

ENG1027: Instrumentação Eletrônica



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Corrente:

- Indica a **quantidade de elétrons** que está fluindo por um condutor por **unidade de tempo**.
- Unidade SI: **ampere (A)**
- **Padrao S.I.:** função da constante de carga elementar $e = 1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$$1\text{A} = \left(\frac{e}{1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Carga:

- **Propriedade básica** do elétron (e do próton)
- Unidade SI: **coulomb (C)**
- Esta unidade é derivada do ampere: **$1\text{ C} \equiv 1\text{ A}\cdot\text{s}$**

- Carga do elétron: **$1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\text{ C}$**
- Isto é, uma corrente de 1 A implica em, aproximadamente, $6,24 \times 10^{18}$ elétrons fluindo por segundo no condutor.

2.1) Noções de Eletricidade

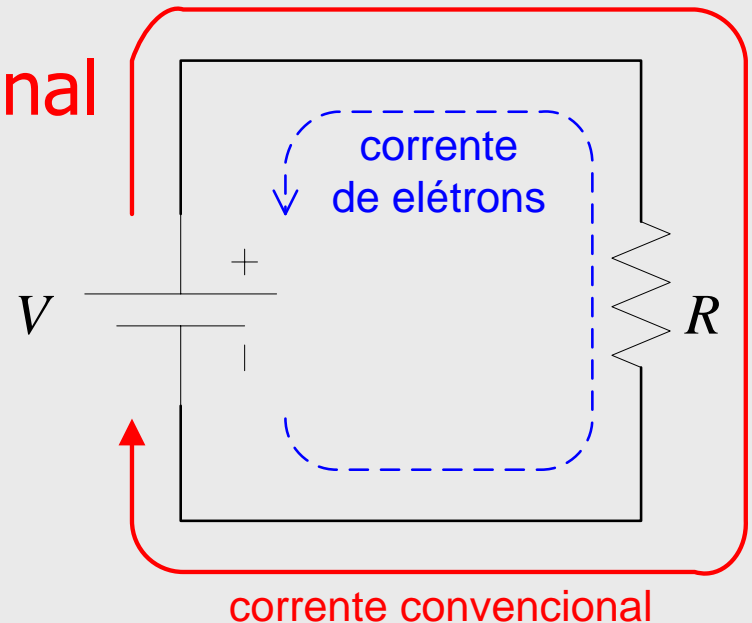
⌘ Corrente:

- Corrente fluindo em uma lâmpada incandescente de 100 W/127 V: aproximadamente 0,8 A.
- No caso de circuitos eletrônicos utilizados em instrumentação, 1 A é um valor **excessivamente grande**:
 - ⊗ miliampere ($1 \text{ mA} = 1 \times 10^{-3} \text{ A}$)
 - ⊗ microampere ($1 \text{ } \mu\text{A} = 1 \times 10^{-6} \text{ A}$)
 - ⊗ nanoampere ($1 \text{ nA} = 1 \times 10^{-9} \text{ A}$)
 - ⊗ picoampere ($1 \text{ pA} = 1 \times 10^{-12} \text{ A}$)

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Corrente:

- Inicialmente, acreditava-se erroneamente que a corrente em metais era devida ao movimento de cargas positivas.
- Assim, o **sentido convencional** da corrente é oposto ao **sentido real** de movimento dos elétrons.



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Diferença de Potencial:

- A corrente em um condutor é causada por uma **diferença de potencial elétrico** entre as duas extremidades do condutor.
- Os elétrons se movem do ponto de potencial **mais negativo** para o ponto de potencial **menos negativo**.
- Analogia: a água (corrente) em uma cachoeira se move do ponto mais alto (**maior potencial**) para o ponto mais baixo (**menor potencial**)

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Diferença de Potencial :

- Unidade SI: **volt (V)**
- Esta unidade é derivada do ampere:

$$1 \text{ V} \equiv 1 \text{ W/A} \equiv 1 \text{ J/C}$$

- ⊗ 1 watt (W): unidade de potência $\equiv 1 \text{ J/s}$
- ⊗ 1 joule (J): unidade de energia $\equiv 1 \text{ N.m}$
- ⊗ 1 newton (N): unidade de força $\equiv 1 \text{ kg.m / s}^2$

2.1) Noções de Eletricidade

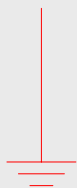
⌘ Diferença de Potencial / Terra:

- Em um circuito eletrônico:
 - ⊗ ddp através de um componente; ou
 - ⊗ tensão em um determinado ponto.
- Esta tensão é a ddp em relação a um ponto de referência, chamado de **terra (*ground*)**.
- A tensão no ponto de terra é arbitrada como **zero volts**.

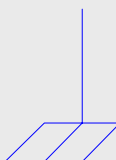
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Diferença de Potencial / Terra:


➤ Diferentes tipos de terra:



⊗ **Sentido estrito:** massa da Terra, que é um dreno elétrico, podendo receber ou fornecer carga sem alterar suas características. Na prática: cano de metal.



⊗ **Freqüentemente:** conexão direta ao terra “absoluto” não é necessária, basta conectar o circuito ao chassis do instrumento, o qual normalmente já está aterrado internamente.



⊗ O símbolo ao lado é por vezes usado para indicar pontos no circuito que têm mesmo potencial em relação ao terra.

2.1) Noções de Eletricidade

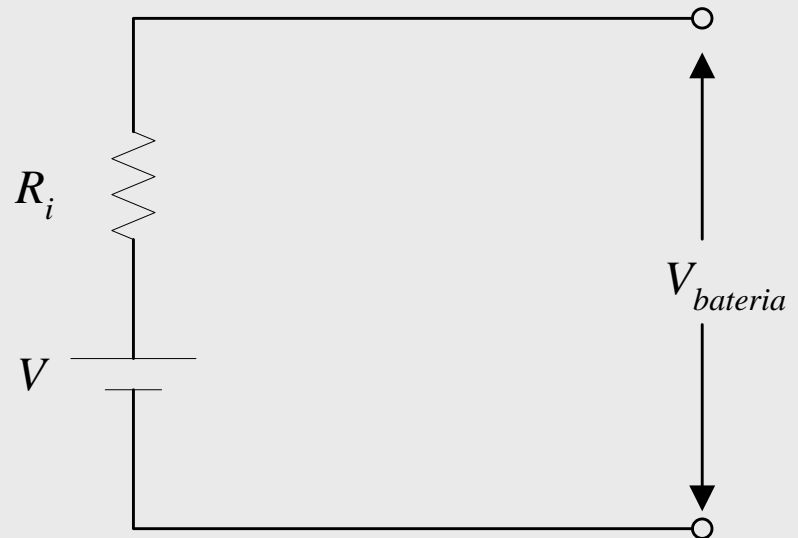
⌘ Diferença de Potencial / Baterias:

- Uma bateria é uma **fonte de ddp**.
- Tem **vida finita**, uma vez que são baseadas em reações químicas.
- Algumas podem ser **recarregadas**.
- **Diferentes tipos** de baterias têm diferentes características elétricas (tensão nominal, carga, capacidade de corrente, impedância, etc.)

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Diferença de Potencial / Baterias:

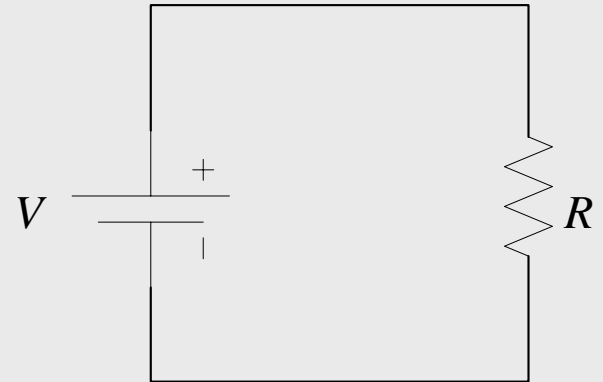
- Uma bateria não consegue produzir uma **quantidade infinita** de corrente.
- Modelo usual: **resistência em série** com uma fonte ideal.
- O “**enfraquecimento**” da bateria corresponde ao **aumento da resistência** interna com o tempo



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência:

- a magnitude da corrente de elétrons é definida por **dois fatores**:
 - ⊗ ddp
 - ⊗ resistência do circuito externo.
- Quanto **maior V** , ou **menor R** , **maior a corrente**



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência:

- Unidade SI: **ohm (Ω)**
- Esta unidade é derivada do volt e do ampere:

$$1 \Omega \equiv 1 \text{ V/A} \equiv 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{A}^2\text{s}^2$$

- Bons condutores → Baixa resistência

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência:

- Depende de 3 fatores:
 - ☒ Resistividade (ρ)
 - ☒ Comprimento (L)
 - ☒ Área da Seção reta (a)

$$R = \rho \cdot L / a$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistividade:

- **Característica intrínseca** dos materiais
- Unidade SI: ohm-metro ($\Omega \cdot m$)

Prata	$1,6 \times 10^{-8}$	Vidro	10^{12}
Cobre	$1,7 \times 10^{-8}$	Teflon	10^{13}
Ouro	$2,4 \times 10^{-8}$	Mica	10^{14}
Alumínio	$2,7 \times 10^{-8}$		
Carbono	3.500×10^{-8}		

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Lei de Ohm

- Estabelece a relação entre a **ddp aplicada** entre as extremidades de um condutor, sua **resistência** e a **corrente** gerada:

$$V = R I$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Leis de Kirchoff

- São baseadas nos princípios da conservação da energia e da conservação da carga.
 - ☒ Lei das Malhas
 - ☒ Lei dos Nós
- São necessárias para “resolver” circuitos mais complexos, para os quais a Lei de Ohm não é suficiente.

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Leis de Kirchoff

- Lei das Malhas
- **Conservação da energia** em um circuito fechado

$$\sum V = 0$$

- Isto é, a soma algébrica das diferenças de potencial ao longo de circuito fechado é zero.

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Leis de Kirchoff

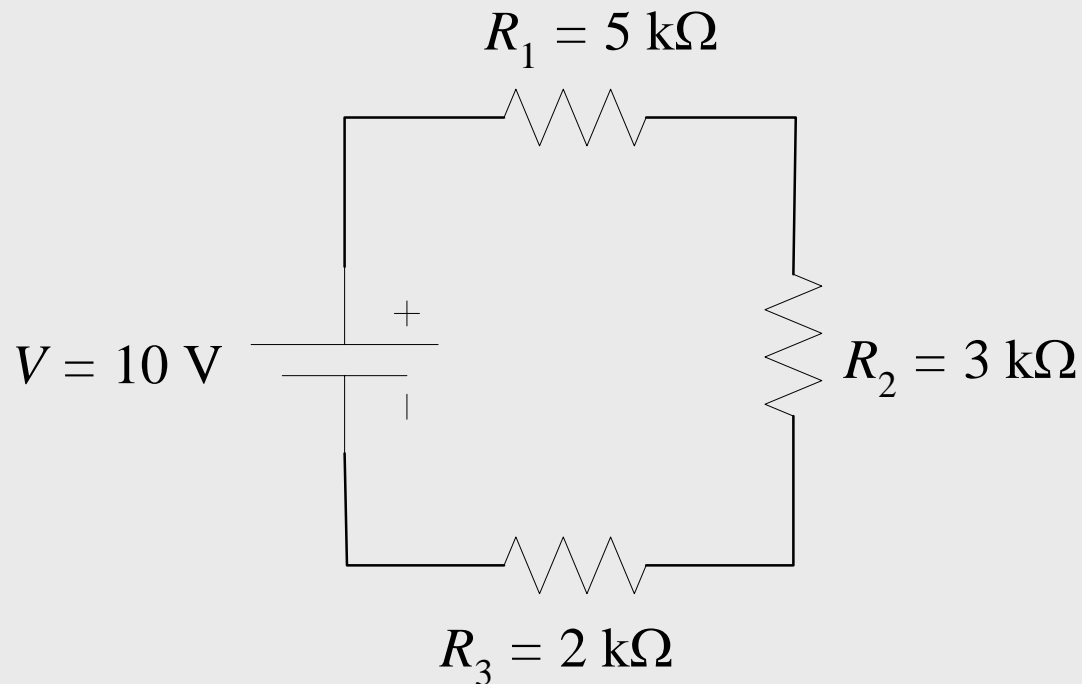
- Lei dos Nós
- **Conservação da carga** em um nó do circuito

$$\sum I = 0$$

- Isto é, a soma algébrica das correntes em um nó é zero.
 - ☒ Corrente entrando no nó = positiva
 - ☒ Corrente saindo do nó = negativa

