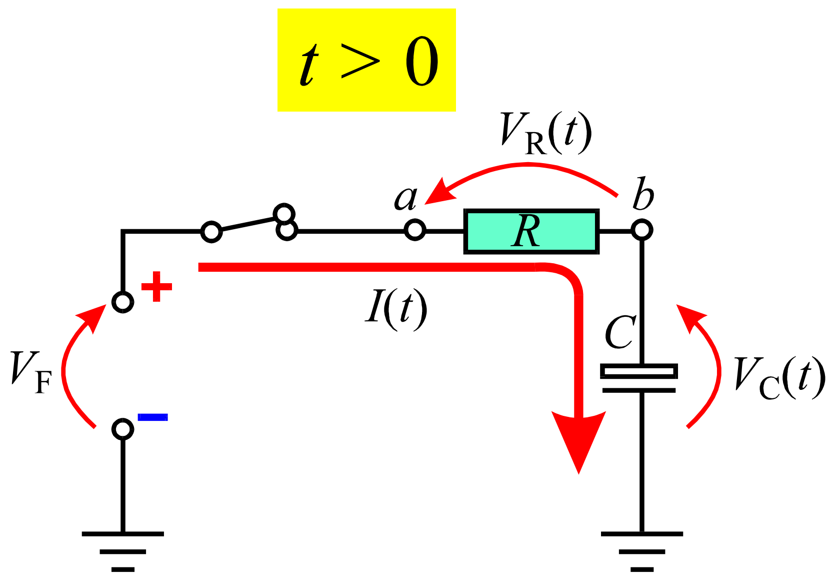

Fig.5 Circuito da **Fig.4** após ligação da chave.

A **Fig.6** ilustra qualitativamente a dependência da corrente de carga e da tensão no capacitor como função do tempo. Esses parâmetros elétricos estão aí representados por valores percentuais.

Como se pode observar no gráfico da **Fig.6**, imediatamente após o fechamento da chave, a corrente no circuito é máxima, visto que a queda de tensão no capacitor é nula em t = 0. Esse alto valor de corrente faz que o capacitor comece a se carregar rapidamente, e como previsto pela **Eq.(1)**, isso provoca um rápido aumento da queda de tensão no capacitor.

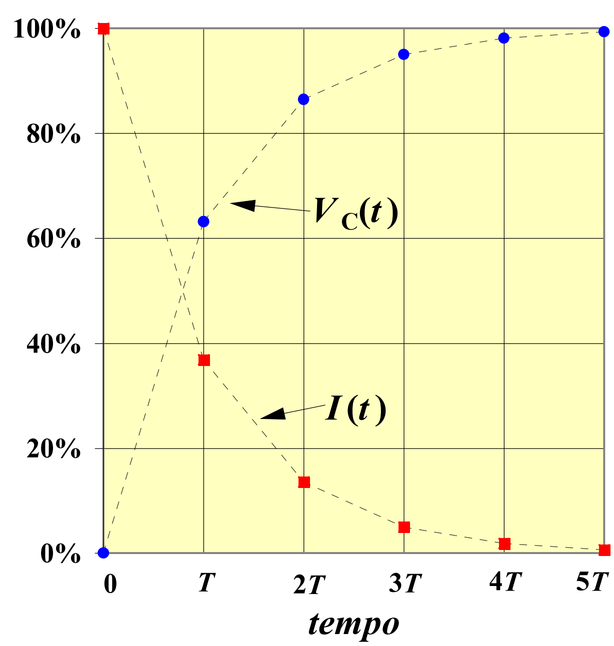

Fig.6 Valores percentuais da corrente e da tensão no capacitor da **Fig.5** em diferentes instantes de tempo.

No gráfico da **Fig.6**, a queda de tensão atinge pouco mais de 60% de seu valor máximo no instante de tempo $t = T$. Esse aumento na queda de tensão reduz o numerador da **Eq.(2)**, o que provoca uma redução na corrente para menos de 40% de seu valor máximo no instante de tempo $t = T$. Com essa redução de corrente, a partir de $t = T$ o capacitor se carrega um pouco mais lentamente e pela **Eq.(1)** a queda de tensão também deve aumentar de forma mais lenta. No instante de tempo $t = 2T$ a queda de tensão no capacitor atinge um pouco mais de 80% de seu valor máximo e a corrente do circuito fica reduzida a pouco menos de 20% de seu valor inicial.

O processo descrito anteriormente continua até que, após decorrido certo tempo, o capacitor esteja totalmente carregado. Nessas condições a queda de tensão no capacitor atinge um valor que não mais varia no tempo, e a corrente no circuito se reduz a um valor nulo.

