

FUCO5A - Análise De Circuitos Elétricos 1

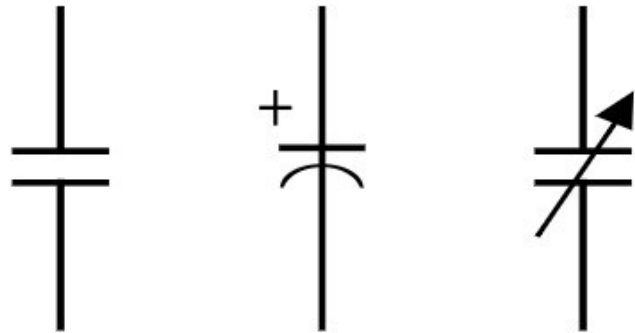
Aula 16

Prof.: Renan Silva Maciel

(slides adaptados de AC64-2018/1 – Prof. Maurício Zardo)

- **Tópicos:**
 - Características de Capacitores
 - Carga e descarga
 - Transitórios

- **Capacitor:**



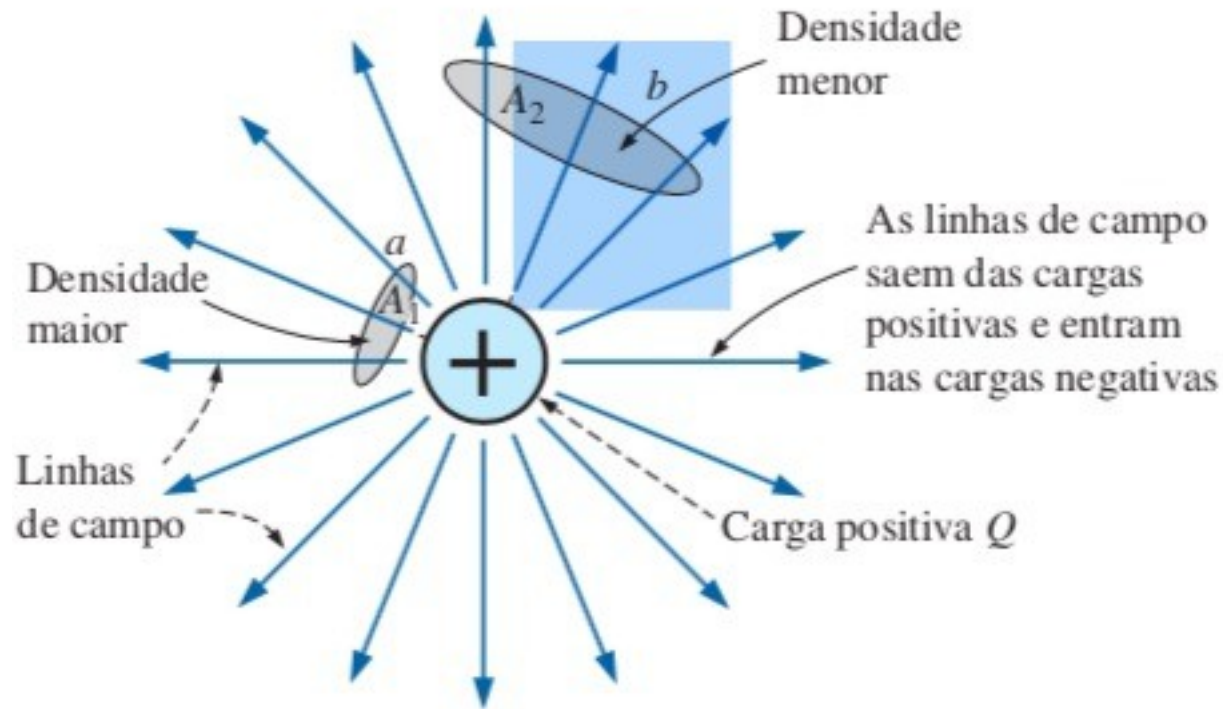
$$i = C \frac{dv}{dt}$$

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau + v(t_0)$$

- conjunto de condutores isolados entre si por meio de dielétricos e que tem como função armazenar carga e energia elétrica no campo eletrostático que se estabelece entre os condutores;

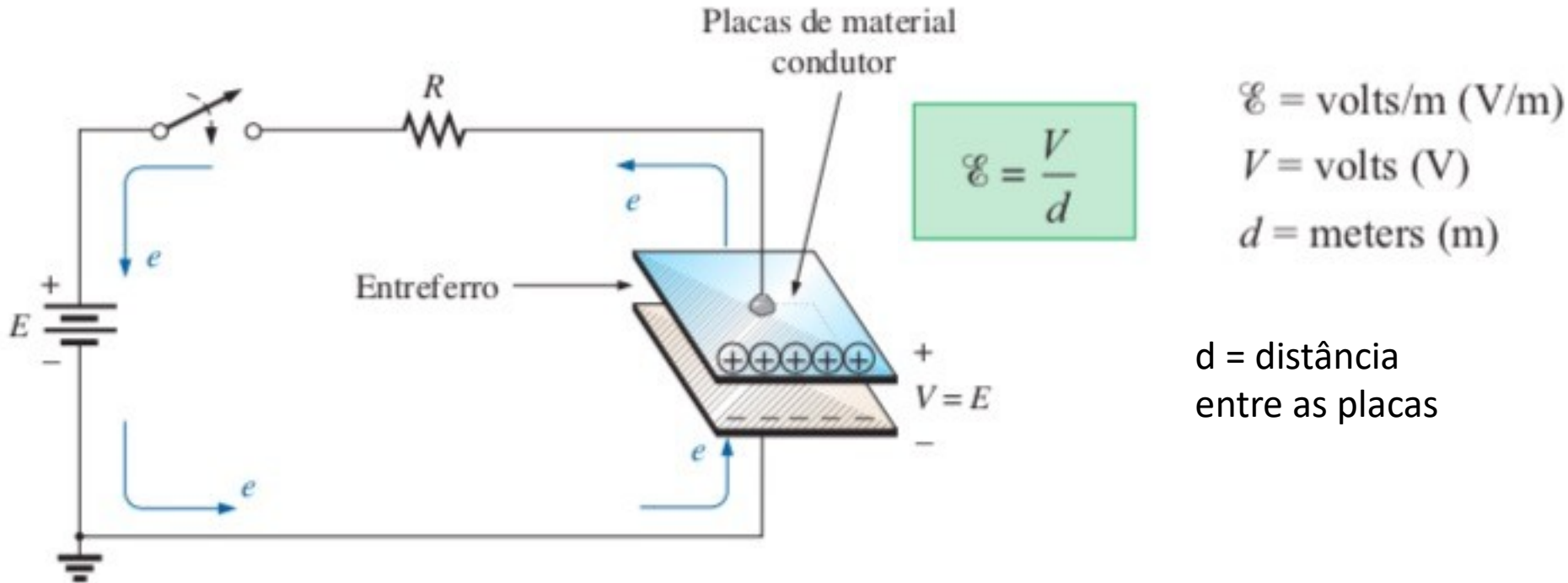
CAMPO ELÉTRICO

- Linhas indicam a intensidade do campo elétrico em torno do corpo carregado. Quanto maior a densidade das linhas de campo, mais intenso o campo elétrico.



CAPACITÂNCIA:

- Análise é estendida a superfícies carregadas de qualquer formato e tamanho.



- Placas de alumínio (o metal mais comumente usado na construção de capacitores)

- **Capacitância:**

- medida da quantidade de carga que o capacitor pode armazenar em suas placas: capacidade de armazenamento.

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

C = farads (F)

Q = coulombs (C)

V = volts (V)

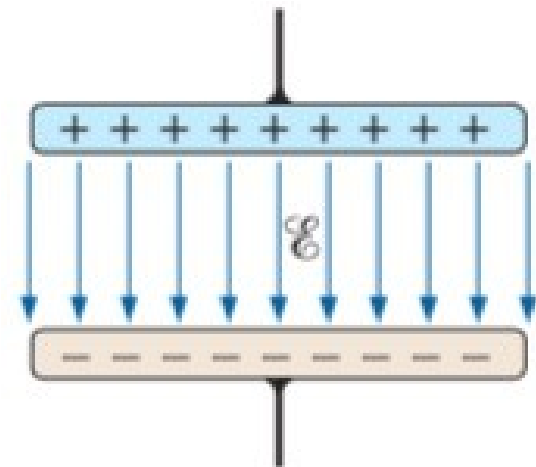
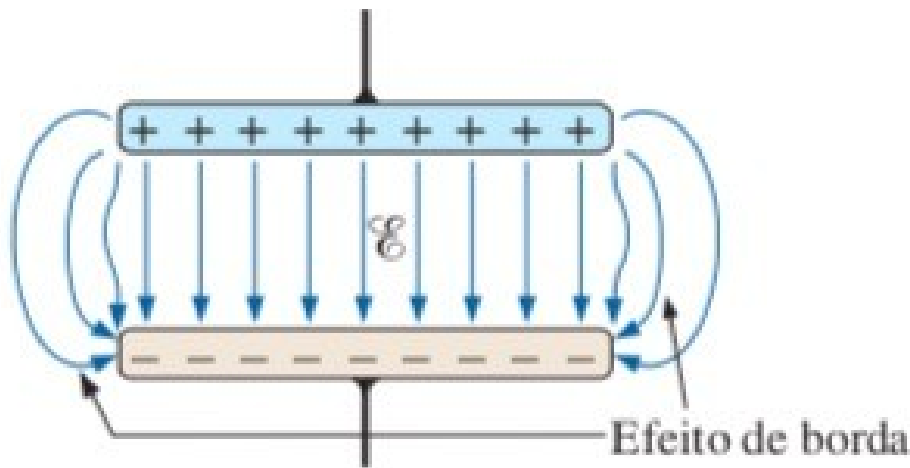
$$Q = CV$$

(coulombs, C)

- *quanto mais alta a capacitância de um capacitor, maior a quantidade de carga armazenada nas placas para a mesma tensão aplicada.*

- **Efeito de Borda:**

- ocorre na medida em que as linhas de campo que se originam nos pontos mais distantes da placa negativa se direcionam para completar a conexão



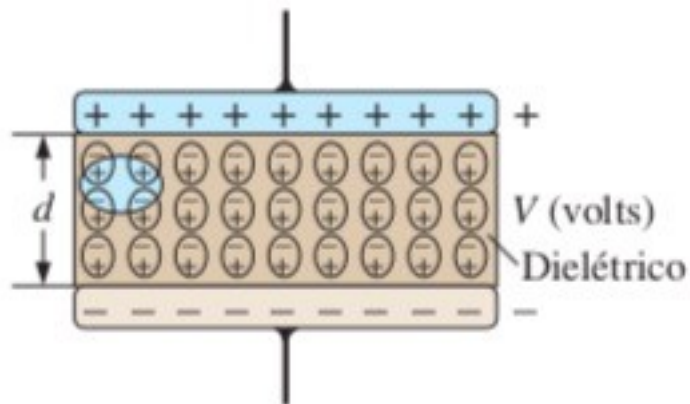
- pode ser ignorado na maioria das aplicações.