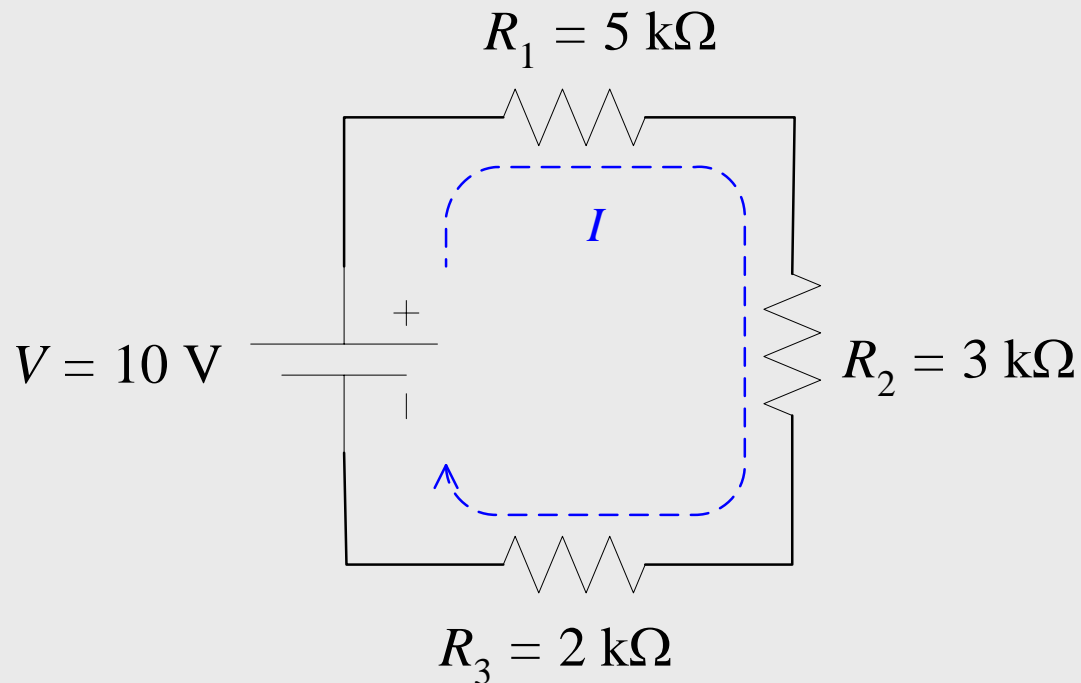
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Série:



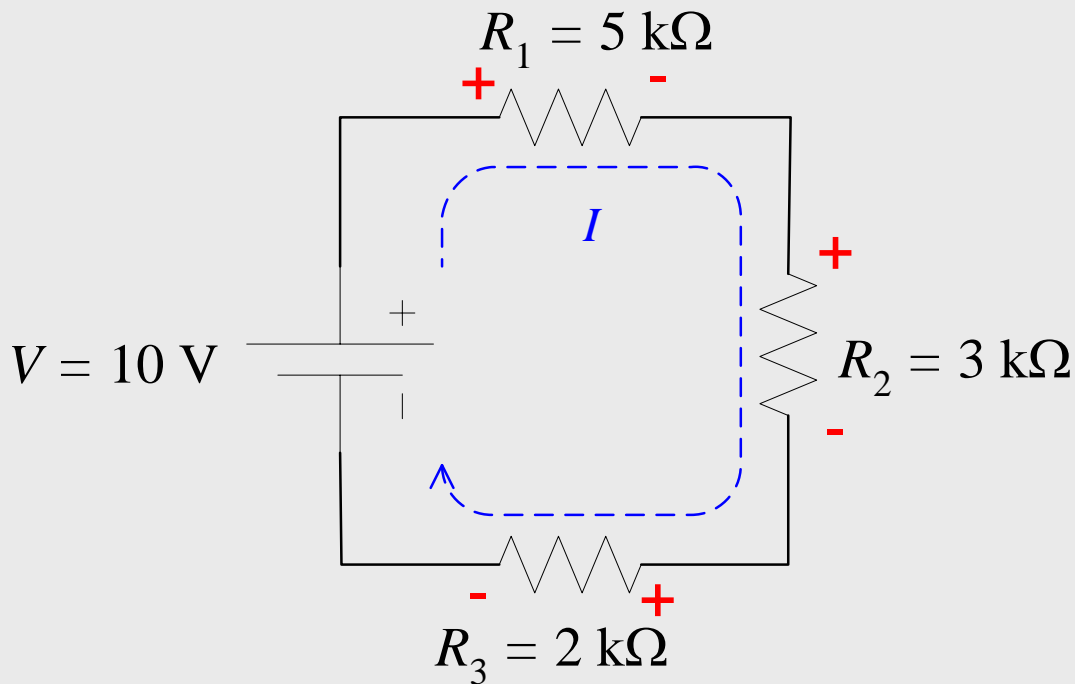
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Série:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Série:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Série:

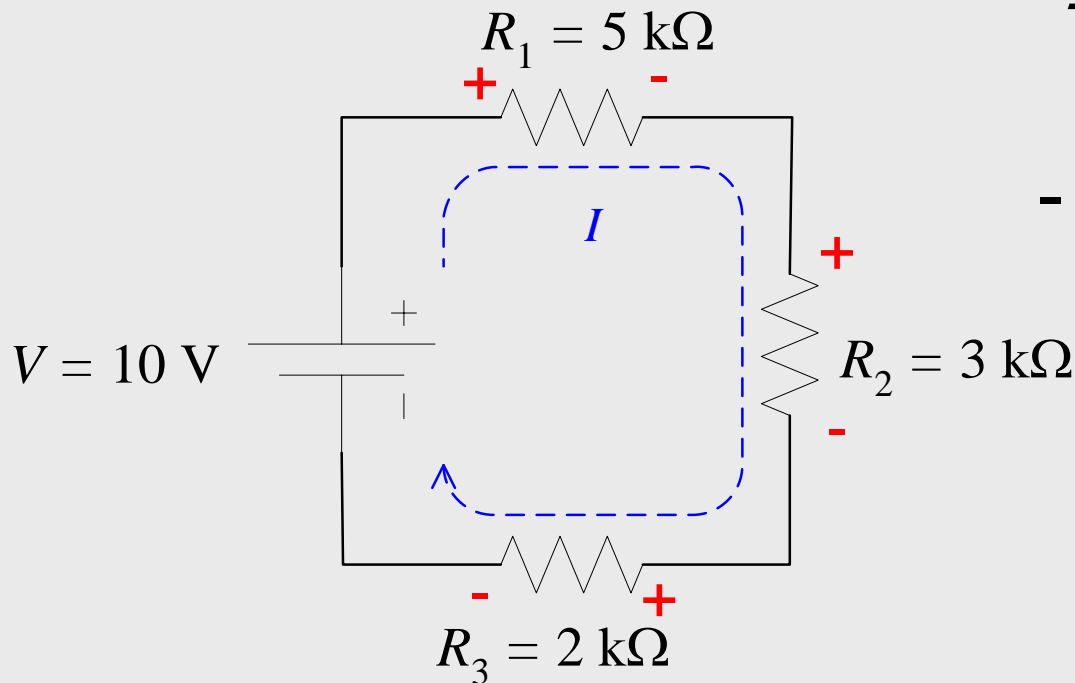
Lei das Malhas:

$$-IR_1 - IR_2 - IR_3 + V = 0$$

ou

$$-V + IR_1 + IR_2 + IR_3 = 0$$

$$V = (R_1 + R_2 + R_3) I \\ = R_s I$$



2.1) Noções de Eletricidade

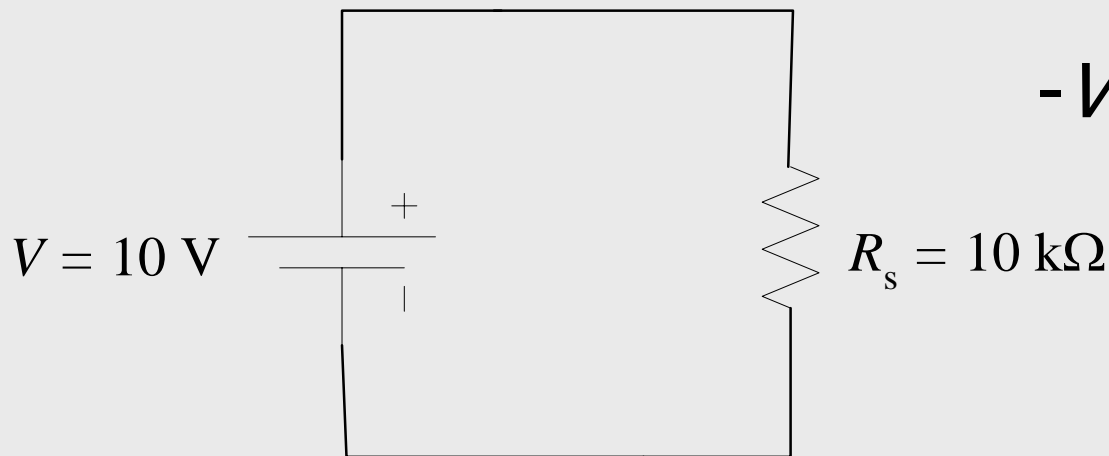
⌘ Resistores em Série:

Lei das Malhas:

$$-IR_1 - IR_2 - IR_3 + V = 0$$

ou

$$-V + IR_1 + IR_2 + IR_3 = 0$$

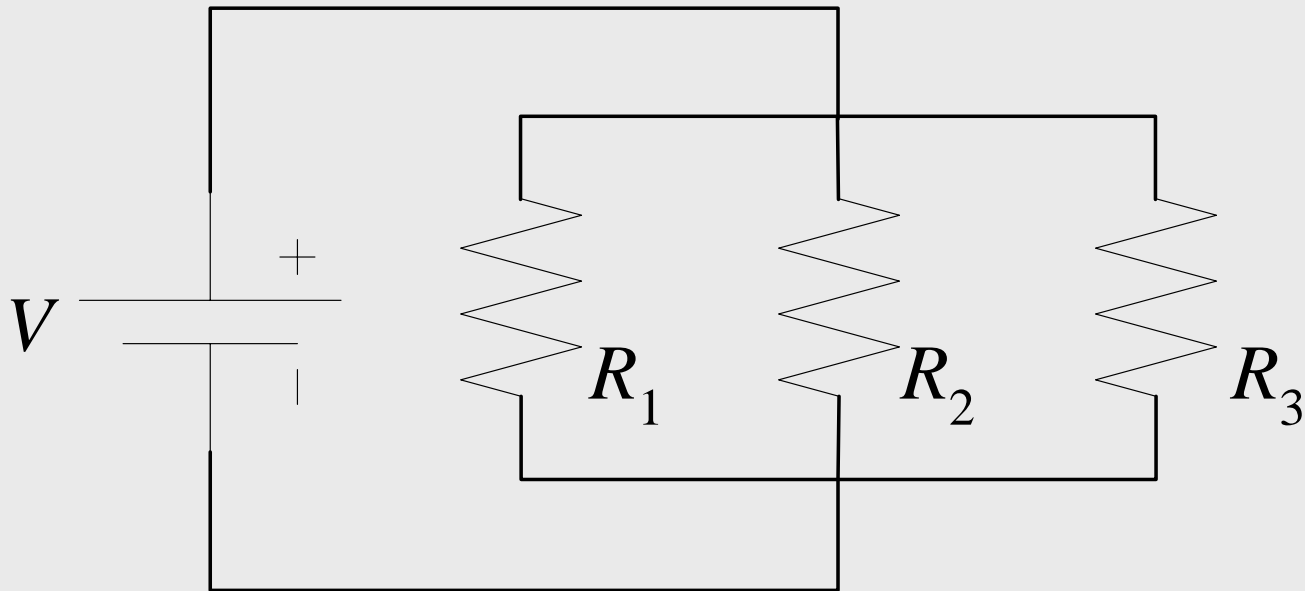


$$\begin{aligned} V &= (R_1 + R_2 + R_3) I \\ &= R_s I \end{aligned}$$

R_s : Resistor Equivalente

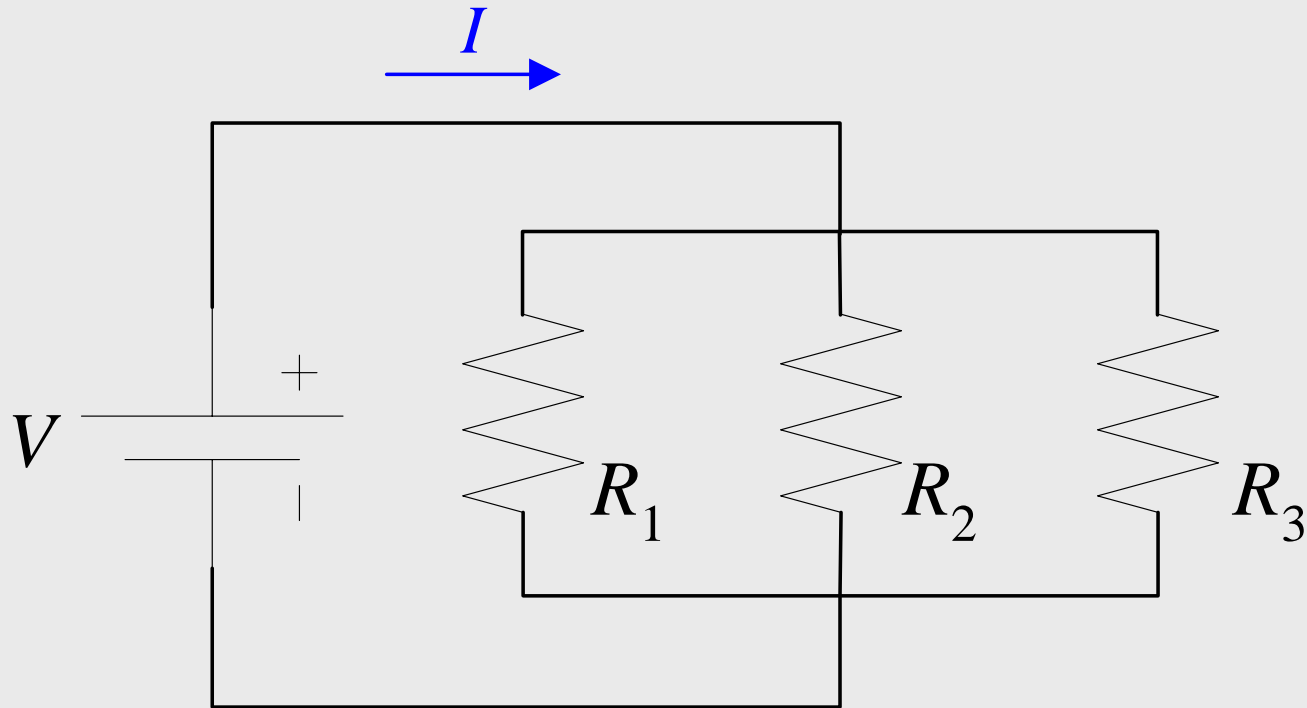
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Paralelo:



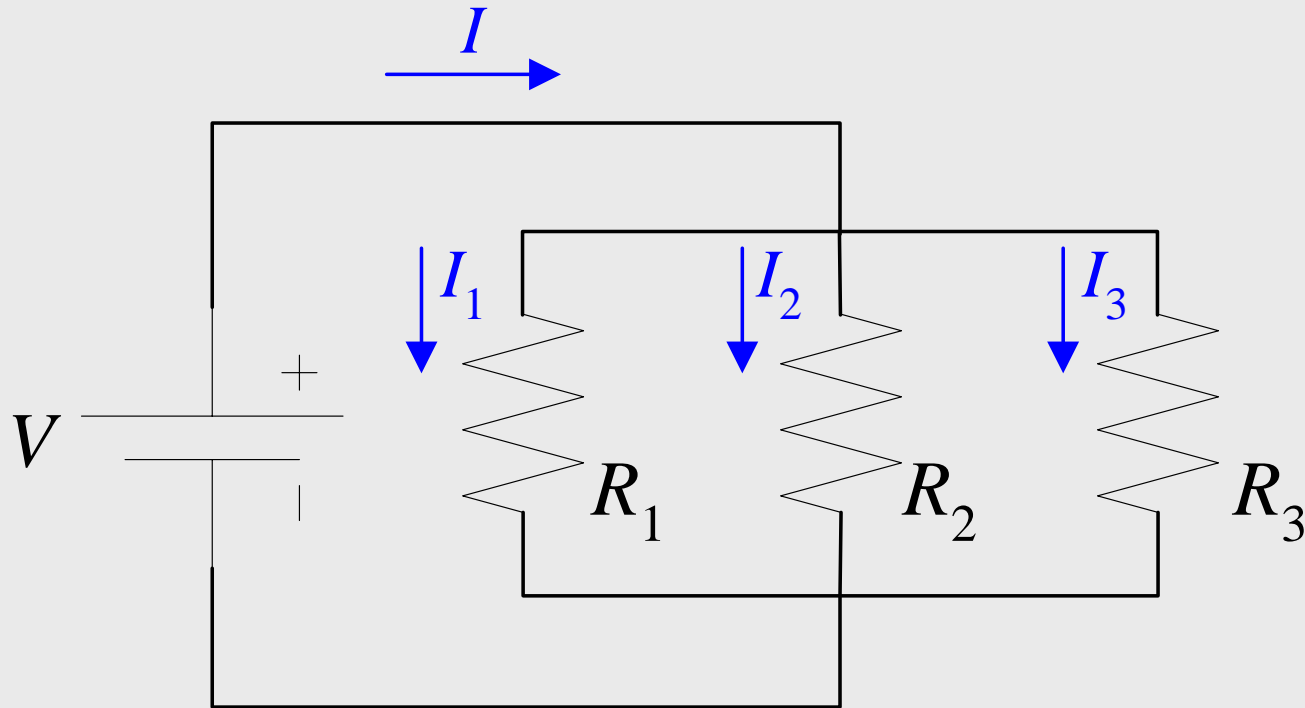
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Paralelo:



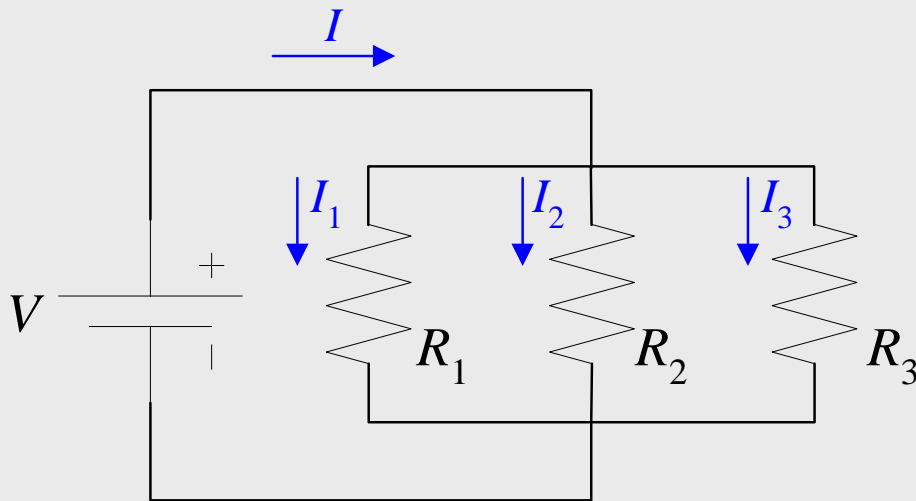
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Paralelo:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Paralelo: Lei dos Nós:

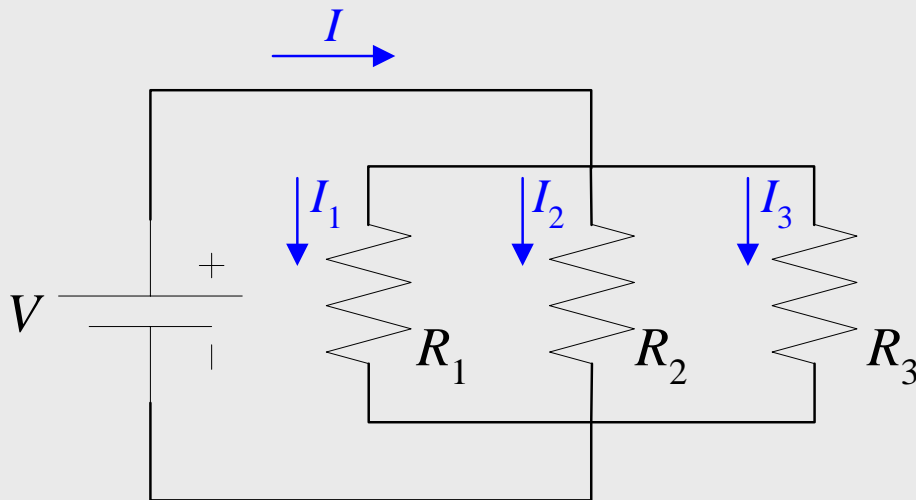


$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Paralelo: Lei de Ohm:



$$I_1 = V / R_1$$

$$I_2 = V / R_2$$

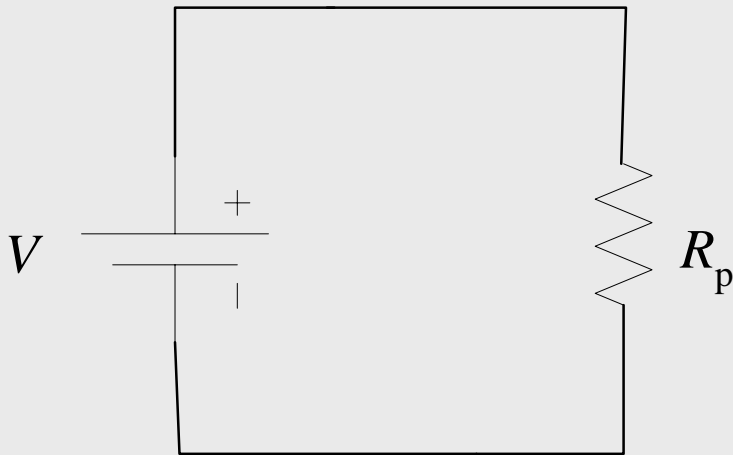
$$I_3 = V / R_3$$

$$I = V / R_1 + V / R_2 + V / R_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistores em Paralelo:

Resistor Equivalente:

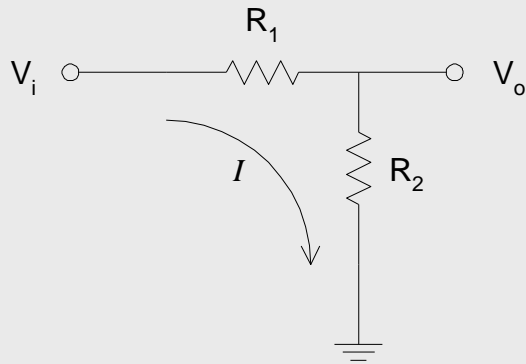


$$I = V/R_p$$

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Divisores Resistivos de Tensão:



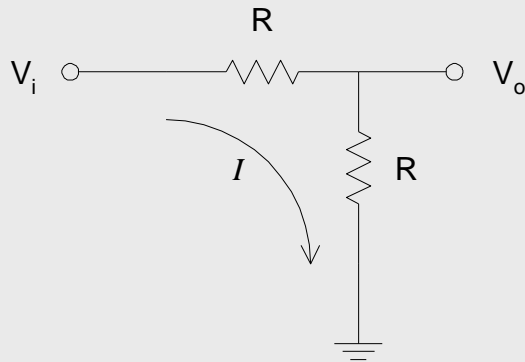
$$I = \frac{V_i}{R_1 + R_2}$$

$$V_0 = R_2 \cdot I$$

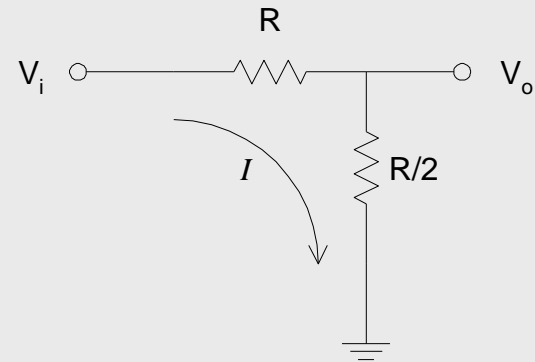
$$V_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_i$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Divisores Resistivos de Tensão :