Pela **Eq.(2)**, o valor final a tensão V_{Cf} no capacitor, necessária para produzir uma corrente nula no circuito, pode ser obtida da condição

$$\frac{V_{\mathrm{F}} - V_{\mathrm{Cf}}}{R} = 0 \Rightarrow V_{\mathrm{F}} - V_{\mathrm{Cf}} = 0$$

$$\boxed{\Rightarrow \quad V_{\mathrm{Cf}} = V_{\mathrm{F}}}$$

ou seja, o valor final da queda de tensão no capacitor é igual à tensão da fonte.

Diminuindo os intervalos de tempo entre medições dos valores de tensão no capacitor e de corrente no circuito, resultaria em variações mais graduais daqueles parâmetros, conforme ilustrado na gráfico da **Fig.7**.

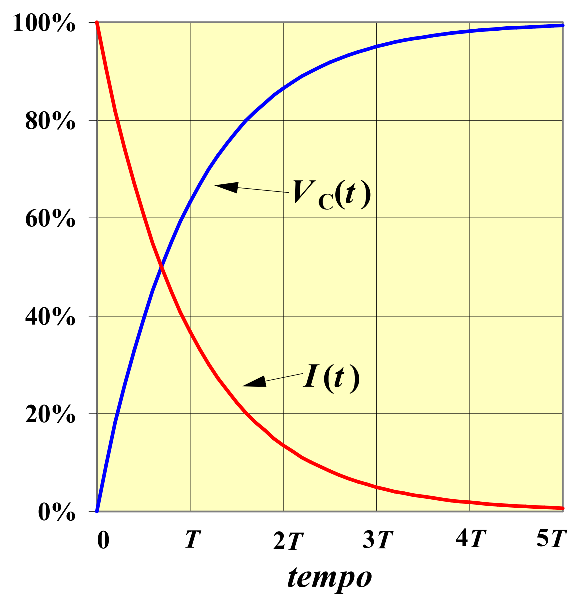

Fig.7 Dependência temporal da corrente e tensão no capacitor da **Fig.5**.

<u>Exemplo 1:</u> Para o circuito mostrado na **Fig.8**, determine:

a) A corrente inicial do circuito, imediatamente após o fechamento da chave.
b) A carga armazenada na armadura positiva do capacitor no equilíbrio.

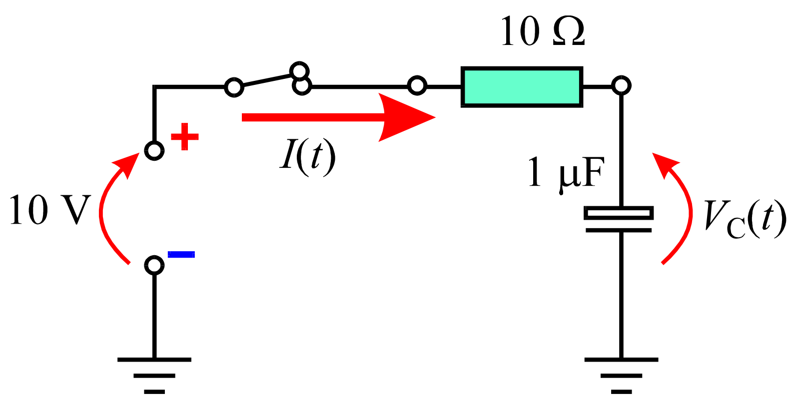

Fig.8 Circuito *RC* para o **Exemplo 1**.

De acordo com a **Fig.8**, tem-se que:

$C = 1\ \mu\text{F} = 10^{-6}\ \text{F}$
$R = 10\ \Omega$
$V_F = 10\ \text{V}$

a) No tempo $t = 0$, após o fechamento da chave, a queda de tensão no capacitor é nula e a **Eq.(2)** fornece

$$I(t=0) = I_0 = \frac{V_F - V_C(0)}{R} = \frac{10\text{V} - 0\text{V}}{10\Omega}$$

$$\boxed{\Rightarrow I_0 = 1\ \text{A}}$$

b) No equilíbrio a corrente no circuito é nula e a queda de tensão no capacitor assume o valor final

$$V_{Cf} = V_F = 10\text{V}$$

A relação entre os valores de equilíbrio da carga armazenada Q_f e a queda de tensão no capacitor V_{Cf} é dada pela **Eq.(1)**,

$$V_{Cf} = \frac{Q_f}{C} \quad \Rightarrow \quad Q_f = CV_{Cf}$$

e utilizando o valor de C fornecido anteriormente resulta

$$Q_{\mathrm{f}} = 10^{-6}\,\mathrm{F} \times 10\,\mathrm{V} = 10^{-5}\,\mathrm{C}$$

ou alternativamente,

$$\boxed{\Rightarrow\ Q_{\mathrm{f}} = 10\,\mu\mathrm{C}}$$

Vale salientar que a forma geral de cada curva mostrada na **Fig.7** é independente do valor de tensão imposto pela fonte. No entanto, dependendo dos valores dos parâmetros R e C no circuito da **Fig.5**, as curvas da **Fig.7** podem se estender ou contrair horizontalmente, conforme discutido na seção seguinte.