- **Materiais dielétricos:**

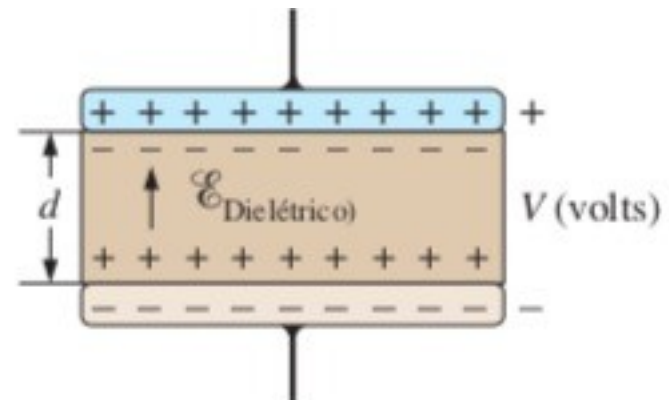
“di”: *oposição*

“elétrico”: *campo elétrico*

Para um material isolante, os elétrons não conseguem deixar seus átomos e migrar para a placa positiva.



dipolos se alinham



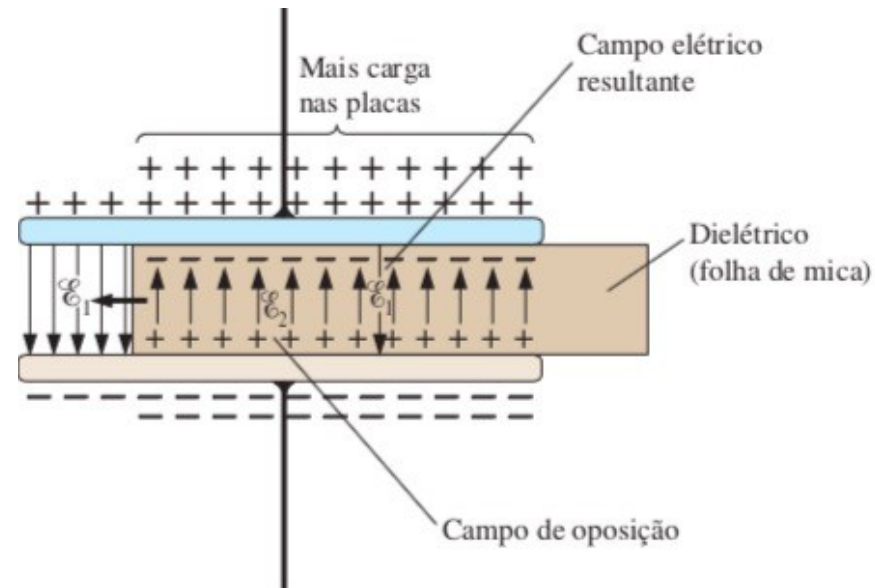
material *polarizado*

Diferentes materiais colocados entre placas estabelecem diferentes quantidades de carga adicional nas placas.

Dielétrico	ϵ_r (valores médios)
Vácuo	1,0
Ar	1,0006
Teflon®	2,0
Papel parafinado	2,5
Borracha	3,0
Polistireno	3,0
Óleo	4,0
Mica	5,0
Porcelana	6,0
Baquelite®	7,0
Óxido de alumínio	7
Vidro	7,5
Óxido de tântalo	30
Cerâmica	20 – 7.500
Titanato de bário e estrôncio (cerâmica)	7.500,0

O símbolo ϵ_r na Tabela é chamado de permissividade relativa (ou constante dielétrica).

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$



Tensão de ruptura:

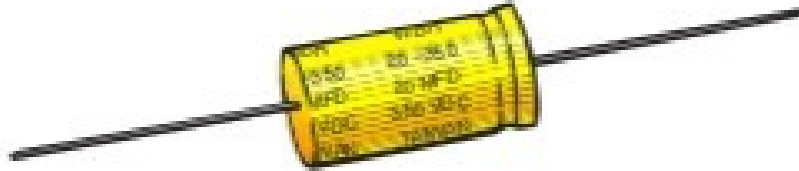
Potencial que, se aplicado através de seus terminais, romperá os elos.

(a corrente flui pelo dielétrico)

A tensão necessária por comprimento unitário é um indicativo da sua rigidez dielétrica.

Dielétrico	Rigidez dielétrica (valor médio) em volts/mil
Ar	75
Titanato de bário e estrôncio (cerâmica)	75
Cerâmica	75–1.000
Porcelana	200
Óleo	400
Baquelite®	400
Borracha	700
Papel parafinado	1.300
Teflon®	1.500
Vidro	3.000
Mica	5.000

- **Capacitores Eletrolíticos:**



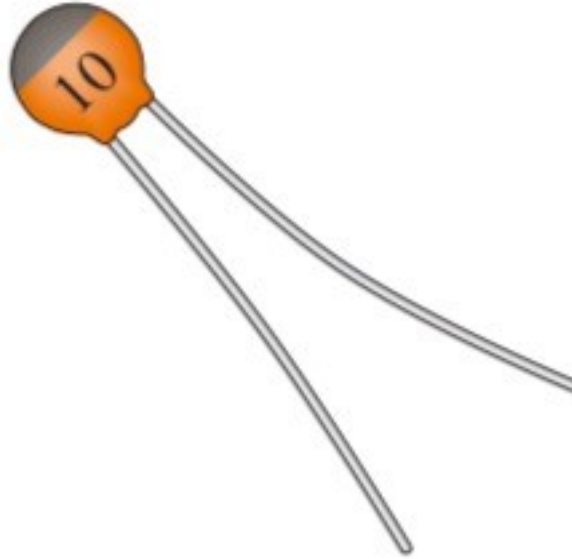
- Informações impressas no invólucro
- Devem estar conectados com o terminal negativo conectado ao terra ou ao ponto de potencial mais baixo.
- A faixa típica 100 pF a 100 μ F
- Tensões de trabalho: 5V a 450V.

- **Capacitores de filme, poliéster, polipropileno ou Teflon**



- Usam um processo de enrolamento ou empilhamento para aumentar a área de superfície.
- A faixa típica: $0,1 \mu\text{F}$ a $15.000 \mu\text{F}$
- Tensões de trabalho: poucos volts a 2.000 V.

- **Capacitores cerâmicos (disco)**



- usam um dielétrico de cerâmica, para utilizar os excelentes valores ϵ_r e altas tensões de trabalho.
- Faixa típica: 10 pF a 0,047 μF
- Tensão de trabalho: podem chegar a 10 kV.

- **Capacitores de mica**



- usam um dielétrico de mica que pode ser monolítico (chip único) ou empilhado. O tamanho relativamente pequeno
- Faixa típica: 2 pF a muitos μF
- Tensões de trabalho: até 20 kV.

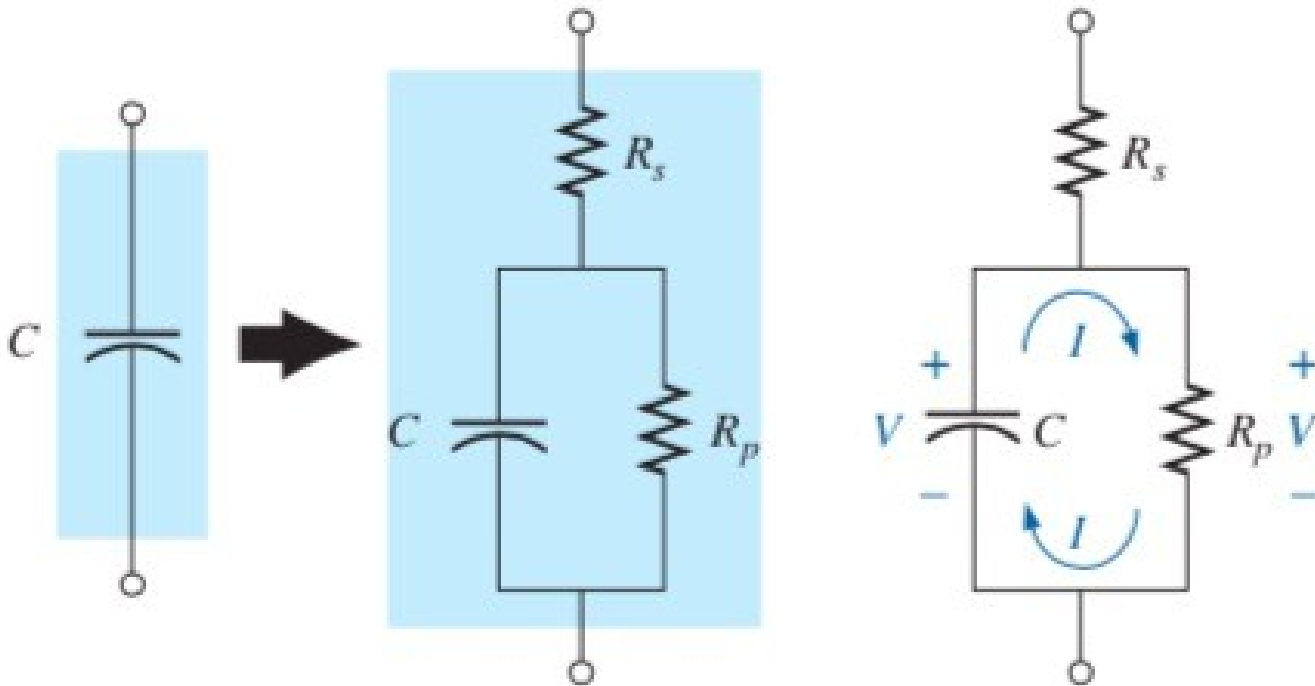
- Capacitores de óleo



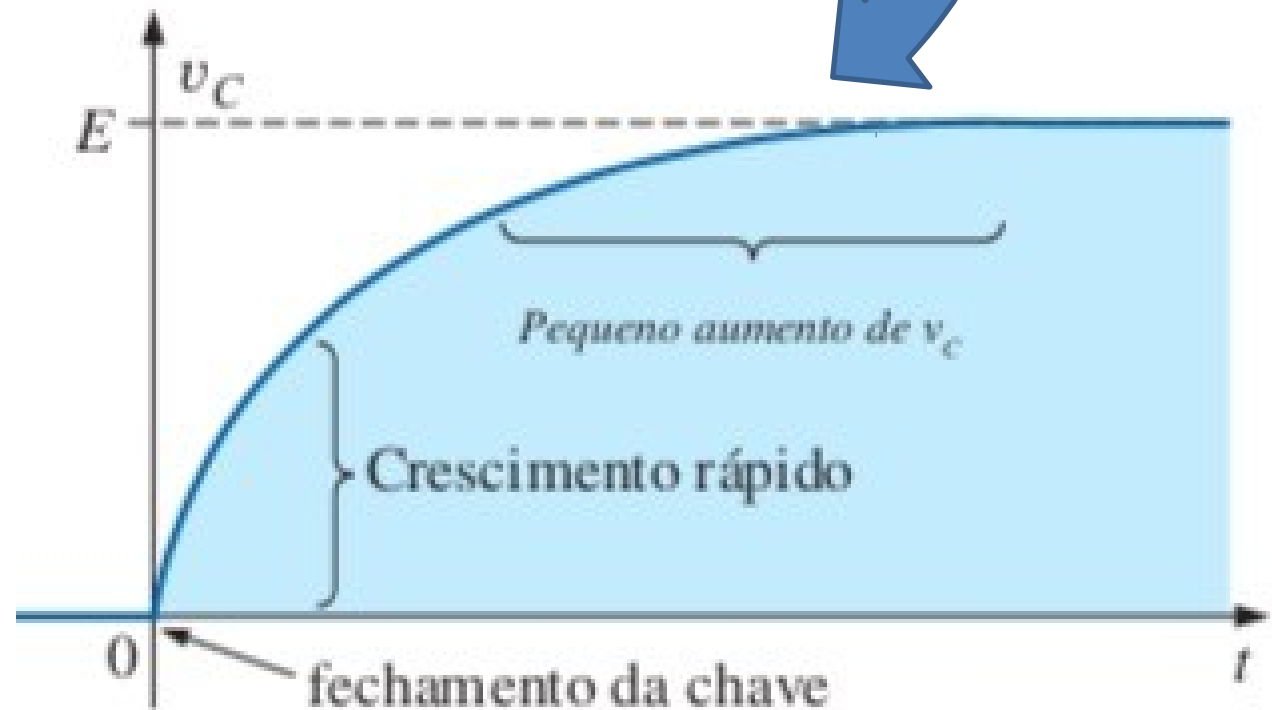
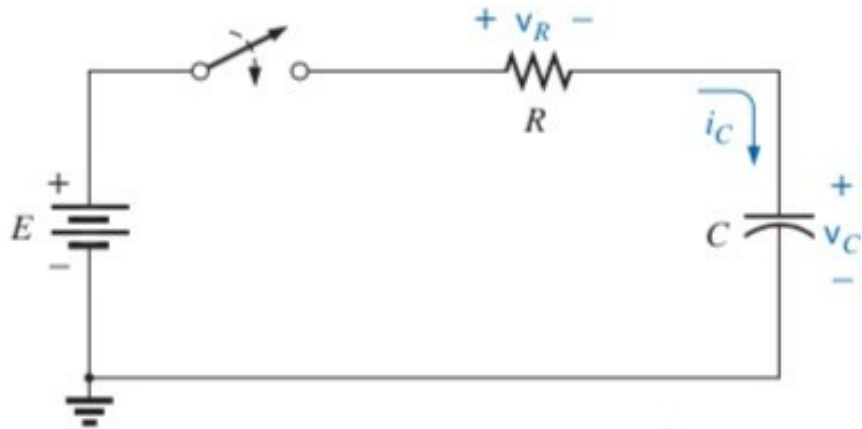
- Faixa típica: $0,001 \mu\text{F}$ a $1000 \mu\text{F}$
- Tensões de trabalho: até 150 kV.