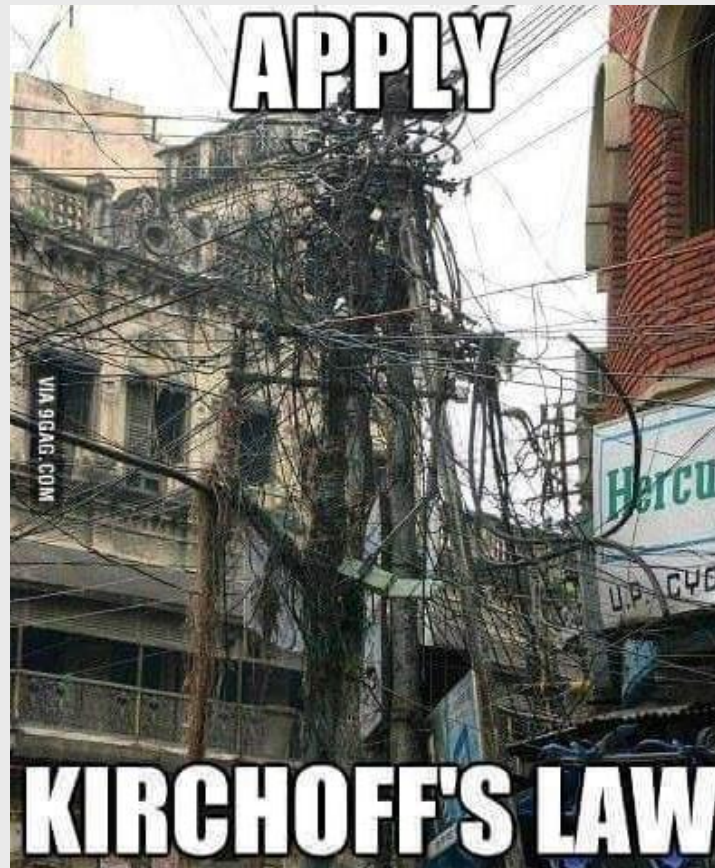
$$V_0 = \frac{V_i}{2}$$



$$V_0 = \frac{V_i}{3}$$

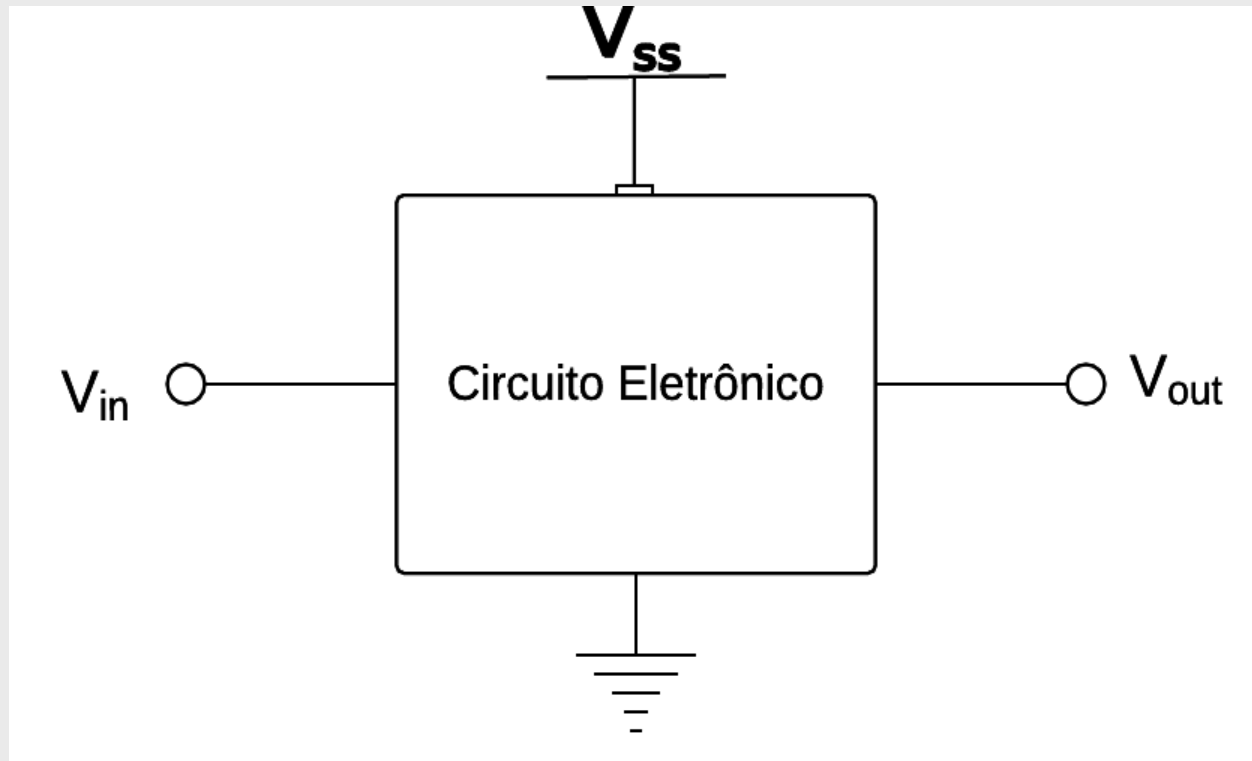
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Aplicação Prática das Leis de Kirchoff:



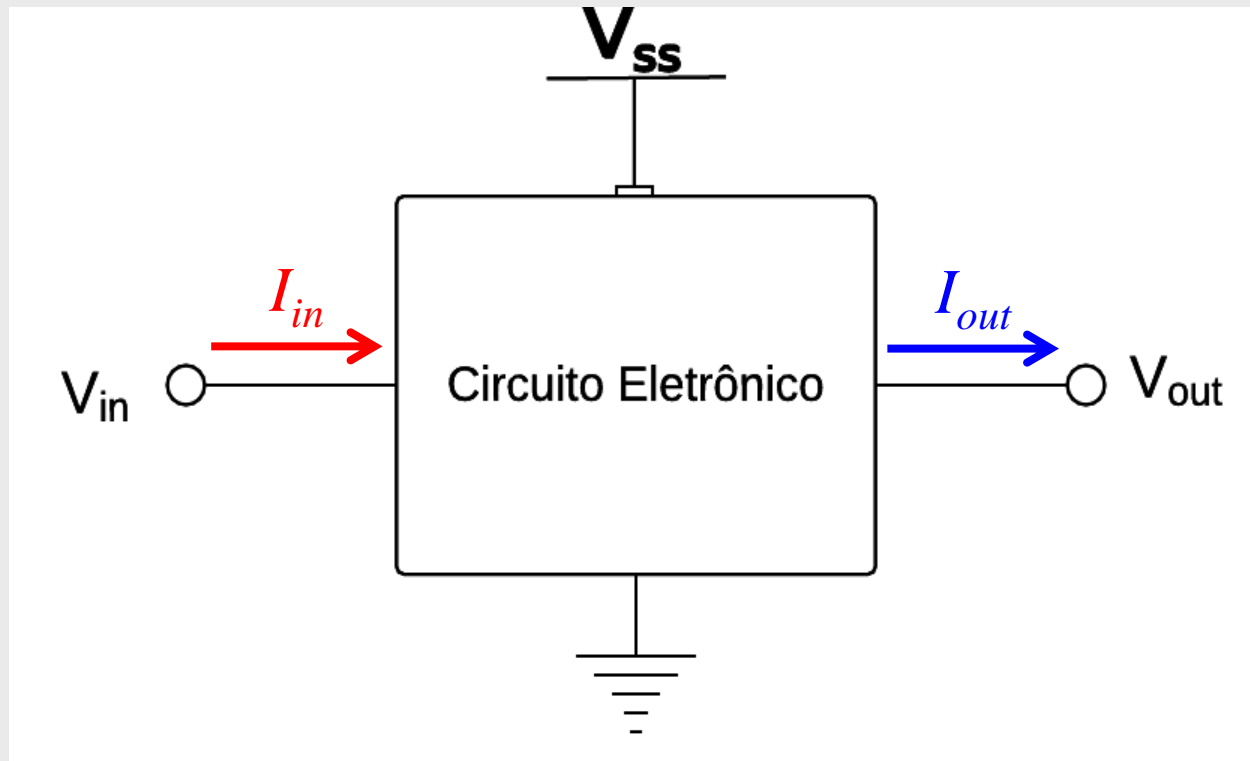
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:



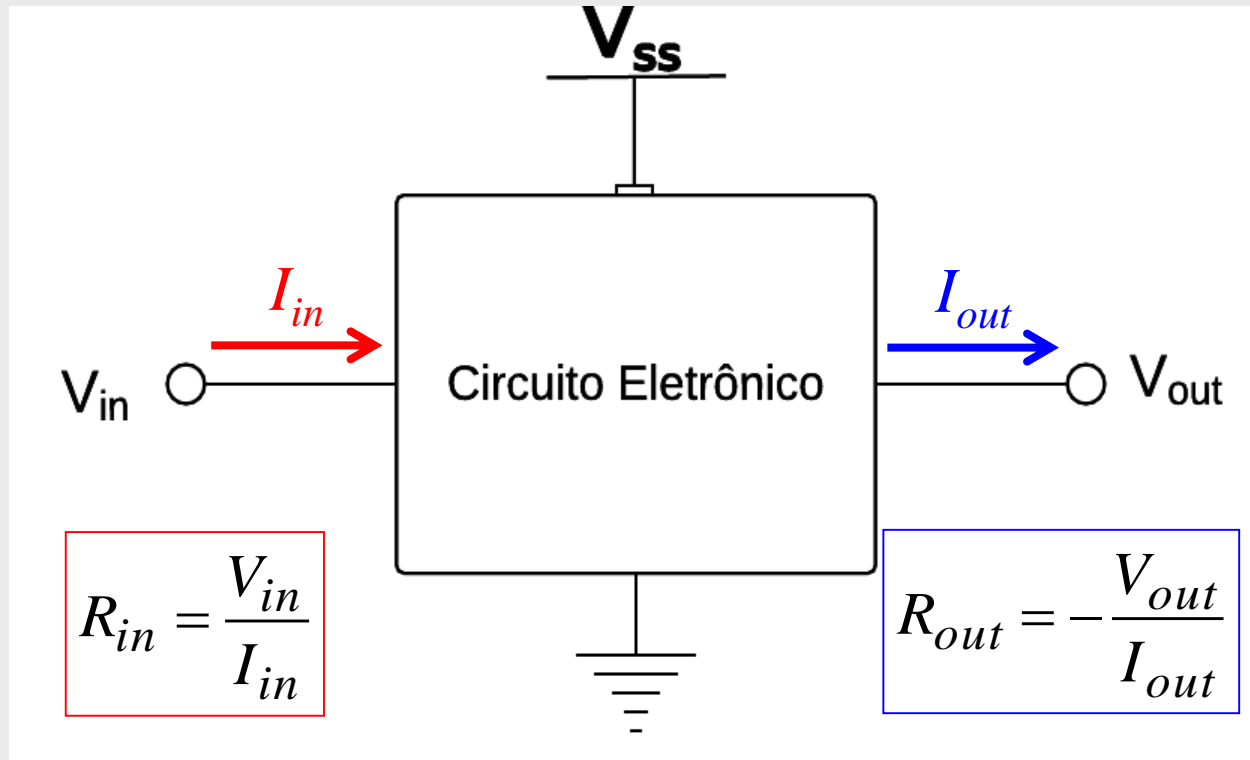
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:



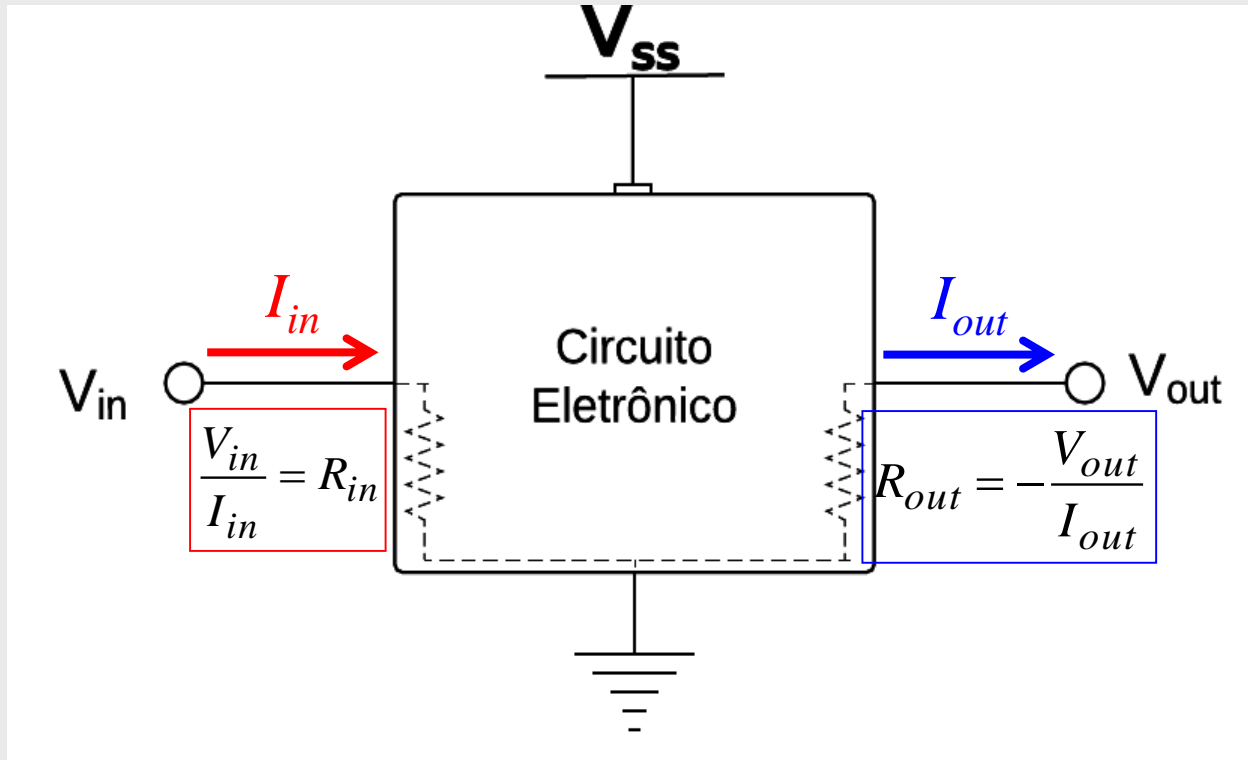
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:



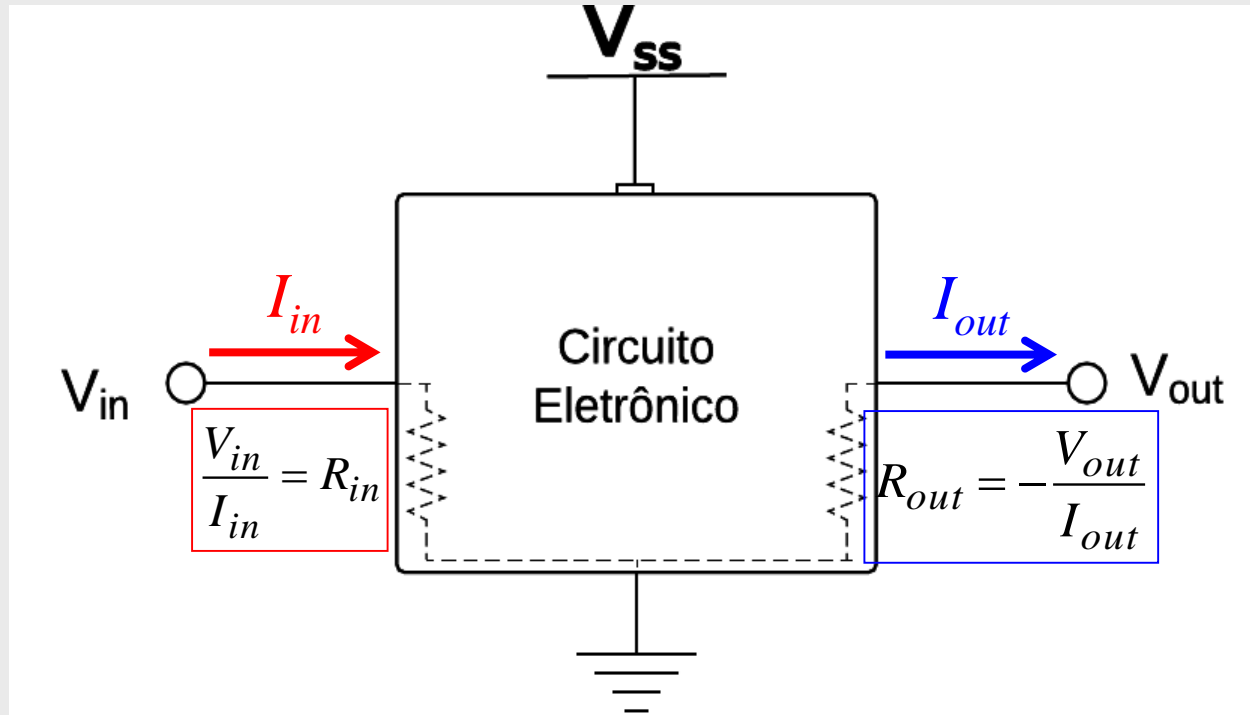
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