CONSTANTE DE TEMPO

O tempo de ocorrência do processo de carga de um capacitor depende basicamente de dois parâmetros:

- Capacitância do capacitor.
- Resistência elétrica do circuito.

Os exemplos a seguir mostram de que forma se manifesta essa dependência.

Exemplo 2: Determinar qual dos circuitos mostrados na **Fig.9** irá produzir um carregamento mais rápido do capacitor.

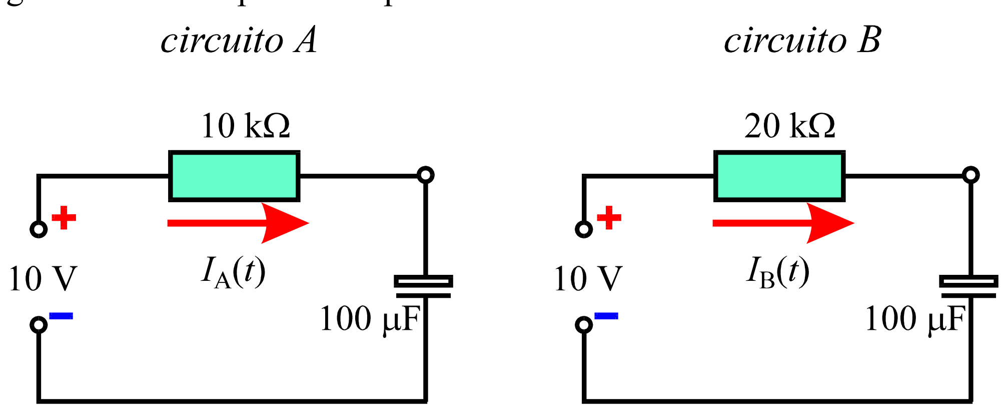

Fig.9 Circuitos RC para o **Exemplo 2**.

Para o circuito A da **Fig.9** a corrente inicial I_{A} é obtida da **Eq.(2)** com $V_{\mathrm{C}}(t{=}0){=}0$, resultando em

$$I_A(t=0) = I_{A0} = \frac{10-0}{10.000} = 0{,}001\ \text{A}$$

$$\boxed{\Rightarrow\ I_{A0} = 1\ \text{mA}}$$

Para o circuito *B* o mesmo procedimento fornece

$$I_B(t=0) = I_{B0} = \frac{10-0}{20.000} = 0{,}0005\ \text{A}$$

$$\boxed{\Rightarrow\ I_{B0} = 0{,}5\ \text{mA}}$$

Conclui-se portanto que a corrente inical no circuito *A* é duas vezes maior que aquela do circuito *B* da **Fig.9**. Conforme já discutido anteriormente, em um determinado instante de tempo, a rapidez com que a tensão e a carga armazenada no capacitor aumentam, é proporcional à corrente no circuito nesse instante de tempo. Da relação obtida entre correntes iniciais, pode-se afirmar que o capacitor do circuito *A* começa a se carregar duas vezes mais rapidamente do que o capacitor do circuito *B* da **Fig.9**.

As **Fig.10** e **11** mostram a dependência com o tempo da corrente e tensão no capacitor em cada configuração de circuito.

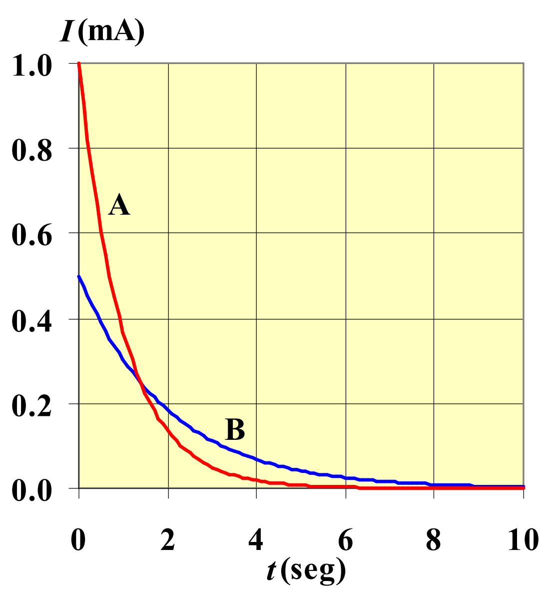

Fig.10 Dependência temporal da corrente nos circuitos da **Fig.9**.