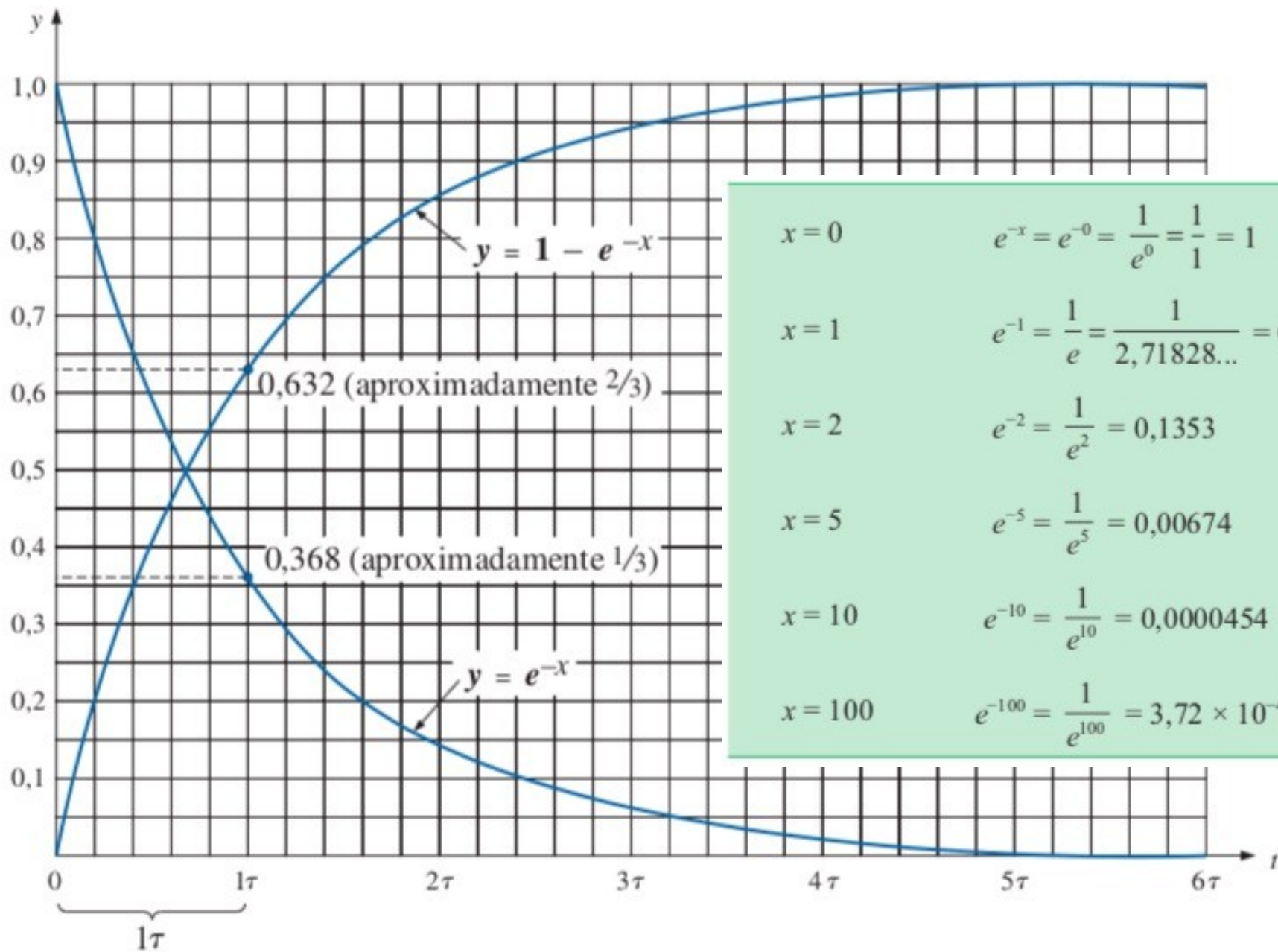
- **Capacitor Real:**

- Corrente de fuga
- ESR (resistência em série equivalente)

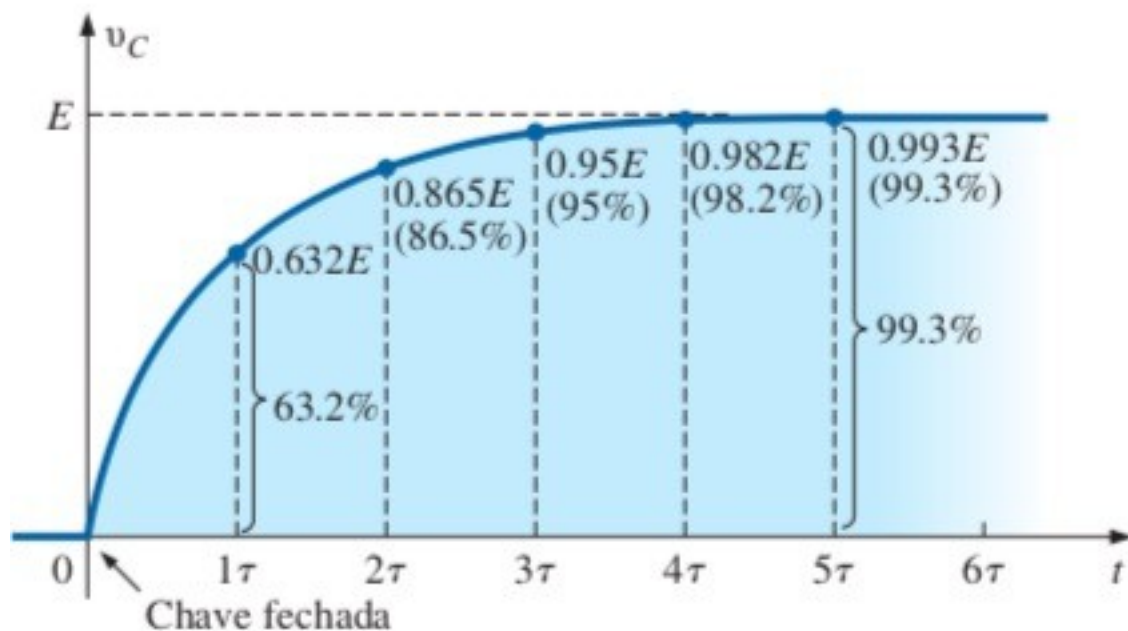


- TRANSITÓRIO: FASE DE CARGA





$x = 0$	$e^{-x} = e^{-0} = \frac{1}{e^0} = \frac{1}{1} = 1$
$x = 1$	$e^{-1} = \frac{1}{e} = \frac{1}{2,71828...} = 0,3679$
$x = 2$	$e^{-2} = \frac{1}{e^2} = 0,1353$
$x = 5$	$e^{-5} = \frac{1}{e^5} = 0,00674$
$x = 10$	$e^{-10} = \frac{1}{e^{10}} = 0,0000454$
$x = 100$	$e^{-100} = \frac{1}{e^{100}} = 3,72 \times 10^{-44}$



tensão através de um capacitor em um circuito CC é essencialmente a tensão aplicada após cinco constantes de tempo da fase de carga.

$$v_C = E(1 - e^{-t/\tau}) \quad \text{carga} \quad (\text{volts, V})$$

Constante de tempo

$$\tau = RC \quad (\text{tempo, s})$$

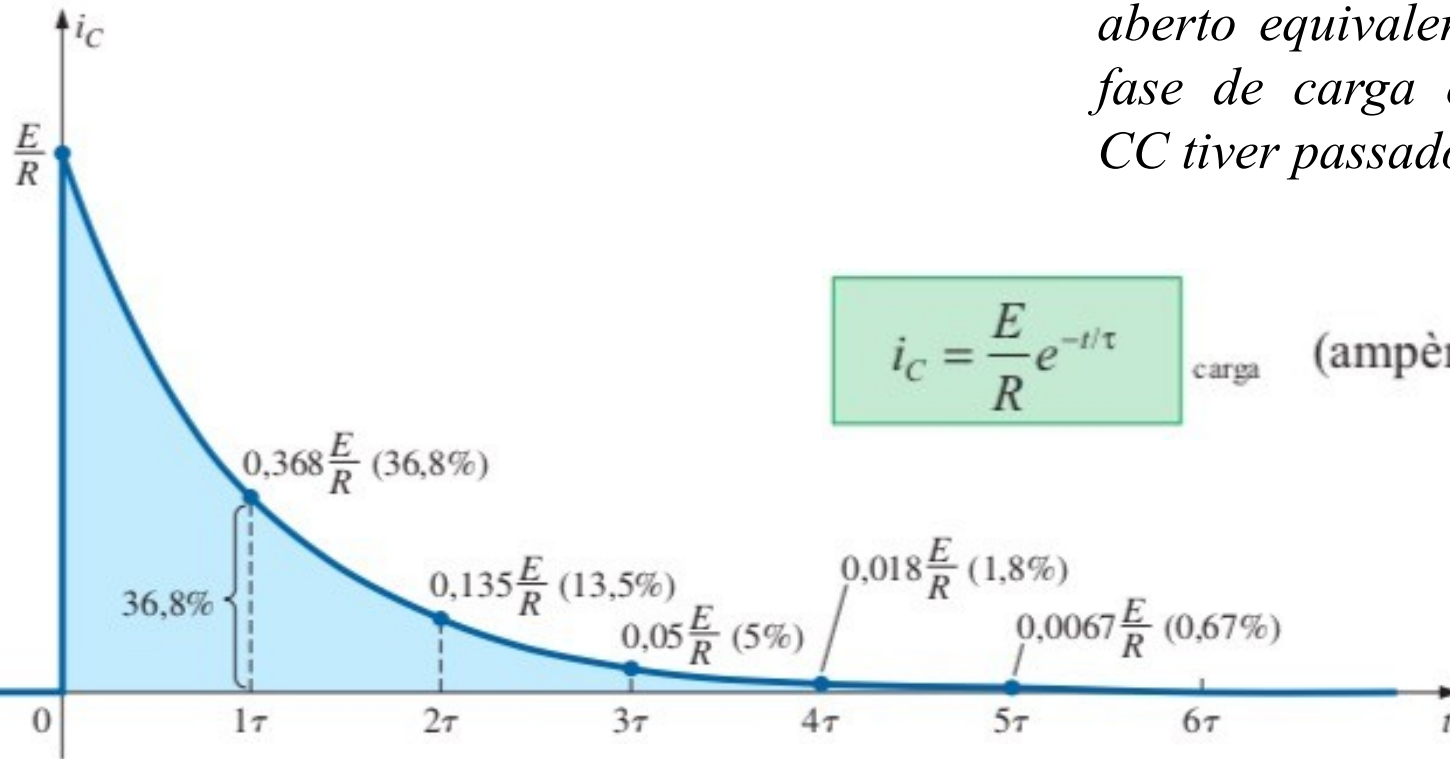
$$t = 1\tau$$

$$e^{-t/\tau} = e^{-\tau/\tau} = e^{-1} \cong 0,368$$

$$v_C = E(1 - e^{-t/\tau}) = E(1 - 0,368) = 0,632E$$

Corrente

Um capacitor pode ser substituído por um circuito aberto equivalente assim que a fase de carga em um circuito CC tiver passado.