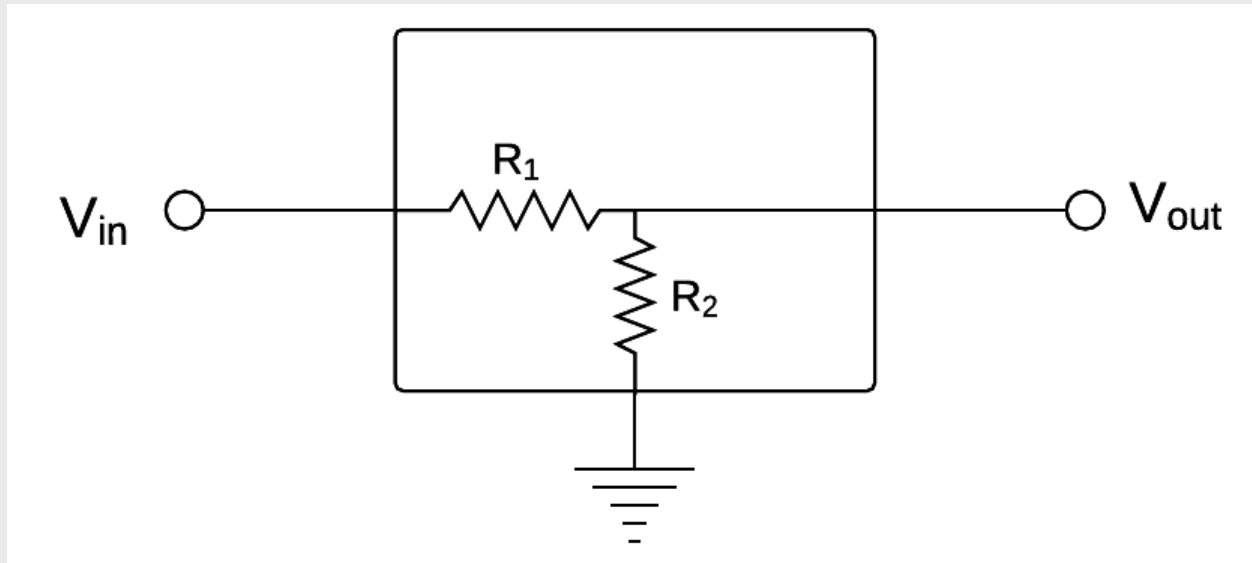


Resistências (impedâncias) virtuais, que modelam o comportamento elétrico do circuito conforme visto por outros circuitos

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

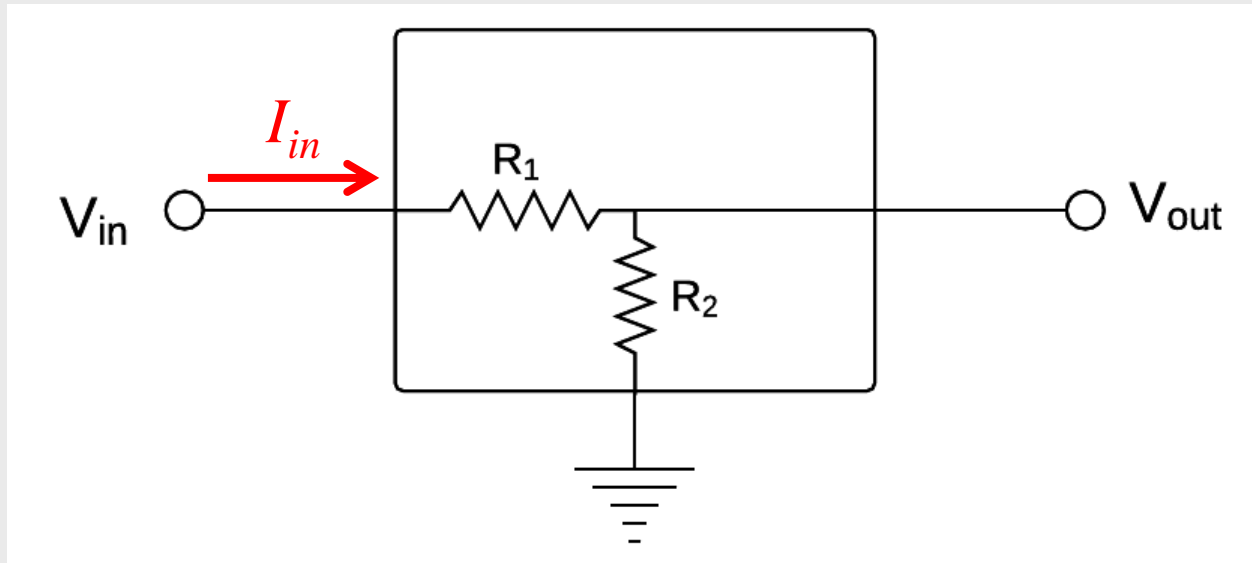
☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

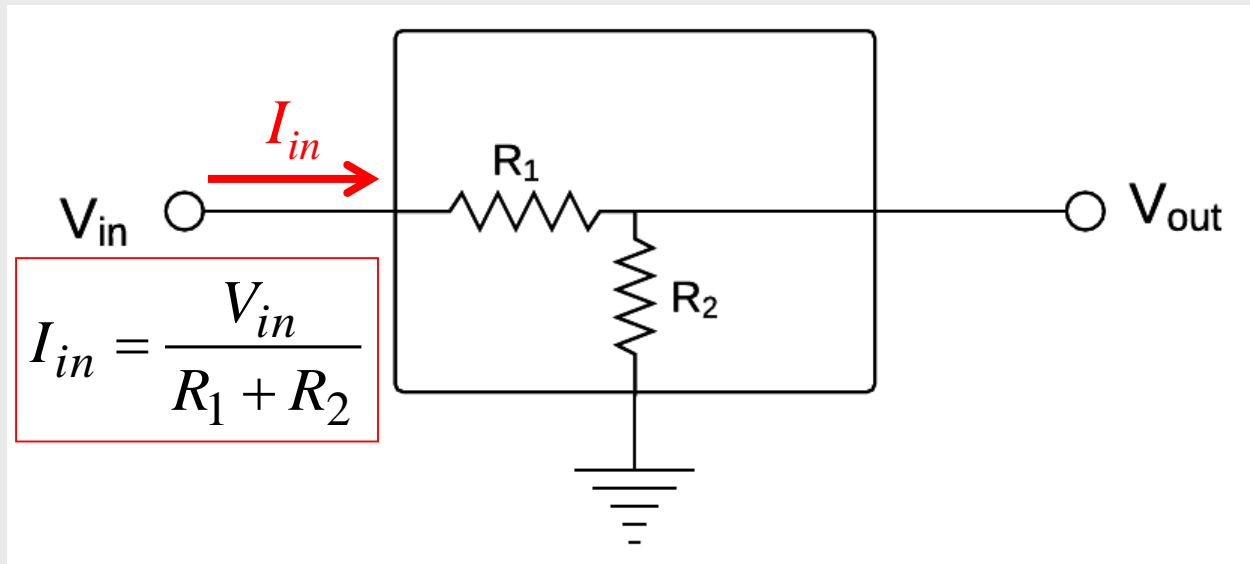
☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

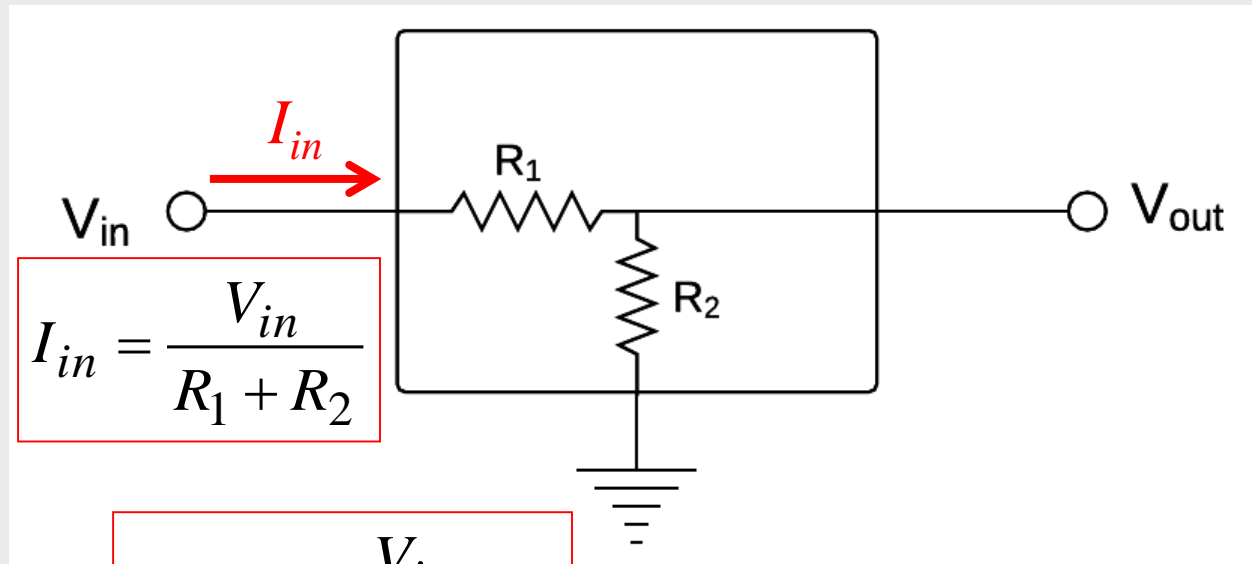
☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2}$$

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$$

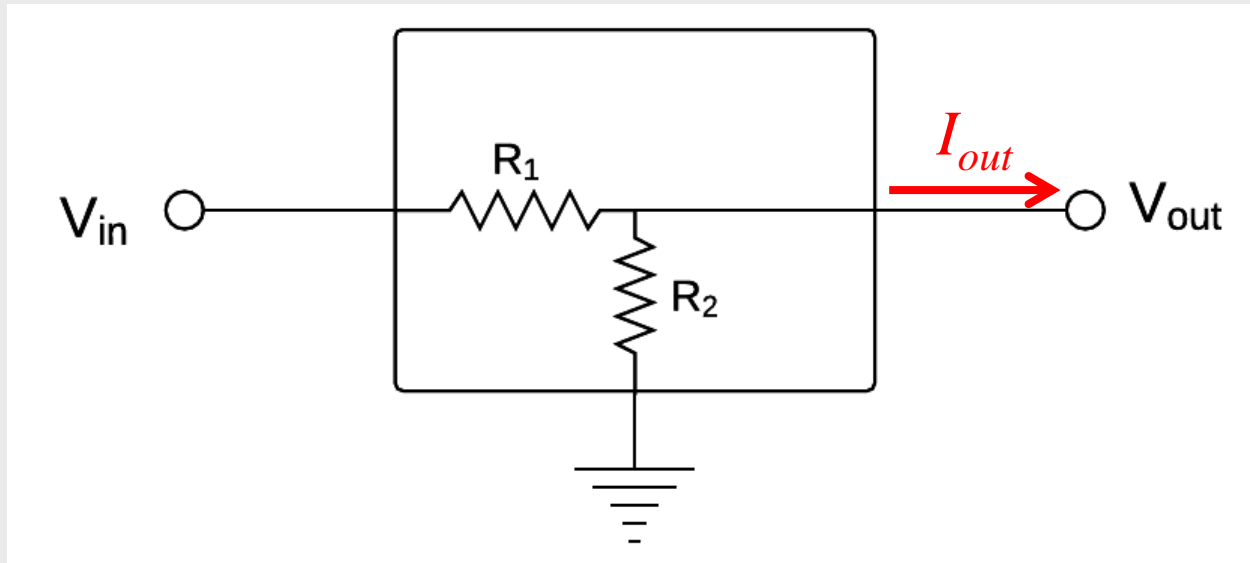
$$R_{in} = \frac{V_{in}}{\left(\frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \right)}$$