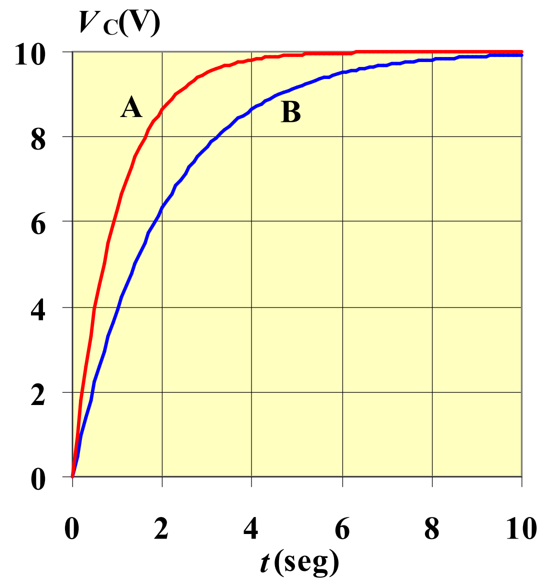

Fig.11 Dependência temporal da tensão nos circuitos da **Fig.9**.

Note-se que a corrente final tende a um valor nulo e a tensão final tende ao valor de 10 V, em ambos os casos. No entanto, os tempos de ocorrência desses eventos são distintos. Mais precisamente, o processo referente ao circuito *A* ocorre mais rapidamente que aquele relacionado ao circuito *B* da **Fig.9**.

Representando o tempo de carga do capacitor pelo parâmetro T_{carga}, o resultado do **Exemplo 2** sugere a seguinte dependência entre os parâmetros T_{carga} e R:

$$R \uparrow \Rightarrow T_{carga} \uparrow$$

$$R \downarrow \Rightarrow T_{carga} \downarrow$$

ou equivalentemente:

O tempo de carga do capacitor em um circuito RC é diretamente proporcional à resistência elétrica do circuito.

Exemplo 3: Determinar qual dos circuitos mostrados na **Fig.12** irá produzir um carregamento mais rápido do capacitor.

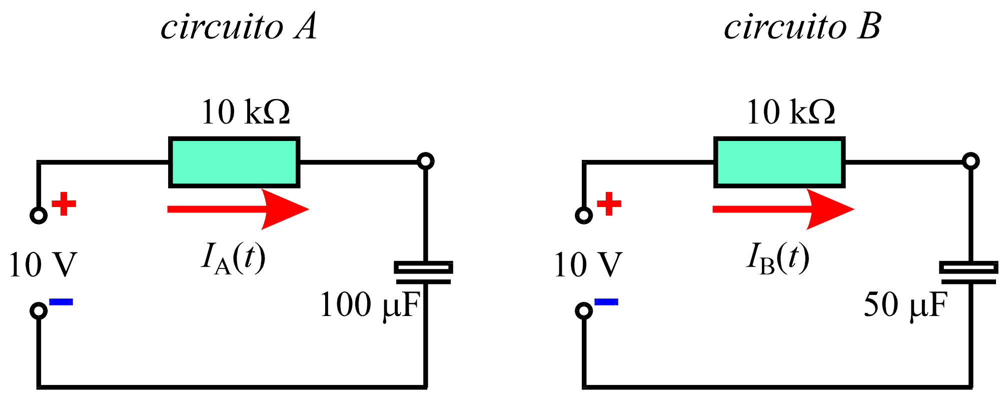

Fig.12 Circuitos *RC* para o **Exemplo 3**.

Ambos os circuitos da **Fig.12** exibem a mesma corrente inicial e a mesma tensão final no capacitor, ou seja,

$$\boxed{I_{A0} = I_{B0} = 1 \text{ mA}}$$

$$\boxed{V_{Cf} = 10 \text{ V}}$$

Pela **Eq.(1)** o capacitor do circuito *A* armazenará uma carga final

$$Q_{Af} = C_A V_{Cf} = 100 \times 10^{-6} \times 10 = 0{,}001 \text{ C} = 1 \text{ mC}$$

e o capacitor do circuito *B*, uma carga final

$$Q_{Bf} = C_B V_{Cf} = 50 \times 10^{-6} \times 10 = 0{,}0005 \text{ C} = 0{,}5 \text{ mC}$$

o que permite obter

$$\boxed{\Rightarrow \quad Q_{Af} = 2Q_{Bf}}$$

Conclui-se portanto que a carga final armazenada no capacitor do circuito *A* é duas vezes maior que aquela correspondente ao capacitor do circuito *B* da **Fig.12**. Como ambos os circuitos exibem o mesmo valor inicial de corrente, conclui-se que o capacitor do circuito *A* necessita um tempo duas vezes maior para se carregar do que o capacitor do circuito *B* da **Fig.12**.

A **Fig.13** mostra as dependências temporais da corrente, tensão e carga armazenada no capacitor em cada configuração de circuito.