$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \quad \text{carga (ampères, A)}$$

$$t = 0 \text{ s,}$$

$$e^{-t/\tau} = e^{-0} = 1$$

$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} = \frac{E}{R} (1) = \frac{E}{R}$$

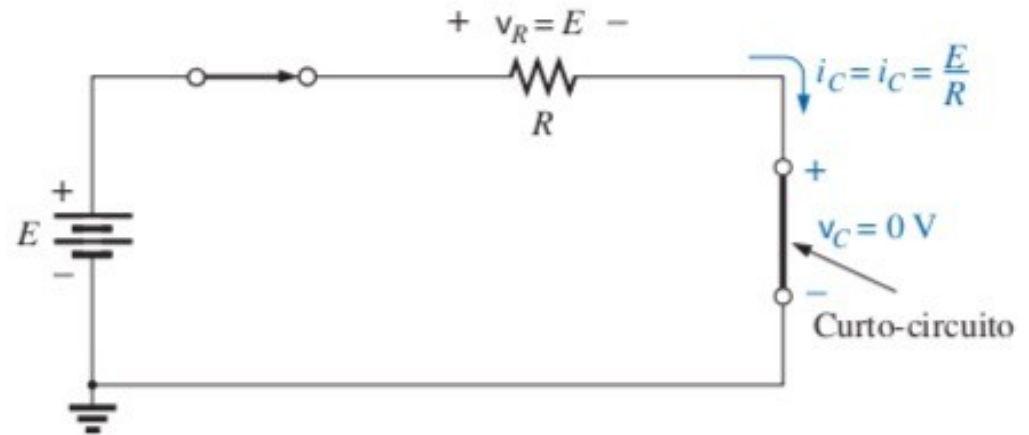
$$t = 1\tau$$

$$e^{-t/\tau} = e^{-1\tau/\tau} = e^{-1} \cong 0,368$$

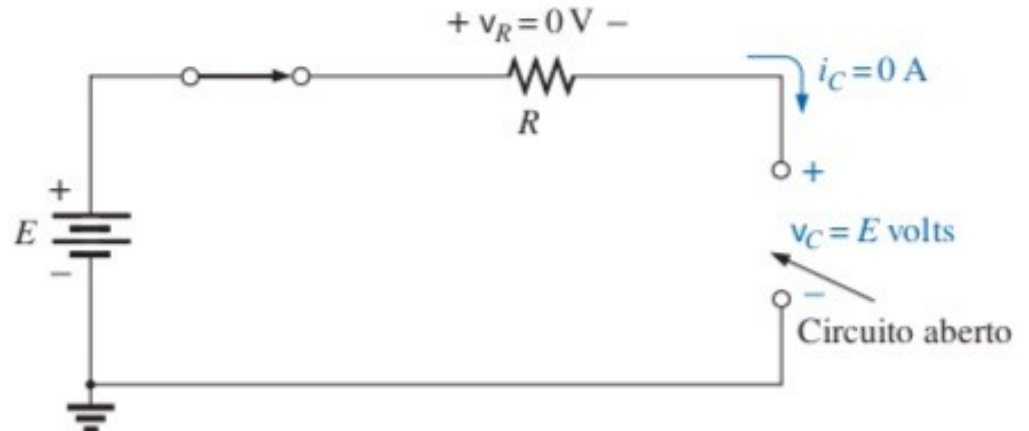
$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} = \frac{E}{R} (0,368) = 0,368 \frac{E}{R}$$

Capacitor: Carga e transitórios

capacitor tem as características de um curto-circuito equivalente no instante em que a chave é fechada em um circuito R-C em série sem carga.

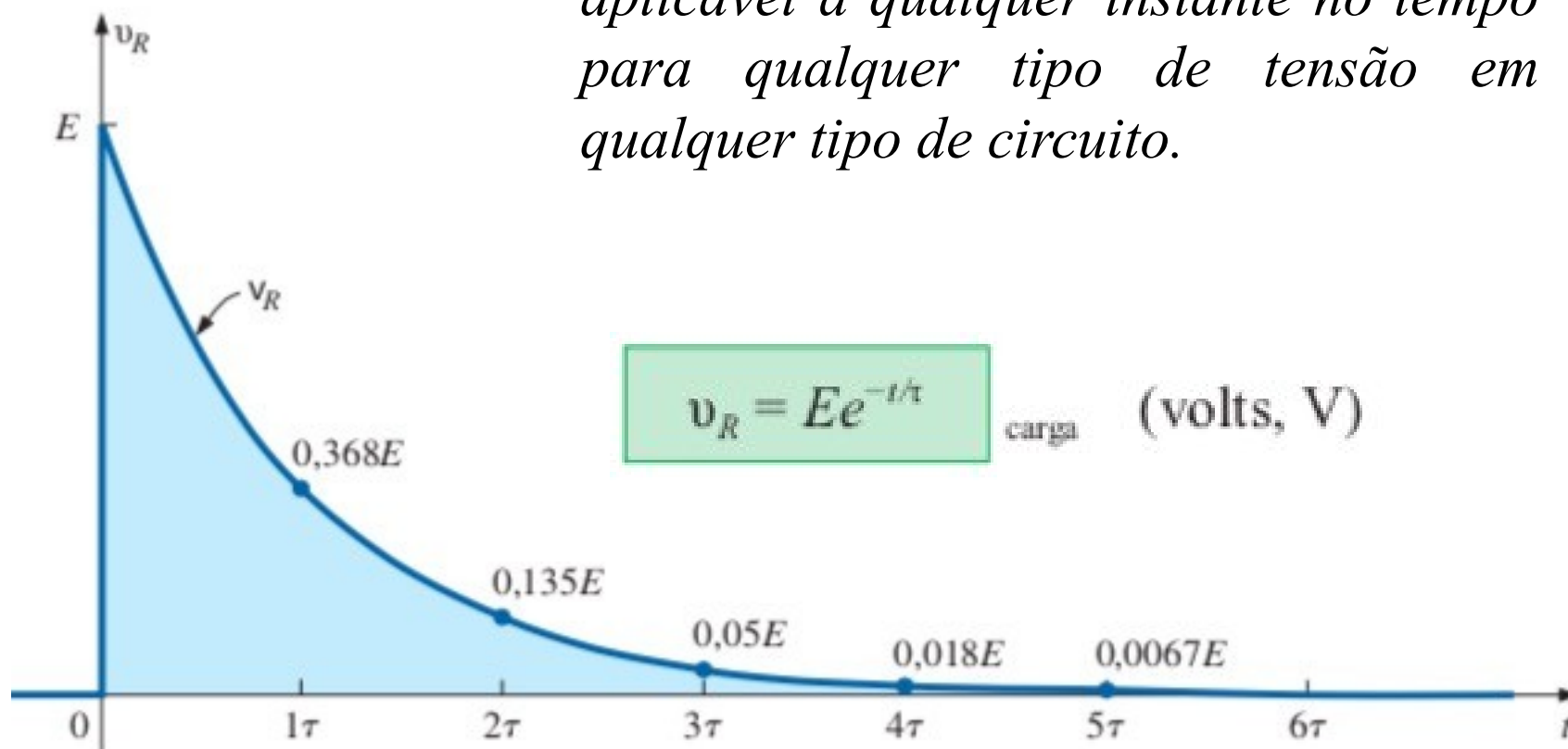


Um capacitor pode ser substituído por um circuito aberto equivalente assim que a fase de carga em um circuito CC tiver passado.

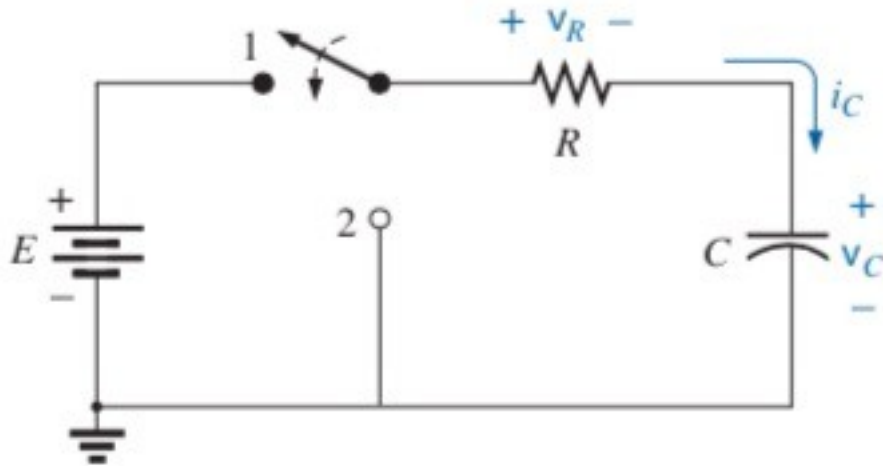


Tensão no Resistor

lei de Kirchhoff para tensões é aplicável a qualquer instante no tempo para qualquer tipo de tensão em qualquer tipo de circuito.