$$R_{in} = R_1 + R_2$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

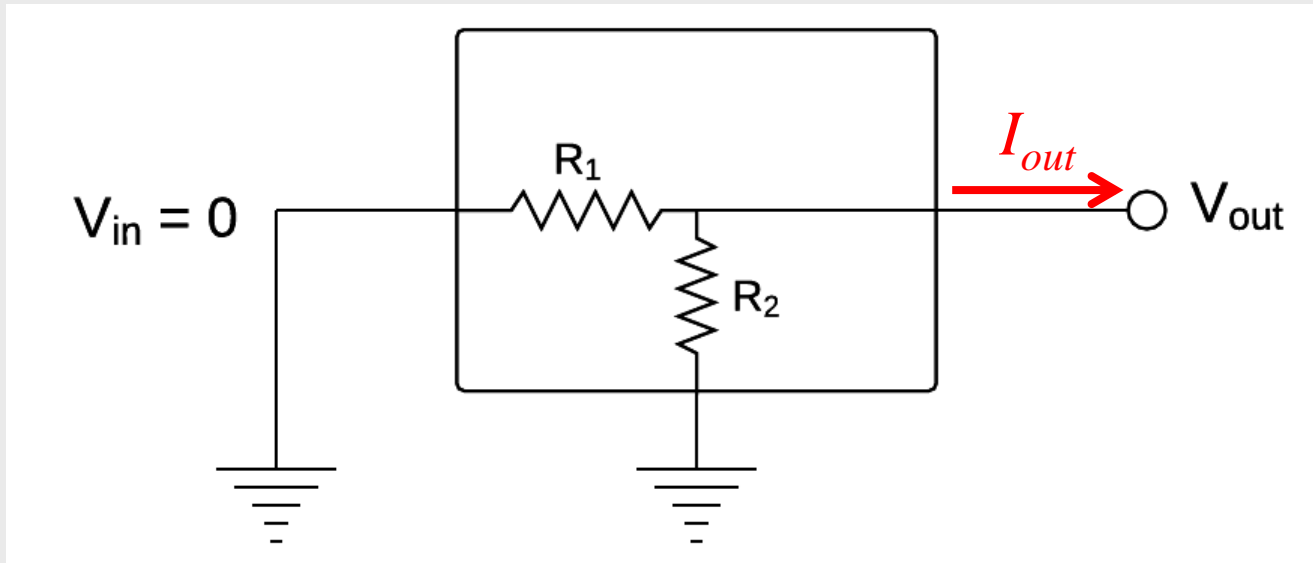
☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

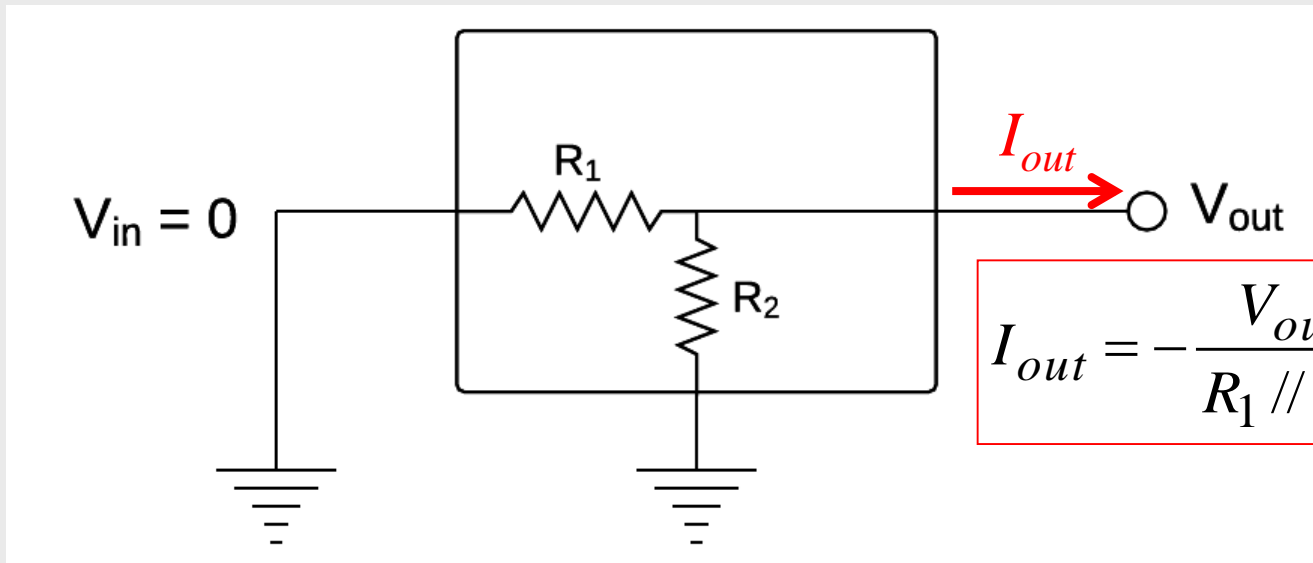
☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

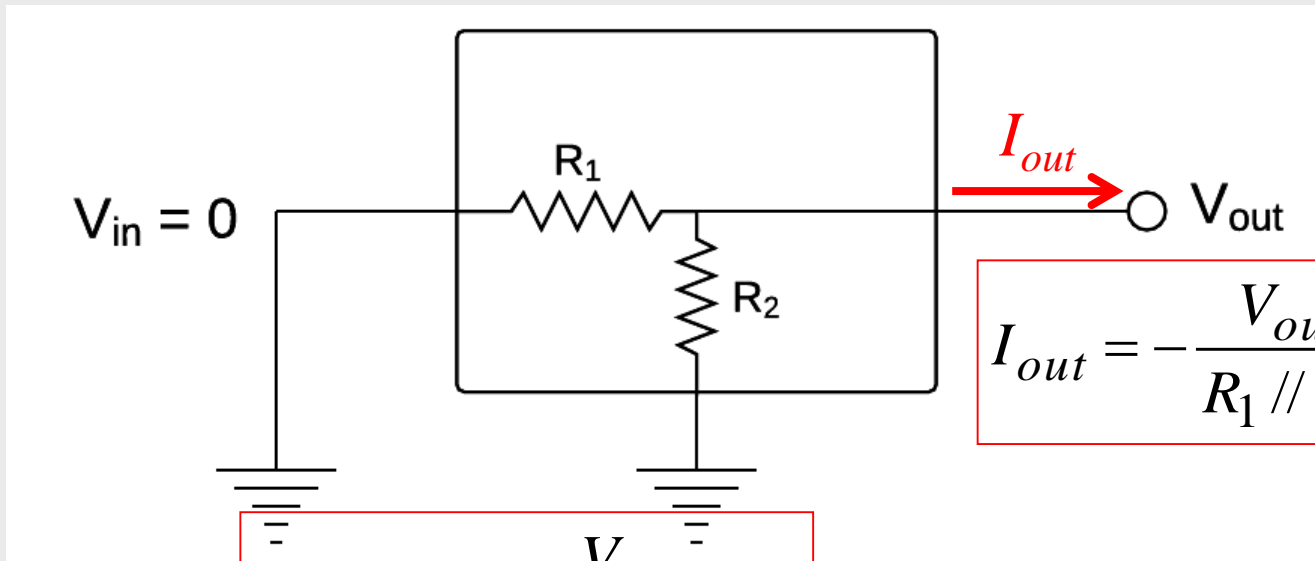
☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistência (Impedância) de Entrada/Saída:

☑ Para o Divisor Resistivo de Tensão:



$$I_{out} = -\frac{V_{out}}{R_1 // R_2}$$

$$R_{out} = -\frac{V_{out}}{I_{out}}$$

$$R_{out} = -\frac{V_{out}}{\left(-\frac{V_{out}}{R_1 // R_2}\right)}$$

$$R_{out} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitância

- Um capacitor é um **elemento passivo** comumente encontrado em circuitos eletrônicos
 - ⊗ Tem a capacidade de **armazenar carga elétrica**.
 - ⊗ Gera uma tensão em seus terminais que é **proporcional à carga Q** armazenada.

$$V = Q / C \quad \rightarrow \quad Q = C V$$

- A constante de proporcionalidade C é denominada **capacitância**.

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitância

- Unidade SI: **farad (F)**
- Esta unidade é derivada do ampere e do volt (e do segundo):

$$1 \text{ F} \equiv 1 \text{ A.s / V}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitância

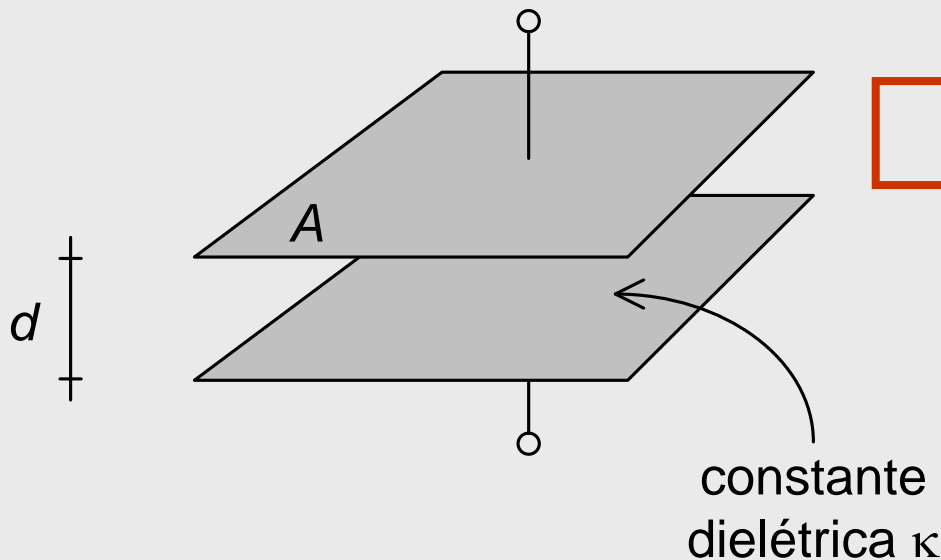
- Unidade SI: **farad (F)**
- No caso de circuitos eletrônicos utilizados em instrumentação, 1 F é um valor **excessivamente grande**:
 - ☒ milifarad ($1 \text{ mF} = 1 \times 10^{-3} \text{ F}$)
 - ☒ microfarad ($1 \text{ } \mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} \text{ F}$)
 - ☒ nanofarad ($1 \text{ nF} = 1 \times 10^{-9} \text{ F}$)
 - ☒ picofarad ($1 \text{ pF} = 1 \times 10^{-12} \text{ F}$)



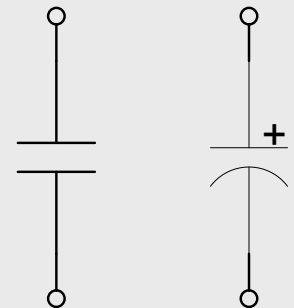
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores

- Fisicamente, um capacitor pode ser descrito como **duas placas finas e paralelas** de um metal separadas por um **material isolante** (dielétrico).

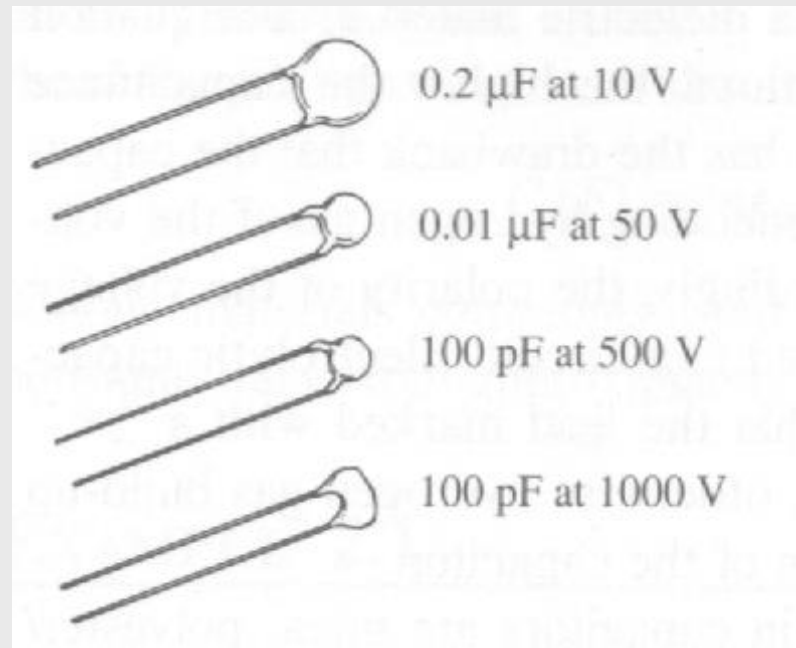


$$C = \kappa \varepsilon_0 A / d$$



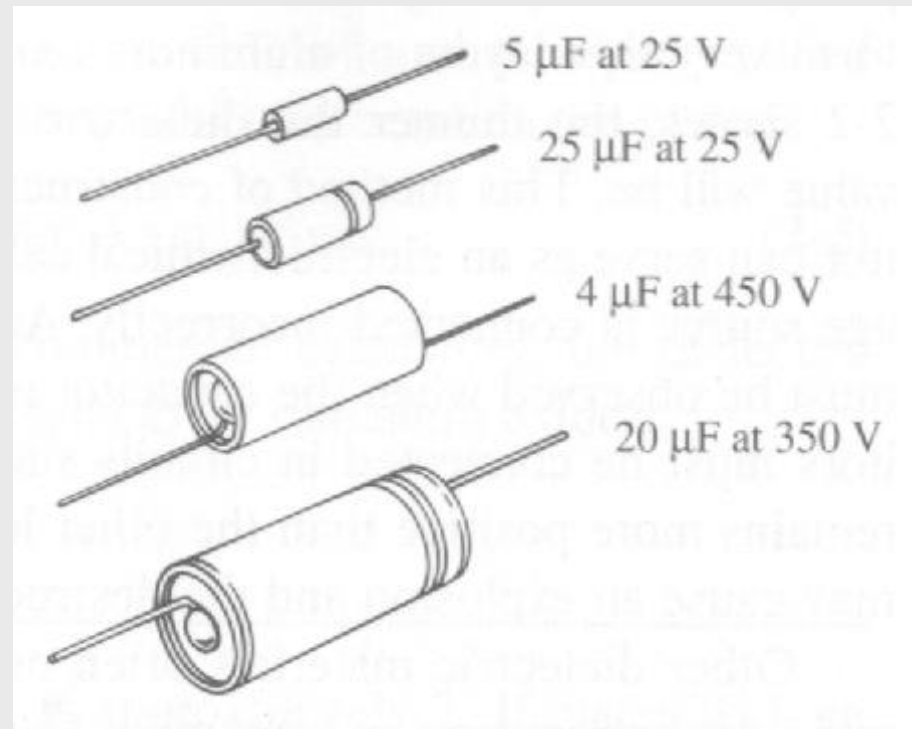
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores cerâmicos