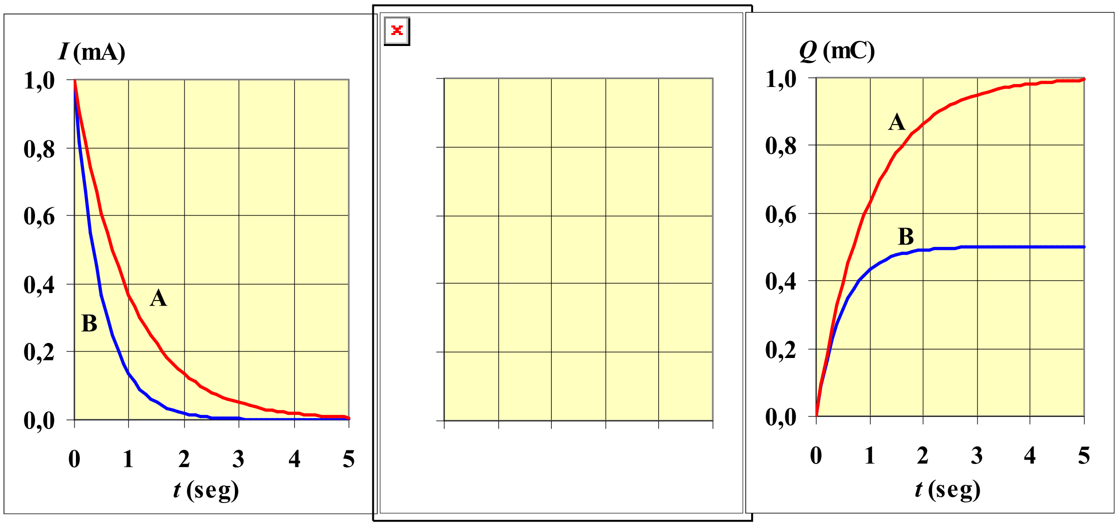

Fig.13 Dependências temporais da corrente, tensão e carga armazenada no capacitor dos circuitos da **Figs.12**.

Um exame da **Fig.13** permite extrair as seguintes observações:

- Ambos os circuitos exibem a mesma corrente inicial.
- Ambos os circuitos exibem a mesma tensão final no capacitor.
- As cargas finais nos capacitores diferem por um fator de dois.
- Tempos distintos são necessários para se atingir o equilíbrio em cada circuito.

O resultado do **Exemplo 3** sugere a seguinte dependência entre os parâmetros T_{carga} e C:

$$C \uparrow \;\Rightarrow\; T_{\text{carga}} \uparrow$$

$$C \downarrow \;\Rightarrow\; T_{\text{carga}} \downarrow$$

ou equivalentemente:

O tempo de carga do capacitor em um circuito RC é diretamente proporcional à capacitância do circuito.

As relações de proporcionalidade obtidas a partir dos **Exemplos 2** e **3** permitem estabelecer a seguinte relação:

O tempo de carga do capacitor em um circuito RC é diretamente proporcional ao produto resistência×capacitância do circuito.

Pode-se mostrar, a partir de uma análise dimensional das unidades de resistência elétrica e de capacitância, que a unidade de tempo pode ser obtida como o produto daquelas outras duas unidades. Por exemplo,

$$1\,\text{ohm} \times 1\,\text{farad} = 1\,\text{segundo}$$

Essa relação entre dimensões, juntamente com a relação de proporcionalidade existente entre o tempo de carga do capacitor e o produto *RC*, obtida anteriormente, permite definir um tempo característico *T*, denominado de **constante *RC*** do circuito, a partir da relação simples

$$T = RC \qquad (3)$$

O tempo característico *T* dado pela **Eq.(3)** é uma medida de quão rápido ou lento será o processo de carga de um capacitor em um circuito *RC*, após submetido a uma alimentação externa.

Por exemplo, a constante *RC* de um circuito formado pela combinação de um resistor de 10 kΩ em série com um capacitor de 100μF vale

$$T = 10^4\,\Omega \times 100 \times 10^{-6}\,\text{F} = 100 \times 10^{-2}\,\Omega \times \text{F} = 1\ \text{seg}$$

TEMPO DE CARGA DE UM CAPACITOR

Um capacitor ligado a uma fonte *cc* através de um resistor, estará completamente carregado após algum tempo. Esse tempo de carga T_{carga} está diretamente relacionado à constante *T*=*RC* do circuito.

Pode-se mostrar, através da **teoria dos circuitos**, que após transcorrido um tempo equivalente a 5*RC*, o capacitor de um circuito *RC* série estará 99,3% carregado. Na prática esse alto grau de carregamento pode ser considerado como sendo total, o que permite definir

$$T_{\text{carga}} = 5RC \qquad (4)$$

Por exemplo, para o circuito da **Fig.14**, o tempo total de carga do capacitor vale

$$T_{carga} = 5\times10^{-4}\ \mathrm{F}\times10^{4}\ \Omega = 5\ \mathrm{seg}$$

ou seja, transcorridos 5 segundos após o fechamento da chave *S*, a tensão sobre as armaduras do capacitor será praticamente de 10 V.