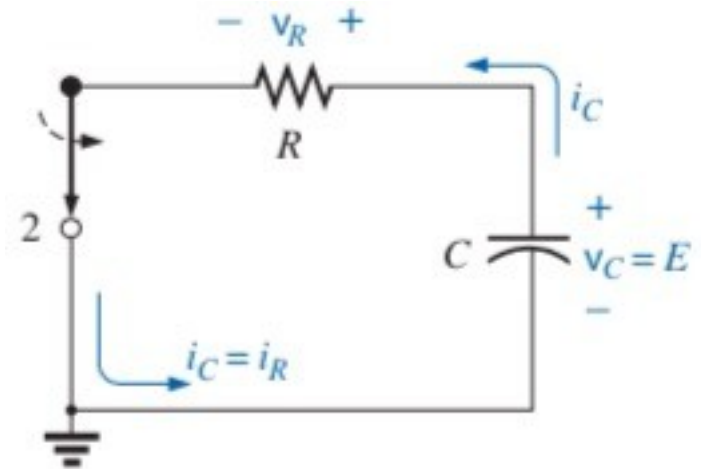


- TRANSITÓRIO: FASE DE DESCARGA



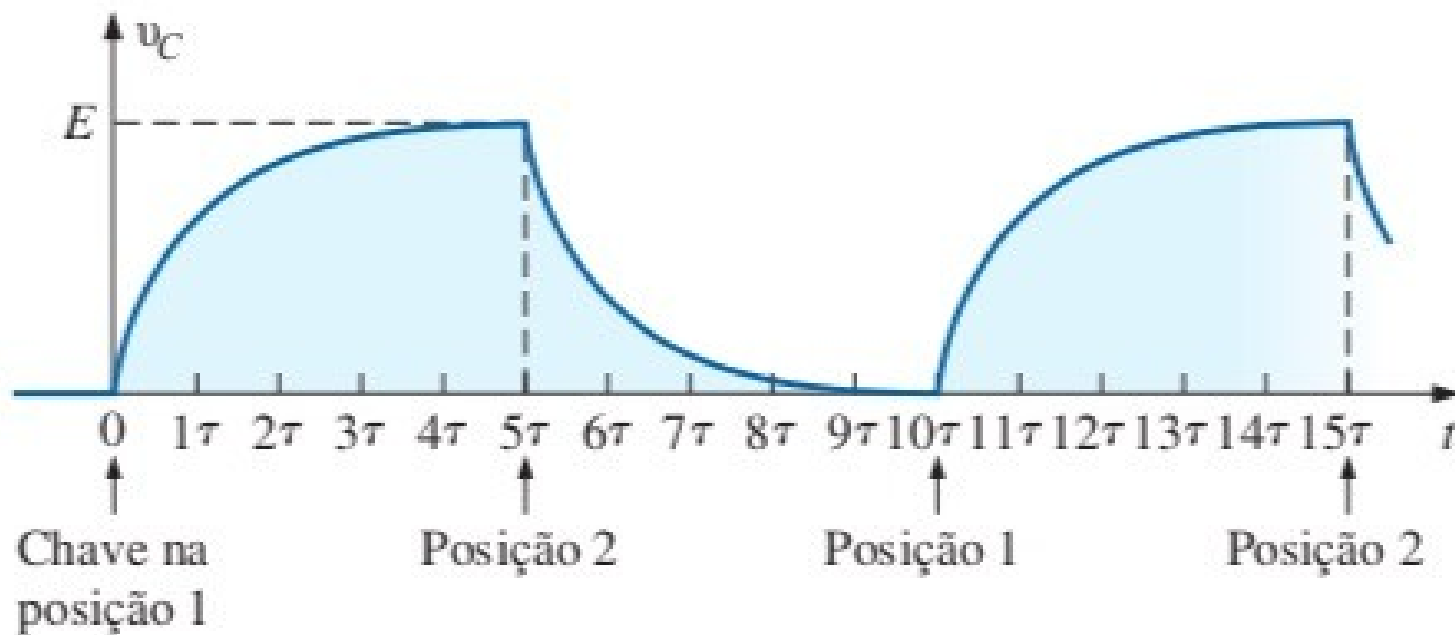
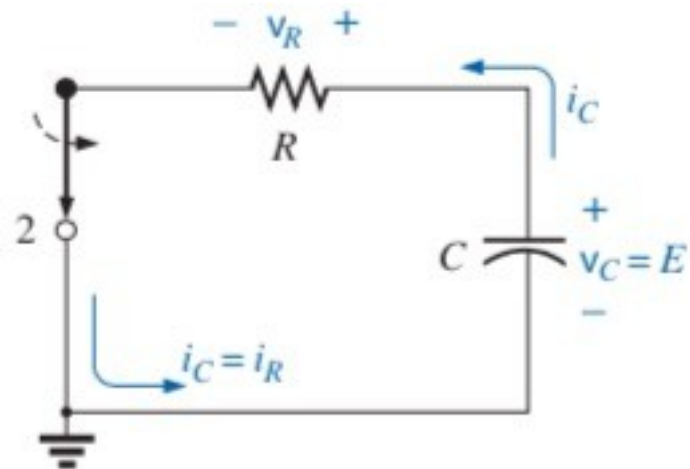
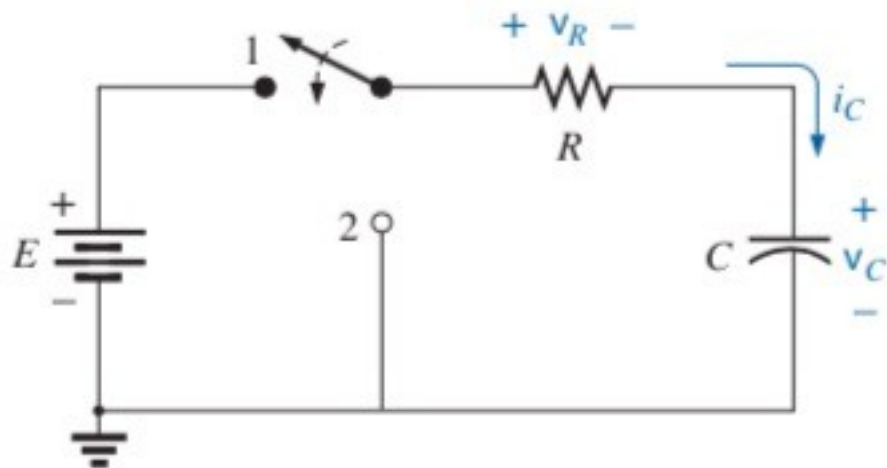
$$v_C = Ee^{-t/\tau} \quad \text{descarga}$$

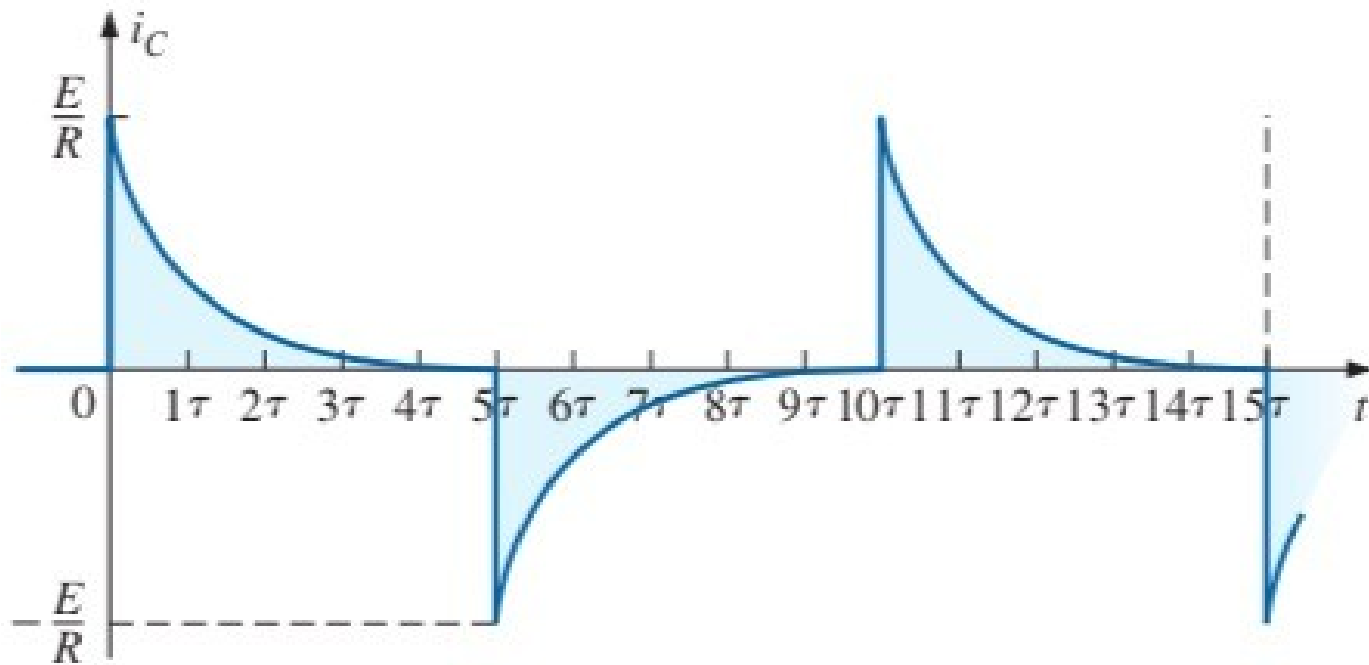
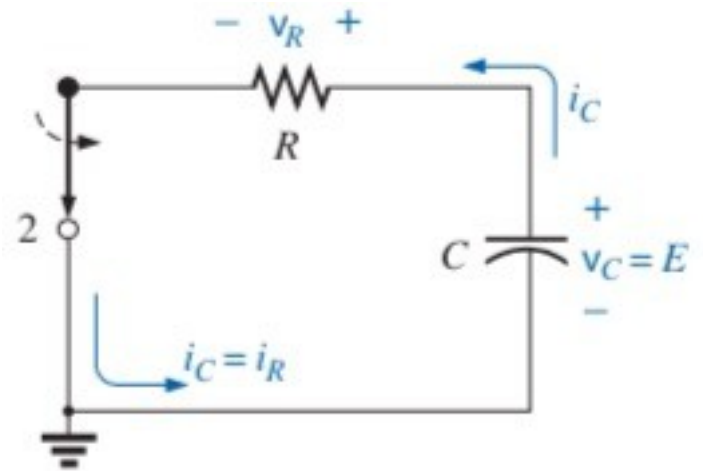
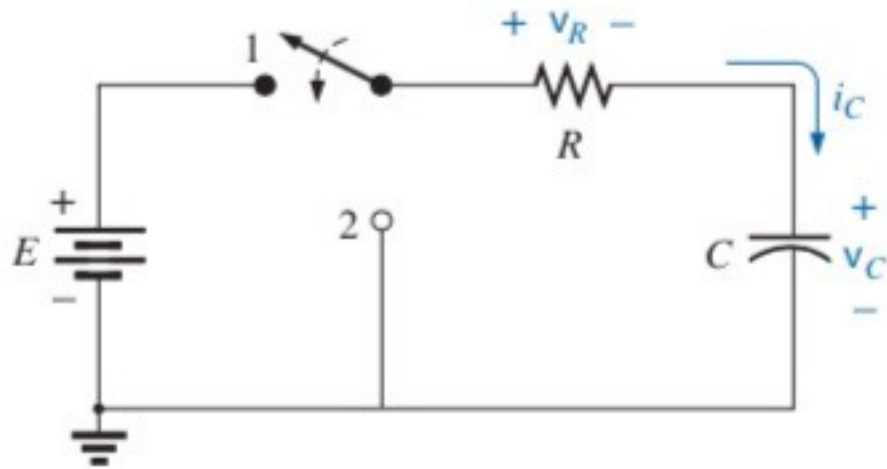
$$\tau = RC \quad \text{descarga}$$