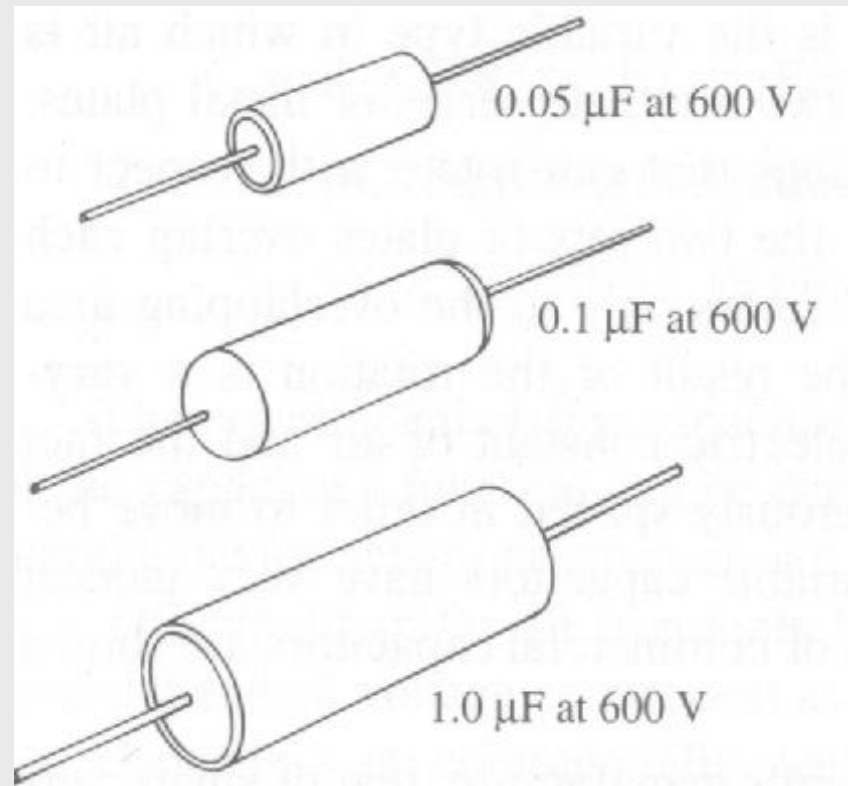
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores eletrolíticos



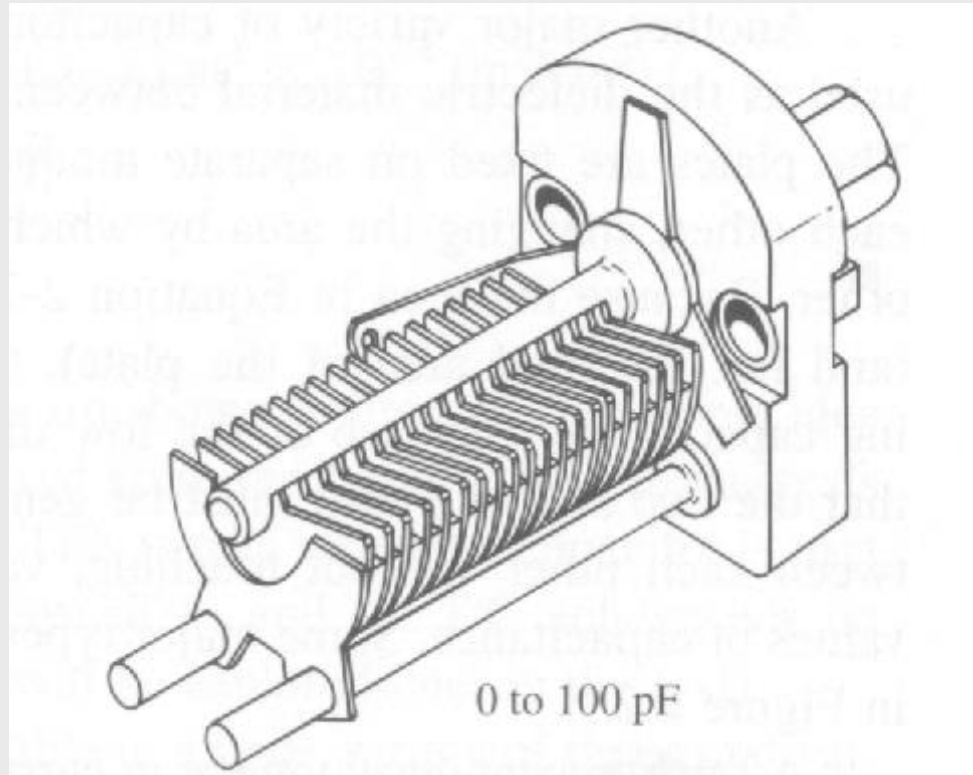
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores de mylar



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitor variável



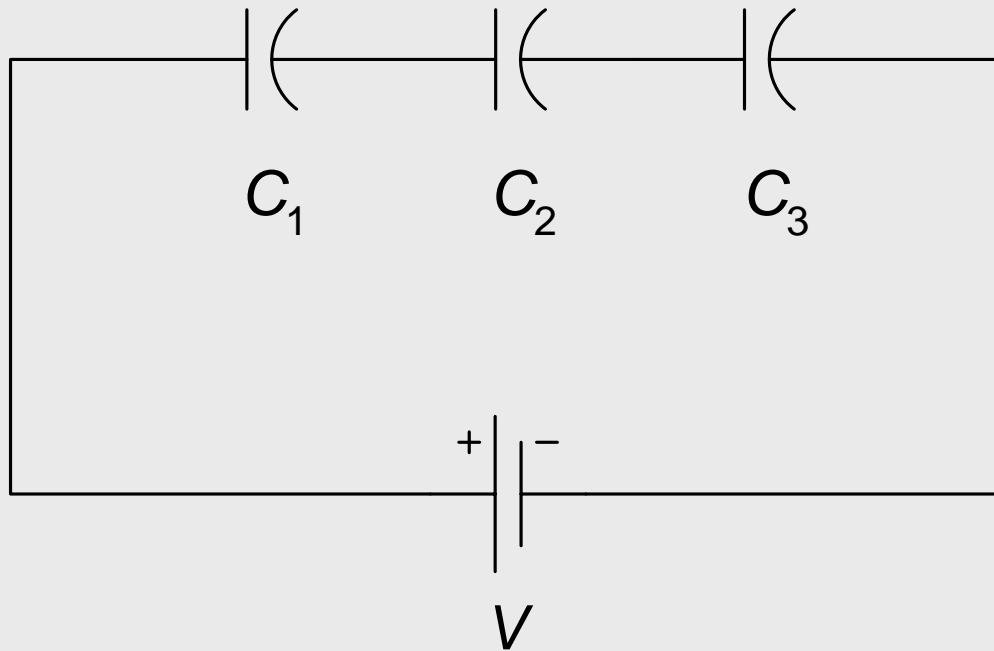
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores

Tipo	Faixa de Capacitância	Tensão Máxima
variável	5 a 500 pF	500 V
cerâmico	1000 pF a 1 μ F	2000 V
óleo	0,01 a 1 μ F	10000 V
mica	100 a 5000 pF	10000 V
filme	0,01 a 50 μ F	1000 V
tântalo (el.)	0,01 a 3000 μ F	depende de C
alumínio (el.)	0,1 a 100000 μ F	depende de C

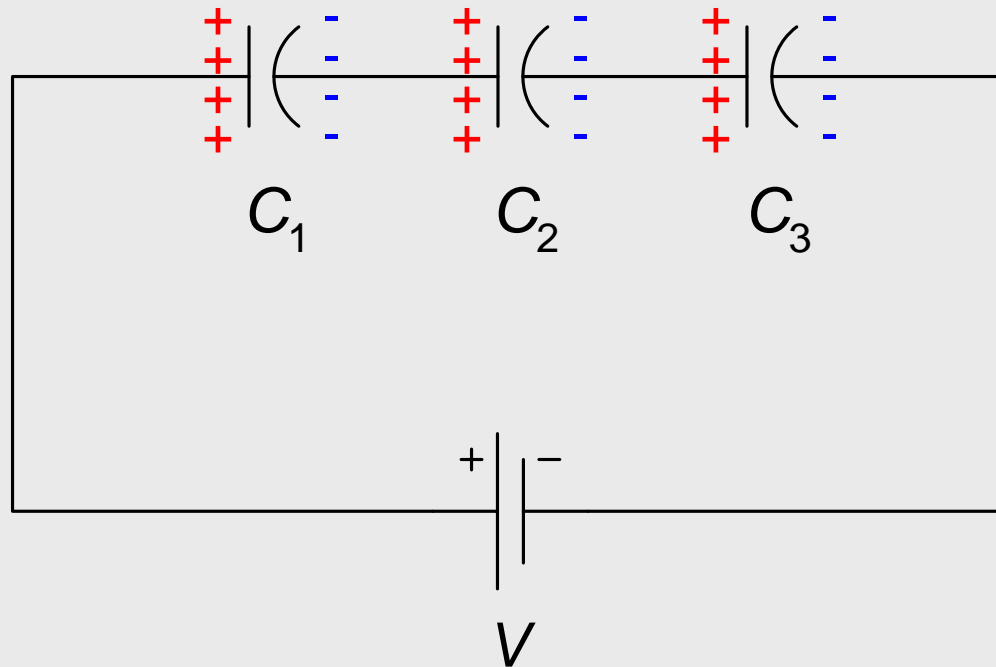
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores em série



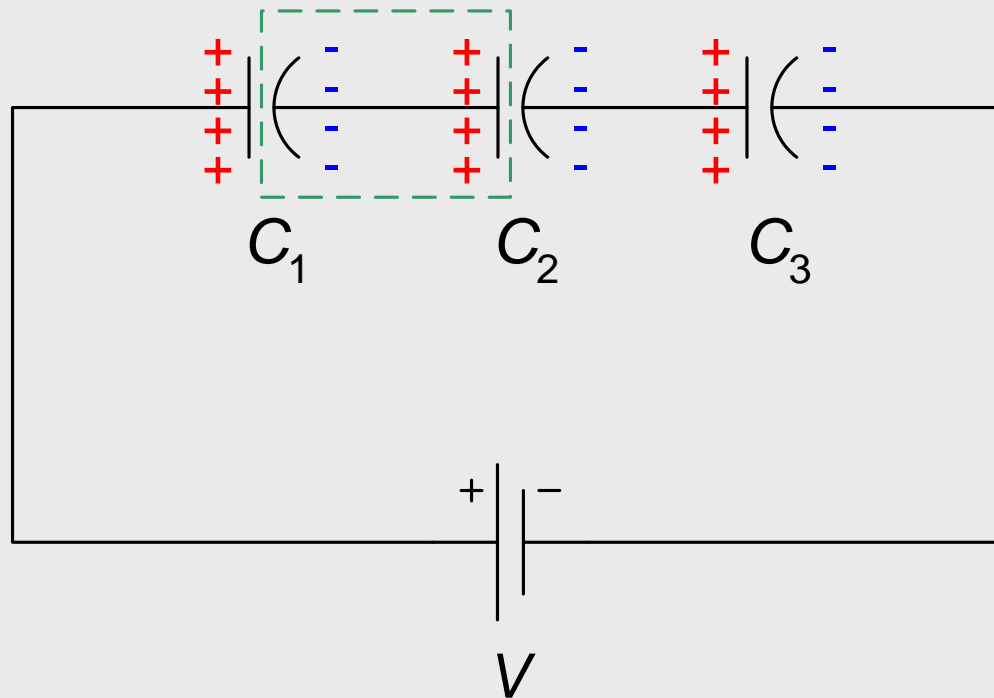
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores em série