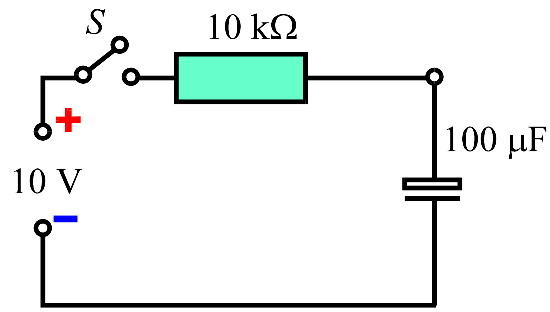

Fig.14 Exemplo de um circuito *RC* série.

Conforme já discutido anteriormente, o processo de carga de um capacitor é não-linear, ou seja, a tensão sobre o capacitor aumenta não-linearmente com o tempo. A **Tabela 1** apresenta os valores percentuais de tensão no capacitor como função do tempo.

Tabela 1 Valores percentuais da tensão no capacitor de um circuito *RC* como função do tempo.

t	V_C/V_F (%)
0	0
RC	63,2 %
$2RC$	86,5 %
$3RC$	95,0 %
$4RC$	98,2 %
$5RC$	99,3 % ≈ 100 %

Os percentuais listados na **Tabela 1** são obtidos com o uso da teoria dos circuitos aplicada ao circuito *RC* série, e correspondem a alguns dos pontos representados anteriormente no gráfico da **Fig.7**.

<u>Exemplo 4:</u> Dado o circuito mostrado na **Fig.15**, determinar:

a) A constante de tempo.

b) A tensão no capacitor após decorridas duas constantes de tempo.

c) O tempo de carga do capacitor.

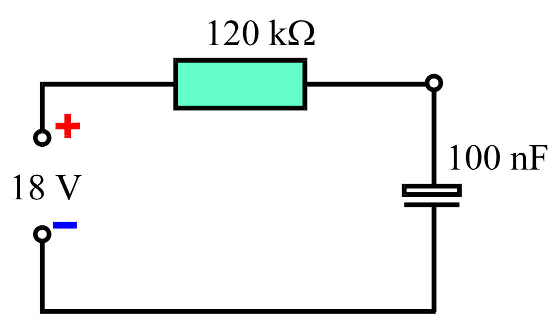

Fig.15 Circuito *RC* série referente ao **Exemplo 4**.

O circuito da **Fig.15** exibe os seguintes parâmetros:

$$V_F = 18 \text{ V}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$R = 120 \text{ k}\Omega$$

a) A constante de tempo do circuito é obtida da **Eq.(3)**:

$$\begin{aligned} T = RC &= 120\text{k}\Omega \times 100\text{nF} \\ &= \left(120 \times 10^3\right) \times \left(100 \times 10^{-9}\right) \text{ seg} \\ &= \left(1{,}2 \times 10^5\right) \times 10^{-7} \text{ seg} \end{aligned}$$

$$T = 1{,}2 \times 10^{-2} \text{seg}$$

$$\boxed{\Rightarrow \; T = 12 \text{ mseg}}$$

b) A 4ª linha da **Tabela 1** fornece

$$t = 2RC \Rightarrow \frac{V_C}{V_F} = 86{,}5\% = 0{,}865$$

resultando em

$$V_C = 0{,}865 V_F$$

$$\boxed{\Rightarrow \; V_C = 15{,}6 \text{ V}}$$

c) O tempo de carga do capacitor é obtido com o uso da **Eq.(4)**:

$$T_{carga} = 5RC = 5 \times 12 \text{ mseg}$$

$$\boxed{\Rightarrow \; T_{carga} = 60 \text{ mseg}}$$

DESCARGA DE UM CAPACITOR

Em um circuito RC a **descarga** refere-se ao processo através do qual cada armadura do capacitor retorna a seu estado de neutralidade elétrica.

O processo de descarga é também um processo não-linear semelhante ao processo de carga de um capacitor. Em geral o processo de descarga transcorre através de um resistor de carga, que dissipa a energia armazenada no capacitor em forma de calor, conforme ilustrado na **Fig16**.