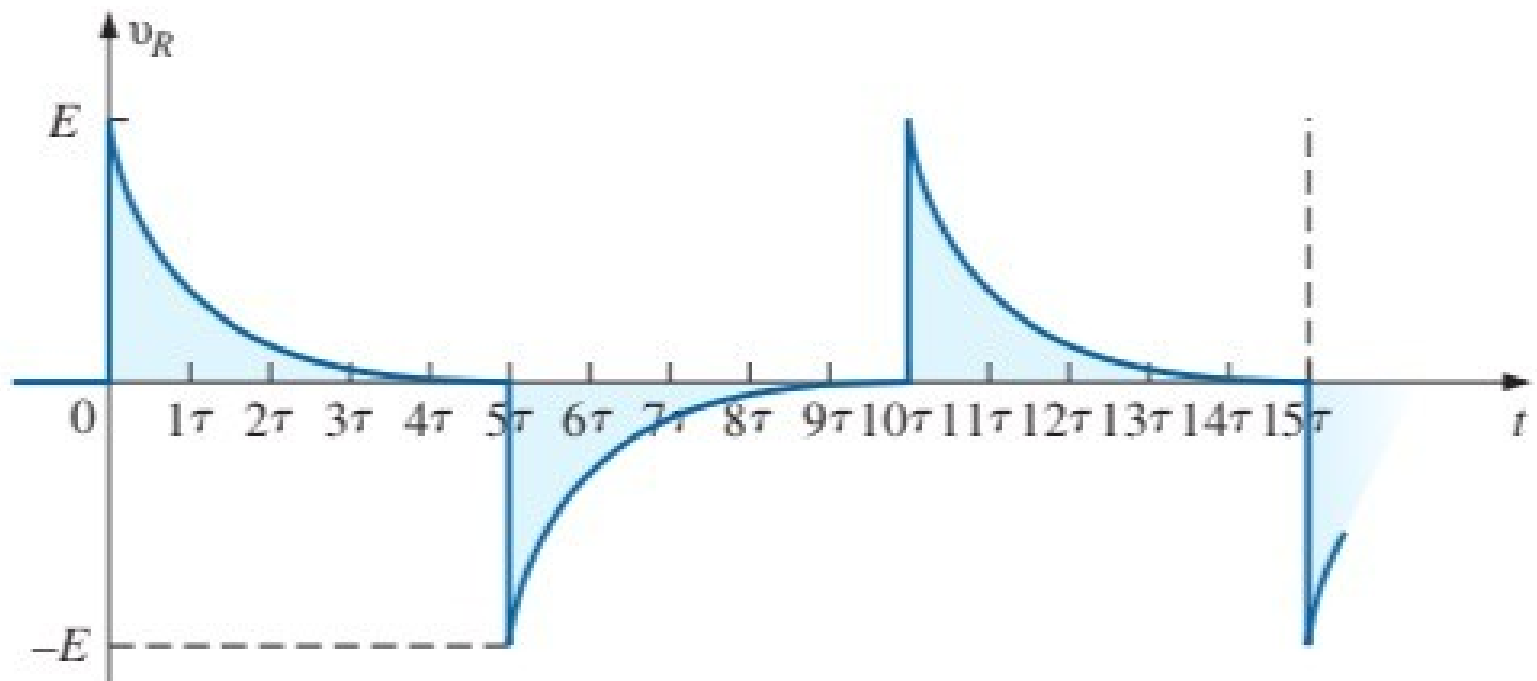
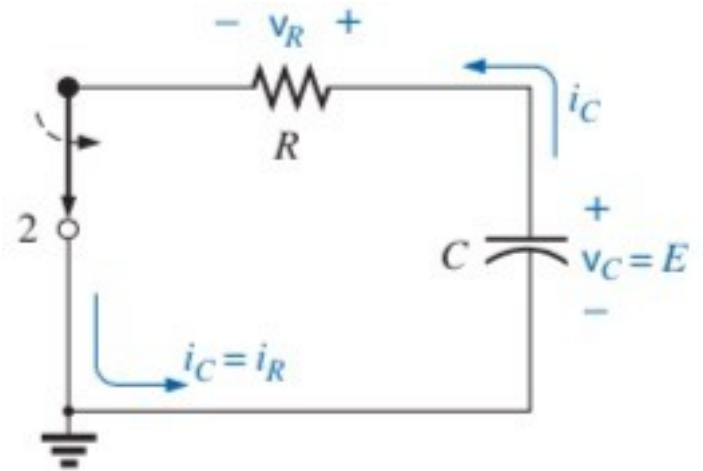
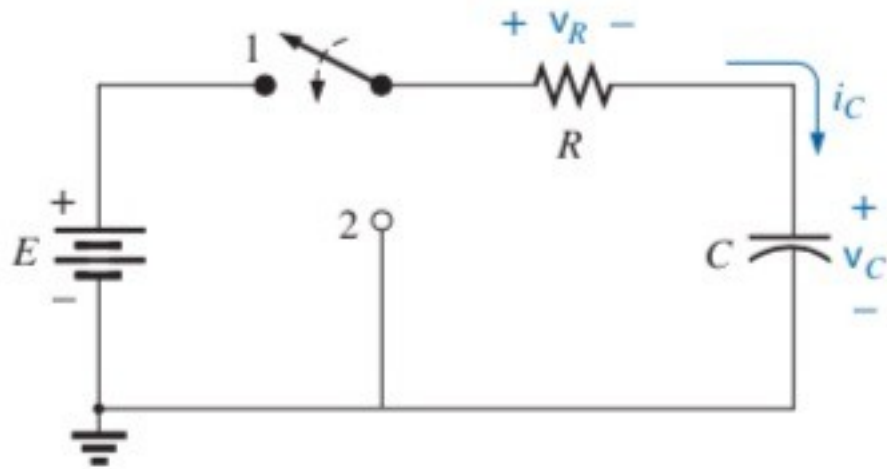


$$i_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \quad \text{descarga}$$

$$v_R = Ee^{-t/\tau} \quad \text{descarga}$$

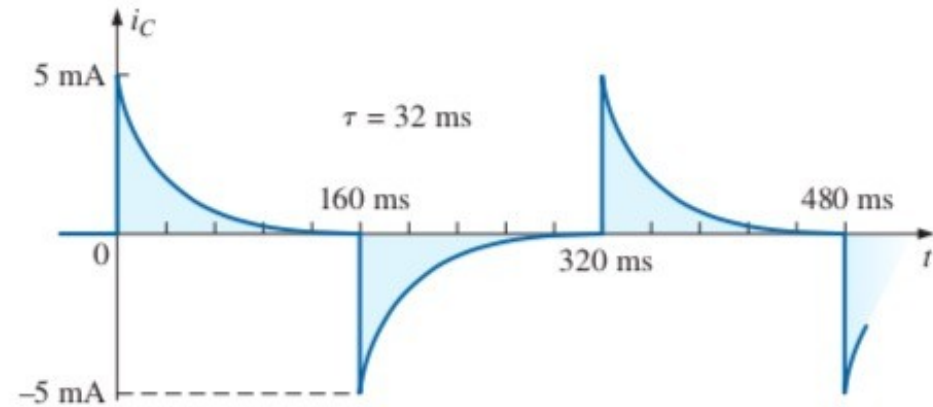
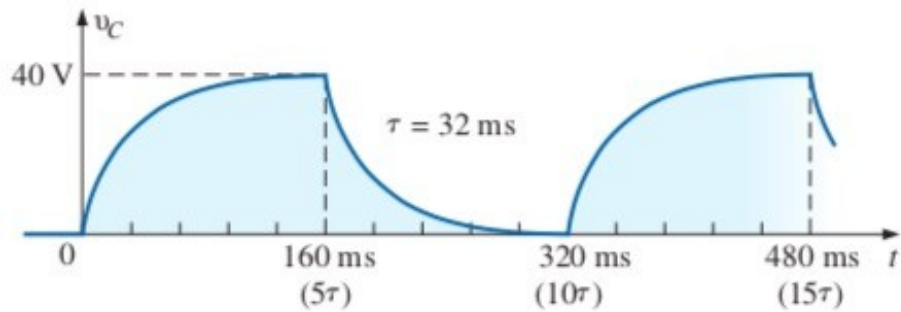




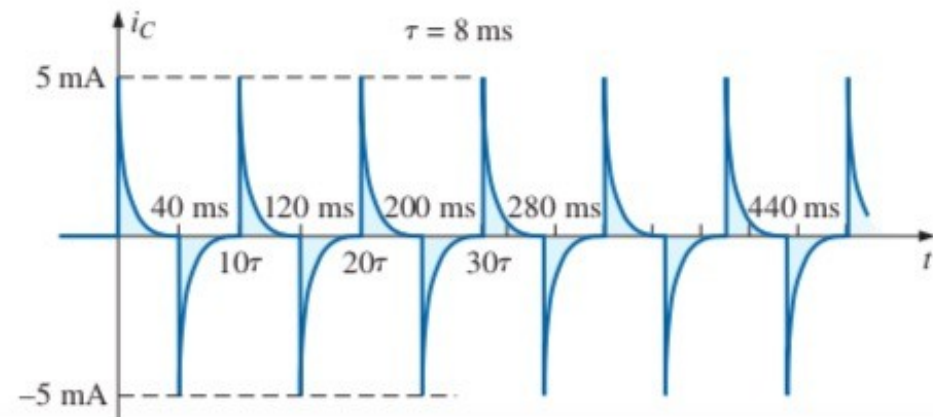
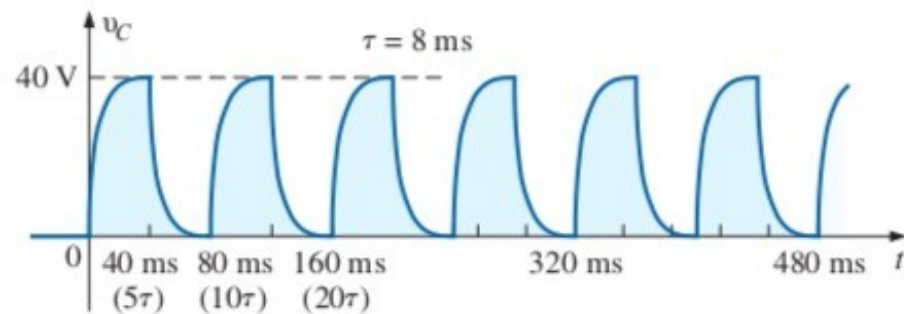


- O efeito de τ sobre a resposta

$$\tau = RC$$

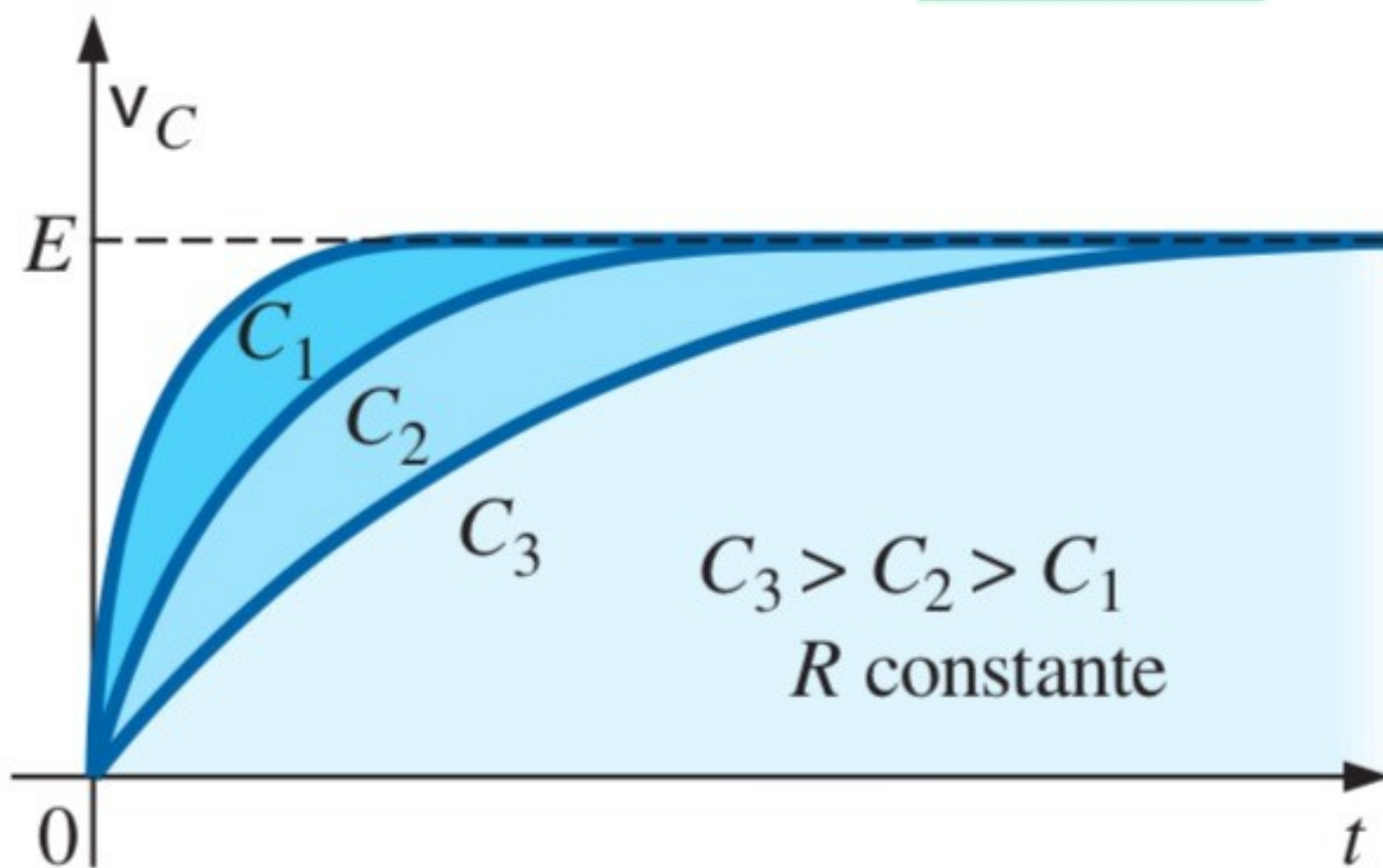


(a)

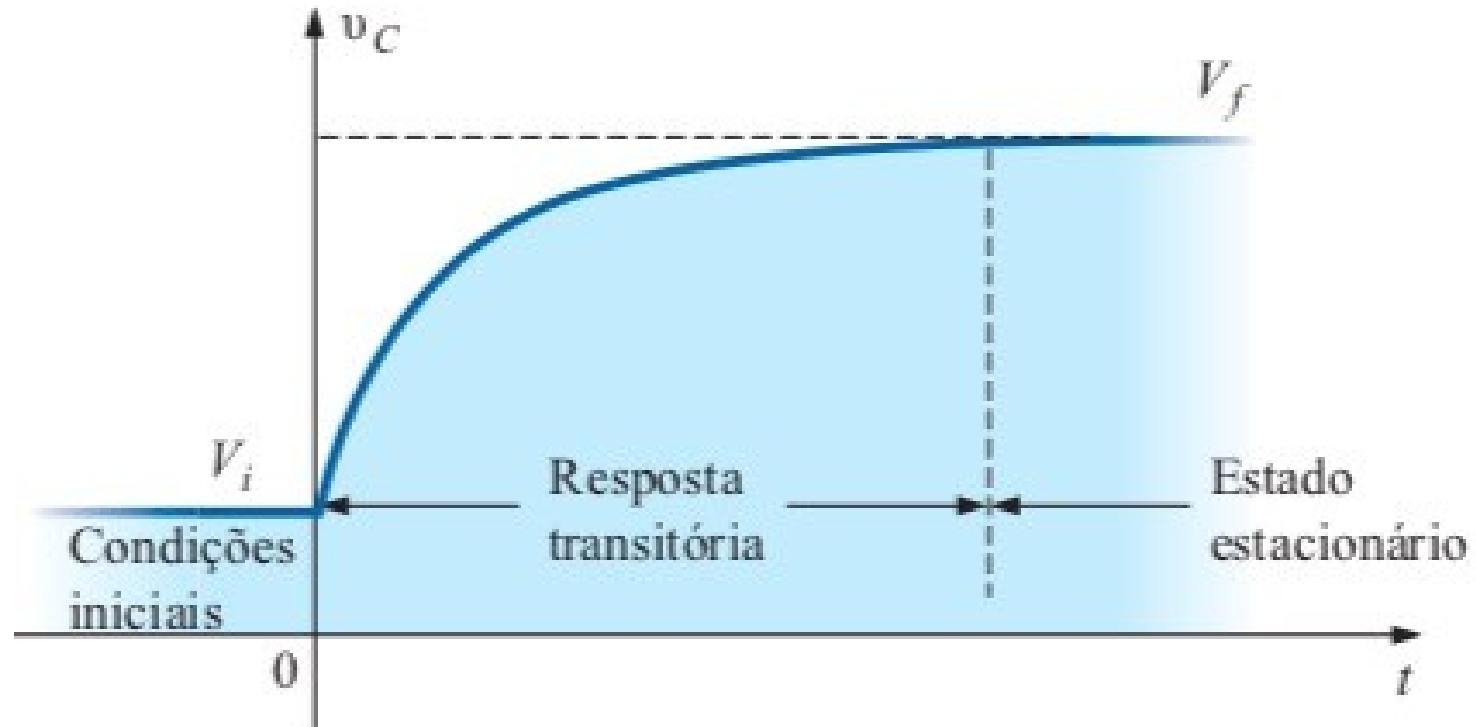


O efeito de sobre a resposta

$$\tau = RC$$



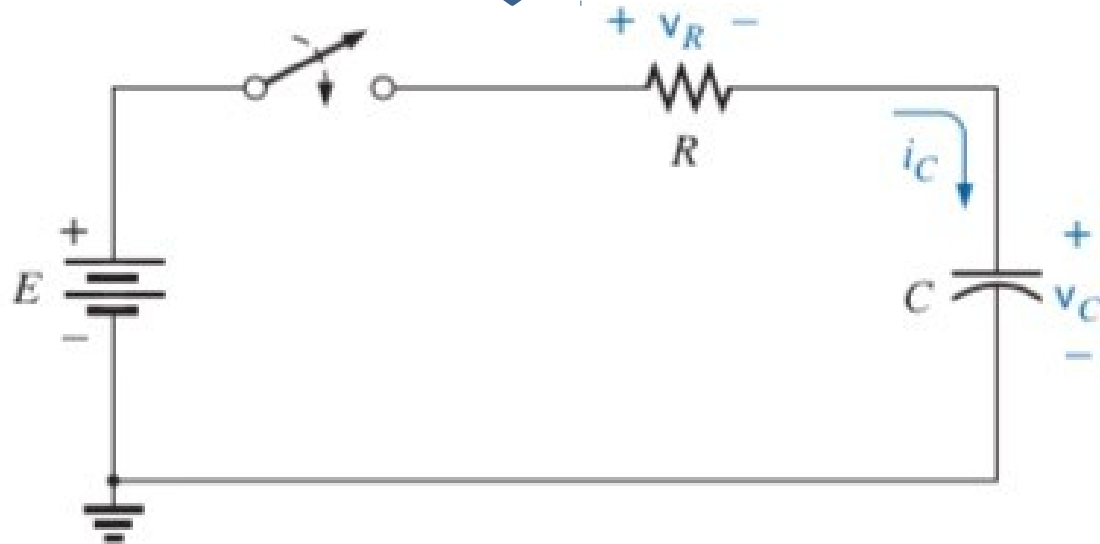
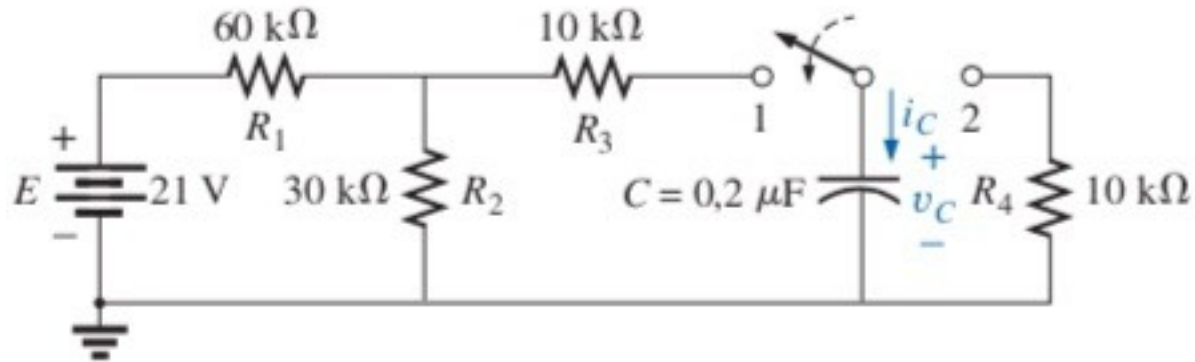
- **VALORES INICIAIS**

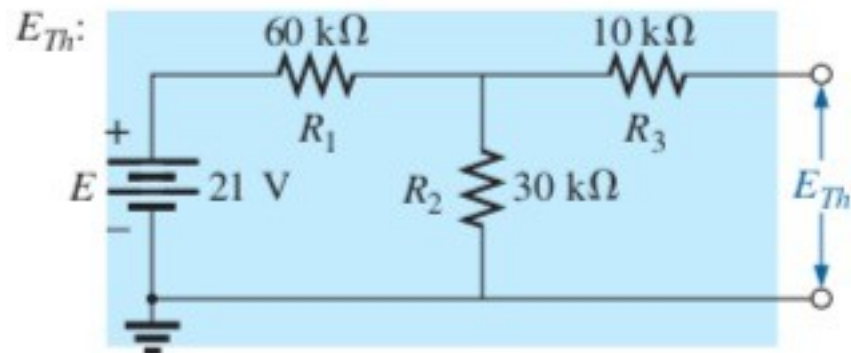
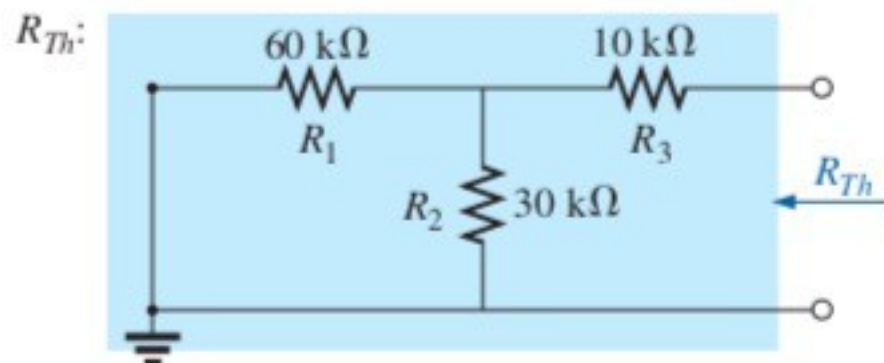
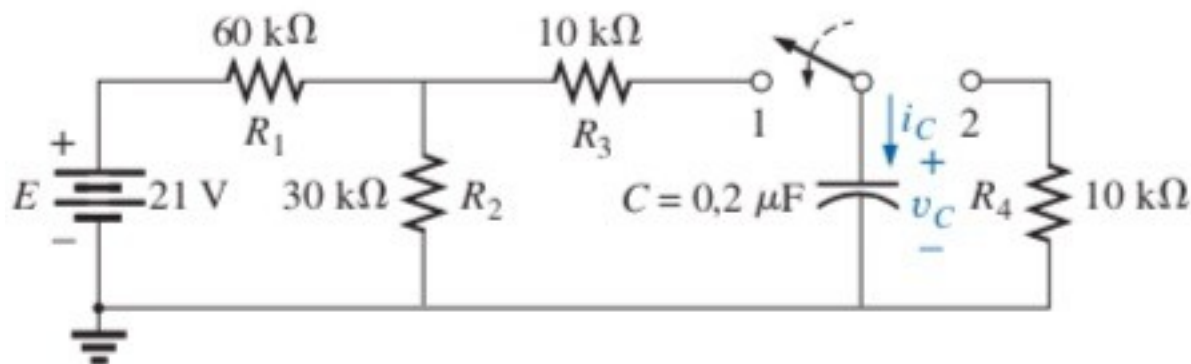


$$v_C = V_f + (V_i - V_f)e^{-t/\tau}$$

$$t = \tau(\log_e) \frac{(V_i - V_f)}{(v_C - V_f)}$$

- EQUIVALENTE DE THÉVENIN: $= R_{Th}C$

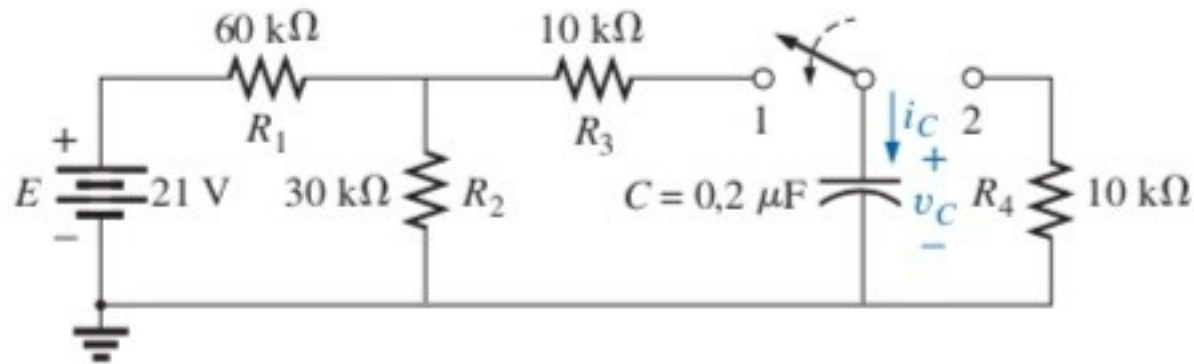




$$R_{Th} = R_1 \parallel R_2 + R_3 = \frac{(60 \text{ k}\Omega)(30 \text{ k}\Omega)}{90 \text{ k}\Omega} + 10 \text{ k}\Omega$$