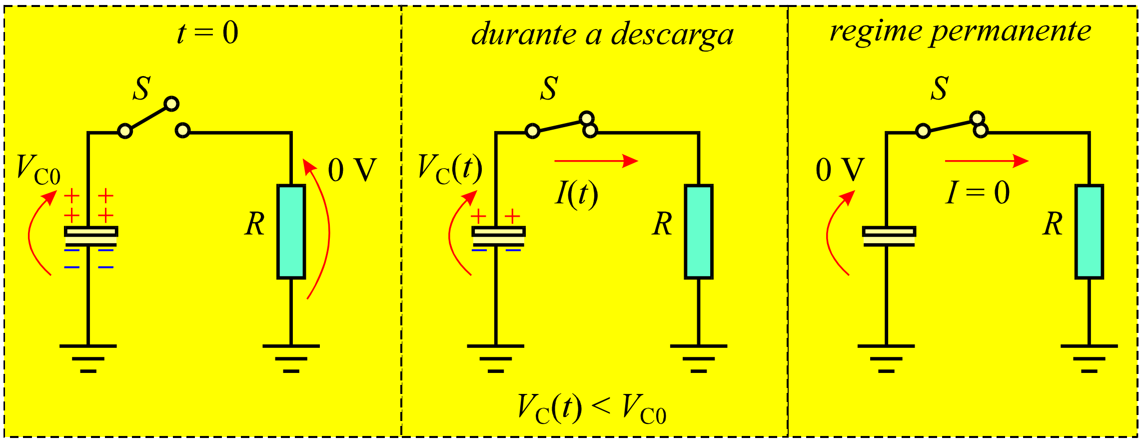

Fig.16 Processo de descarga de um capacitor através de um resistor.

O processo de descarga de um capacitor pode ser analisado com base na **Fig.17**.

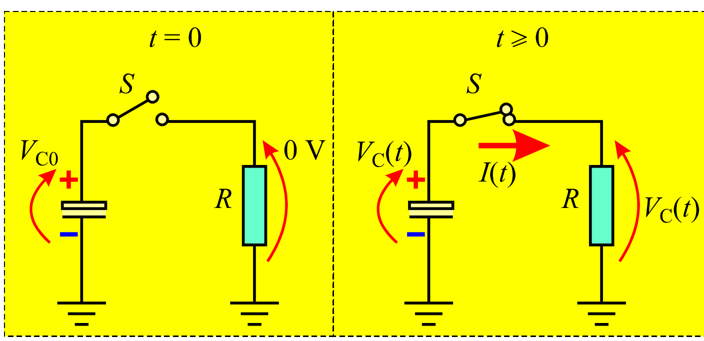

Fig.17 Circuito RC sem alimentação externa.

Como se pode observar na **Fig.17**, o capacitor está inicialmente carregado, apresentando uma tensão V_{C0} entre seus terminais. Com a chave S desligada, a queda de tensão no resistor e a corrente no circuito são nulas. Quando a chave é ligada no instante de tempo $t = 0$, a tensão V_{C0} é aplicada sobre o resistor e a corrente no circuito passa a assumir o seu valor máximo inicial

$$I_0 = \frac{V_{C0}}{R}$$

Durante um curto espaço de tempo a partir de $t = 0$, o capacitor começa a descarregar rapidamente, uma vez que a taxa de decréscimo da carga é proporcional a corrente no circuito. No entanto, o decréscimo de carga armazenada produz um decréscimo proporcional de tensão no capacitor, conforme estabelecido pela **Eq.(1)**. Como em qualquer instante de tempo $t > 0$ a tensão no capacitor e corrente no resistor estão relacionadas por

$$I(t) = \frac{V_C(t)}{R}$$

qualquer decréscimo de tensão produz um decréscimo de corrente no circuito. Isso por sua vez provoca uma diminuição na taxa de decréscimo da carga armazenada ou tensão no capacitor. Dessa forma o processo de descarga do capacitor ocorre de forma não-linear, uma vez que as taxas de decréscimo da carga armazenada ou tensão no capacitor dependem da corrente instantânea no circuito.

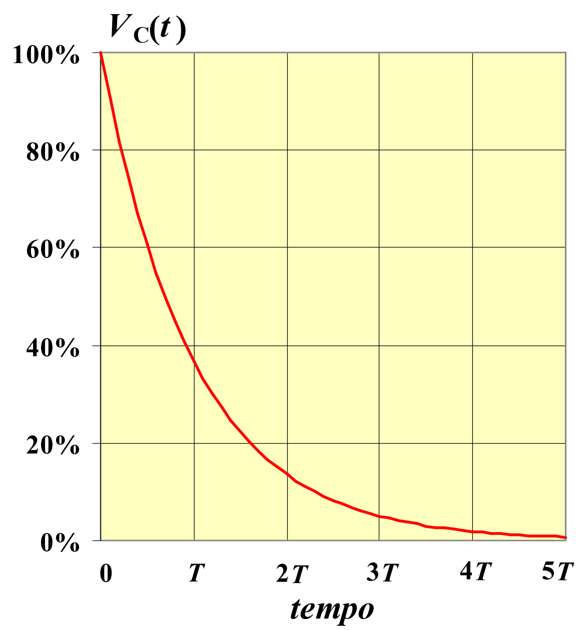

Fig.18 Dependência temporal da tensão no capacitor da **Fig.17**.

A **Fig.18** ilustra a dependência da tensão no capacitor, relativamente ao seu valor inicial, como função do tempo. A corrente no circuito, relativa ao seu valor máximo, segue uma curva semelhante. Como pode ser aí observado, imediatamente após o fechamento da chave, a tensão no capacitor, juntamente com a corrente no circuito, tendem a diminuir de uma forma não-linear até atingirem um valor nulo, correspondente ao descarregamento total do capacitor.

O processo de descarga do capacitor de um circuito *RC* série obedece aos mesmos princípios que governam o processo de carga de um circuito *RC* alimentado externamente. Conseqüentemente, o tempo de descarga T_{desc} do circuito também corresponde a 5 constantes *RC*, ou seja,

$$T_{desc} = 5RC \qquad (5)$$

A **Tabela 2** apresenta os valores percentuais de tensão no capacitor como função do tempo, durante o processo de descarga.

Tabela 2 Percentuais da tensão no capacitor de um circuito *RC* série durante a descarga.

t	V_C/V_{C0} **(%)**
0	0
RC	36,8 %
2*RC*	13,5 %
3*RC*	5,0 %
4*RC*	1,8 %
5*RC*	0,7 % ≈ 0 %

Exemplo 5: Dado o circuito mostrado na **Fig.19**, determinar:

a) A constante de tempo do circuito.

b) A tensão no capacitor após duas constantes de tempo.

c) O tempo de descarga do capacitor após o fechamento da chave.

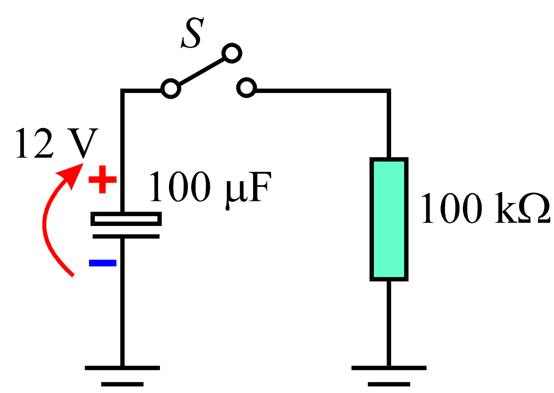

Fig.19 Circuito *RC* série referente ao **Exemplo 5**.

O circuito da **Fig.19** exibe os seguintes parâmetros,

$$C = 100\ \mu\text{F}$$
$$R = 100\ \text{k}\Omega$$

a) A constante de tempo do circuito é obtida da **Eq.(3)**:

$$\begin{aligned} T = RC &= 100\text{k}\Omega \times 100\mu\text{F} \\ &= \left(100 \times 10^{3}\right) \times \left(100 \times 10^{-6}\right)\ \text{seg} \\ &= 10^{5} \times 10^{-4}\ \text{seg} \end{aligned}$$

$$\boxed{\Rightarrow\ T = 10\ \text{seg}}$$

b) A 4ª linha da **Tabela 2** fornece

$$t = RC \Rightarrow \frac{V_C}{V_{C0}} = 13{,}5\% = 0{,}135$$

resultando em

$$V_C = 0{,}135 V_{C0} = 0{,}135 \times 12 \text{ V}$$

$$\boxed{\Rightarrow V_C = 1{,}62 \text{ V}}$$

c) O tempo de descarga do capacitor é obtido com o uso da **Eq.(5)**:

$$T_{desc} = 5RC = 5 \times 10 \text{ seg}$$

$$\boxed{\Rightarrow T_{desc} = 50 \text{ seg}}$$

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. Qual a relação existente entre tensão e carga armazenada na armadura positiva de um capacitor?

2. Qual é a carga armazenada na armadura positiva de um capacitor de 1 μF submetido a uma tensão de 5 V? E na armadura negativa?

3. Qual é a expressão para a constante de tempo de um circuito *RC* série?

4. Repita o **Exemplo 1** admitindo V_F = 20 V, R = 50 Ω e C = 10μF.

5. Para um circuito *RC* série alimentado externamente, qual é a expressão para o tempo de carga do capacitor?

6. Se um capacitor carregado for conectado a um resistor, formando um circuito fechado, qual é a constante de tempo e o tempo de descarga?

7. Para o **Exemplo 5**, admitindo C = 200μF e R = 50 kΩ:

   (a) qual é a tensão no capacitor após três constantes de tempo?

   (b) qual é a corrente no circuito após 3 constantes de tempo?

   (c) qual é o tempo de descarga do capacitor?

BIBLIOGRAFIA

SENAI/DN, Reparador de Circuitos Eletrônicos, Eletrônica Básica I, Rio de Janeiro. (Coleção Básica SENAI, Módulo I).

VAN VALKENBERG, NOOGER & NEVILLE, Eletricidade Básica vol.3, Rio de Janeiro, Freitas Bastos (1960)