$$= 20 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega = 30 \text{ k}\Omega$$

$$E_{Th} = \frac{R_2 E}{R_2 + R_1} = \frac{(30 \text{ k}\Omega)(21 \text{ V})}{30 \text{ k}\Omega + 60 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{3}(21 \text{ V}) = 7 \text{ V}$$



$$R_{Th} = 30 \text{ k}\Omega$$

$$E_{Th} = 7 \text{ V}$$

$$V_f = E_{Th} \text{ e } V_i = 0 \text{ V},$$

$$v_C = V_f + (V_i - V_f)e^{-t/\tau}$$

$$v_C = V_f + (V_i - V_f)e^{-t/\tau}$$

$$v_C = E_{Th} + (0 \text{ V} - E_{Th})e^{-t/\tau}$$

$$v_C = E_{Th}(1 - e^{-t/\tau})$$

$$\tau = RC$$

$$i_C = \frac{E}{R}e^{-t/\tau}$$

descarga

$$\tau = RC = (30 \text{ k}\Omega)(0.2 \text{ }\mu\text{F}) = 6 \text{ ms}$$

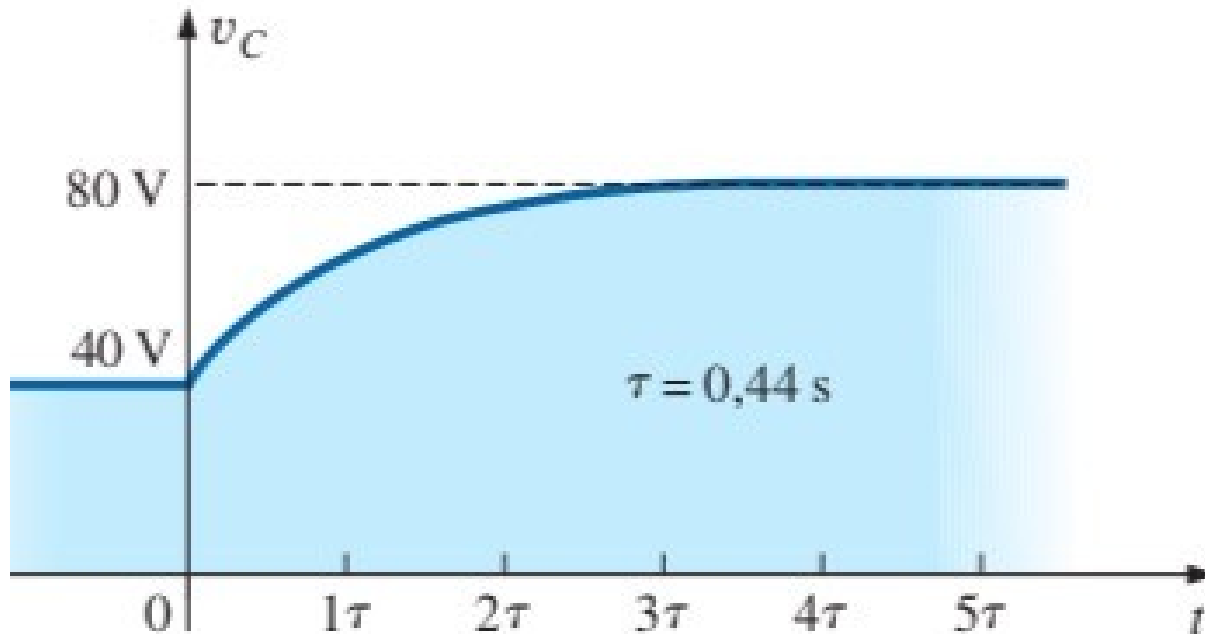
$$v_C = 7 \text{ V}(1 - e^{-t/6 \text{ ms}})$$

$$i_C = \frac{E_{Th}}{R}e^{-t/RC} = \frac{7 \text{ V}}{30 \text{ k}\Omega}e^{-t/6 \text{ ms}}$$

$$= 0.23 \text{ mA}e^{-t/6 \text{ ms}}$$

- **A CORRENTE i_c**

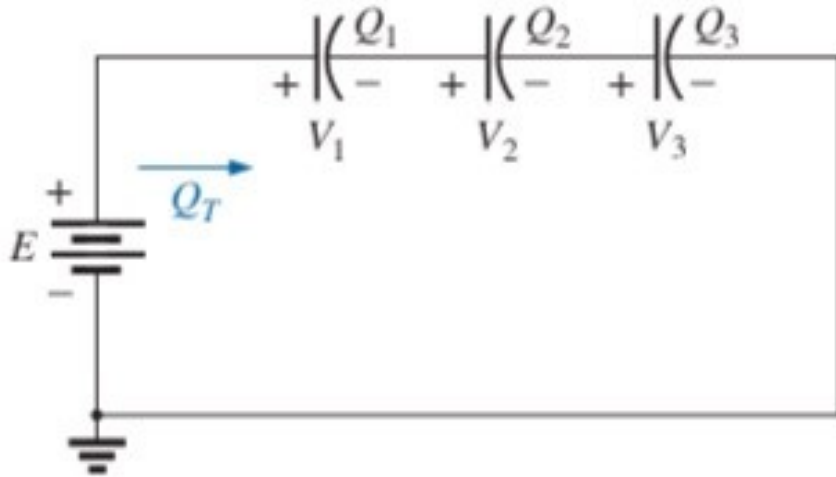
- *corrente capacitiva está diretamente relacionada à taxa de variação da tensão através do capacitor, não aos níveis de tensão envolvidos.*



$$i_c = C \frac{dv_C}{dt}$$

$$i_{C_{m\acute{a}x}} = C \frac{\Delta v_C}{\Delta t}$$

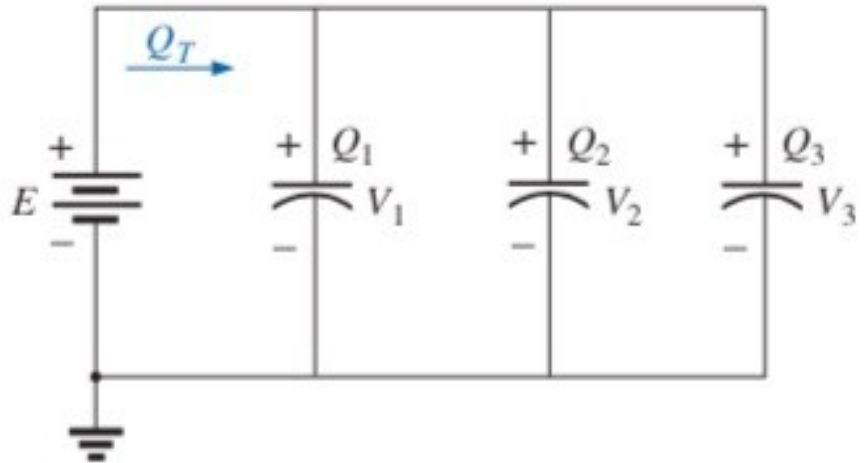
• CAPACITORES EM SÉRIE E EM PARALELO $V = \frac{Q}{C}$



$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

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

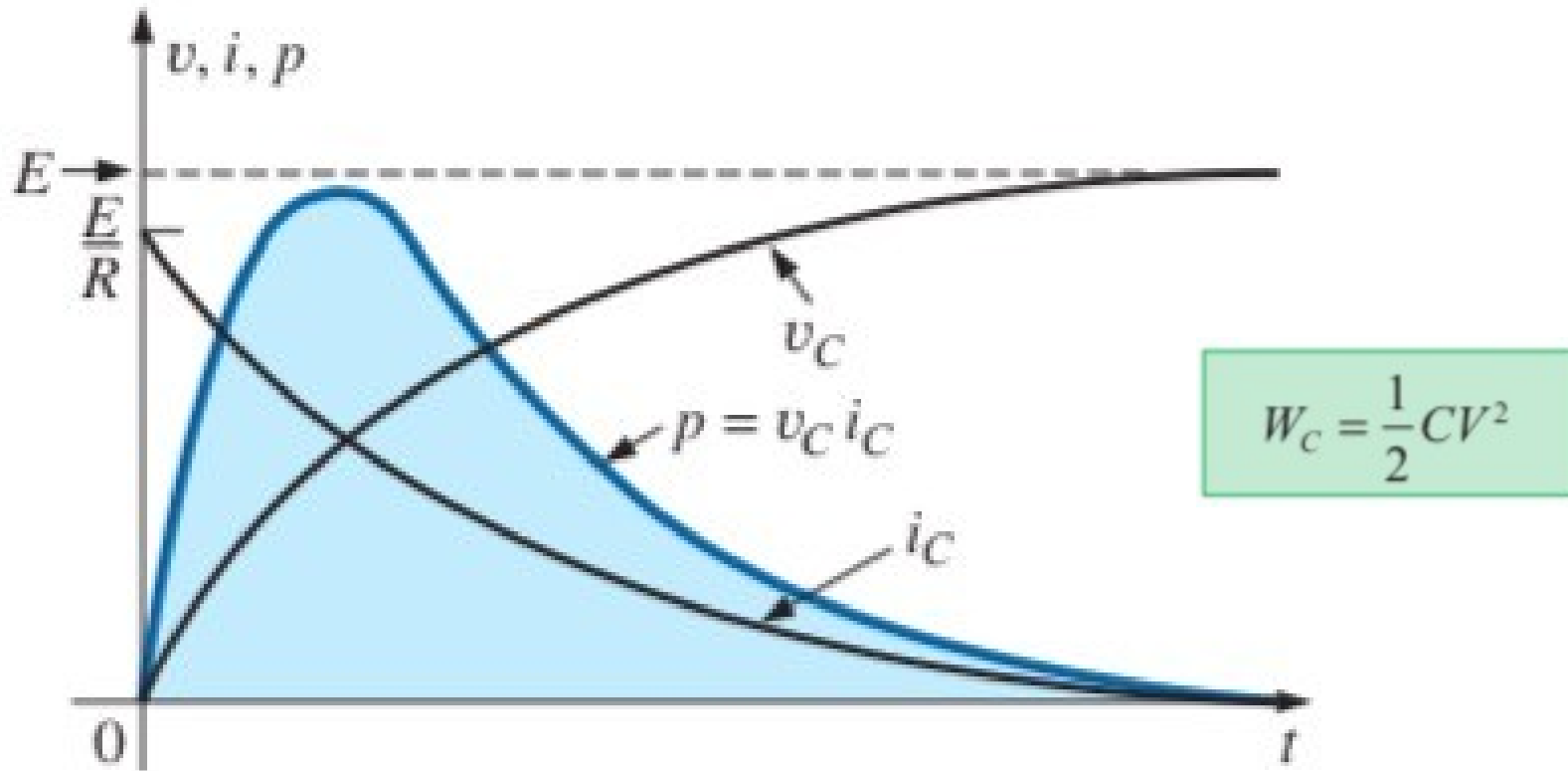


$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$E = V_1 = V_2 = V_3$$

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

- **ENERGIA ARMazenada EM UM CAPACITOR**



A energia armazenada no capacitor está representada pela região sombreada abaixo da curva da potência.