2.1) Noções de Eletricidade

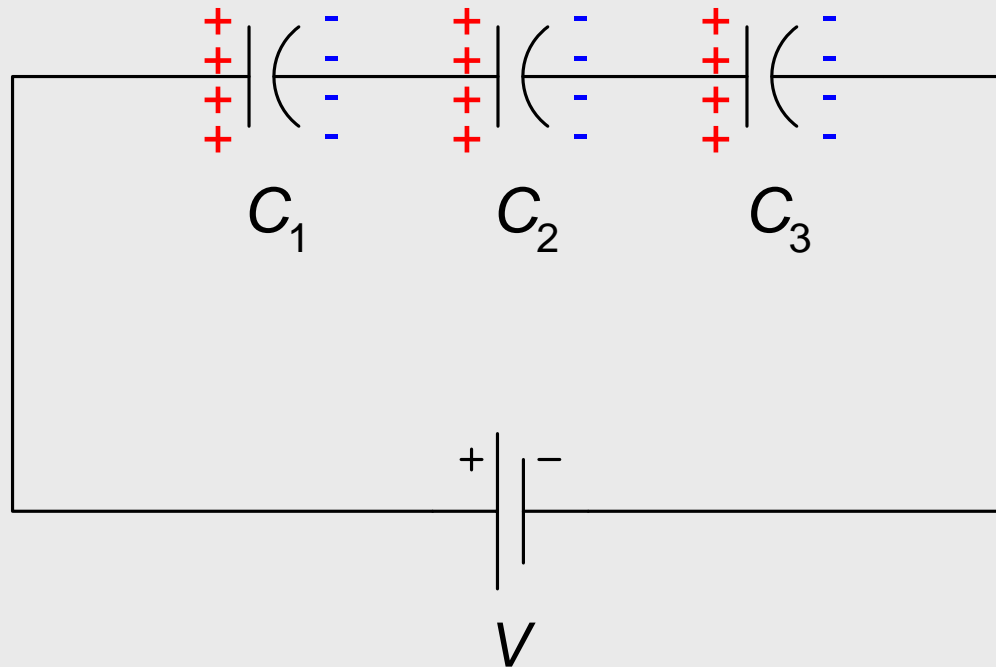
⌘ Capacitores em série



$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

2.1) Noções de Eletricidade

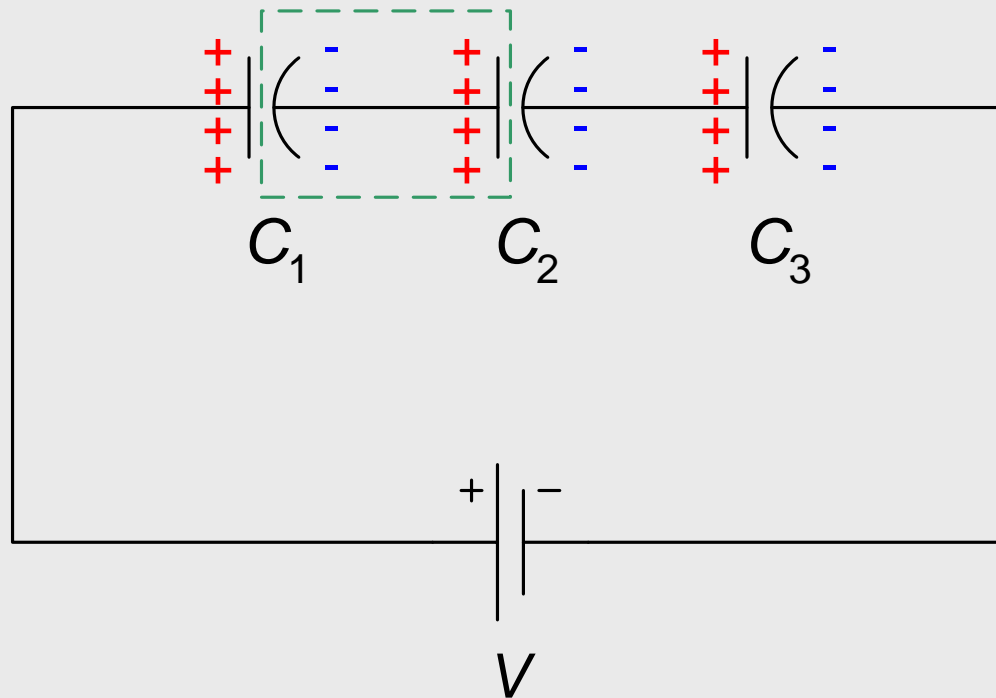
⌘ Capacitores em série



$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

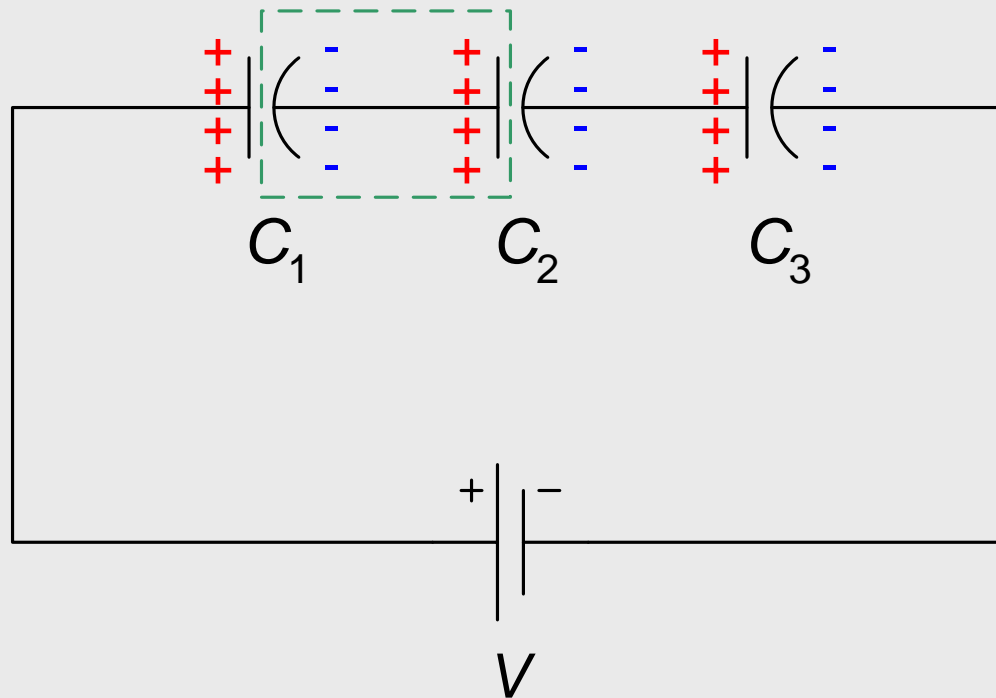
⌘ Capacitores em série



$$V = Q_1 / C_1 + Q_2 / C_2 + Q_3 / C_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

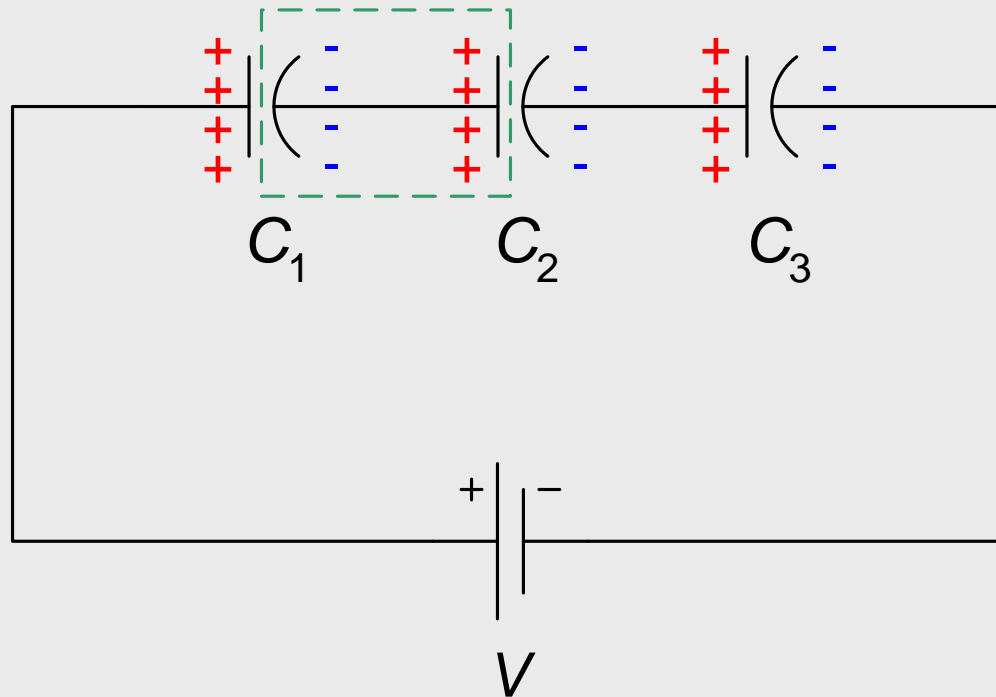
⌘ Capacitores em série



$$V = Q / C_1 + Q / C_2 + Q / C_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

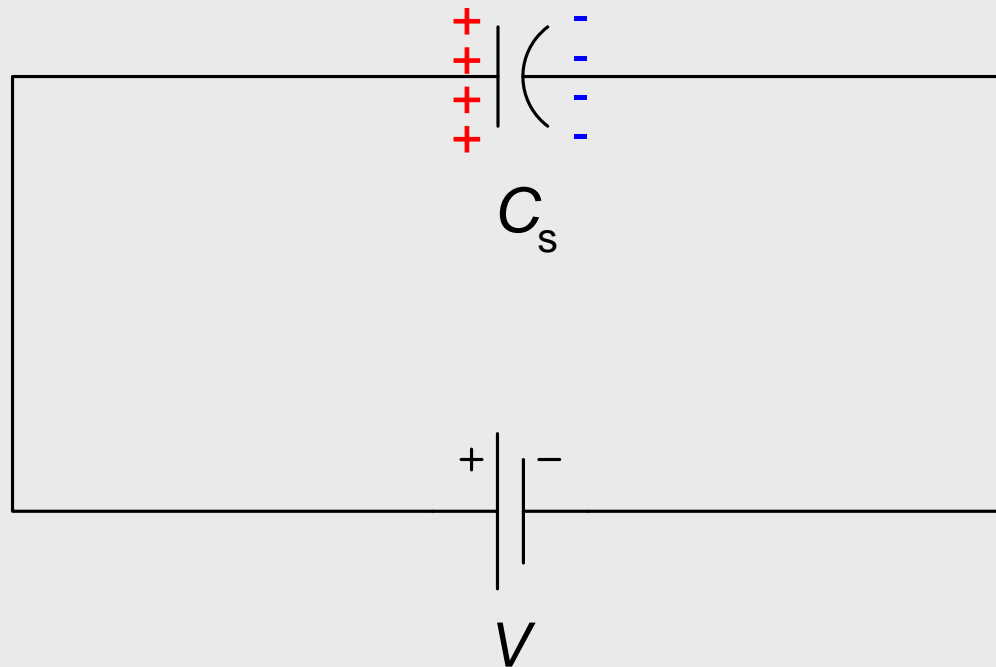
⌘ Capacitores em série



$$V/Q = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

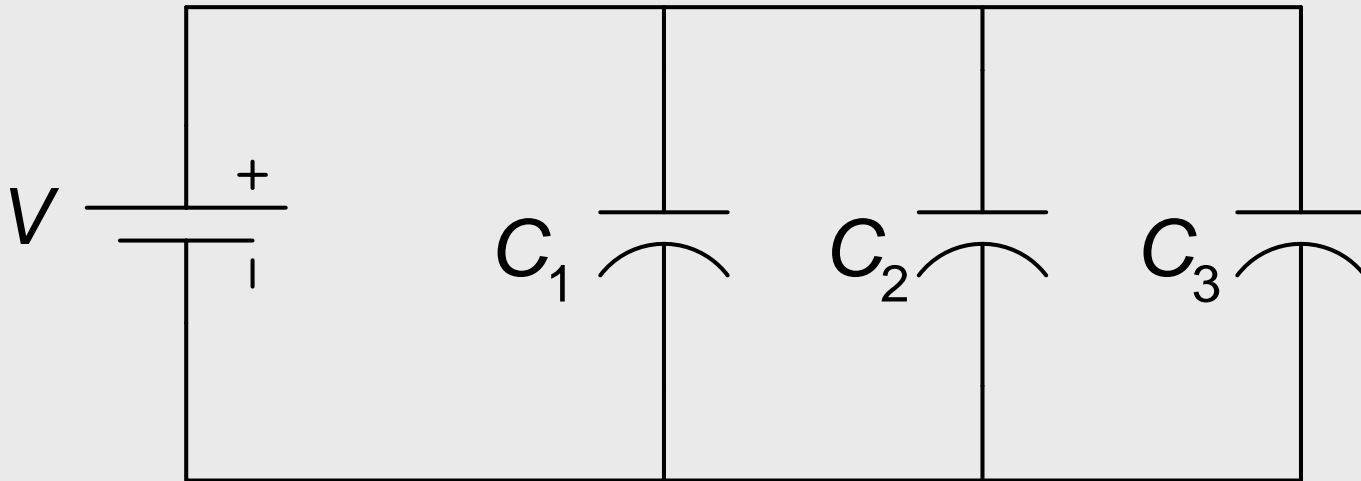
⌘ Capacitores em série



$$1 / C_s = 1 / C_1 + 1 / C_2 + 1 / C_3$$

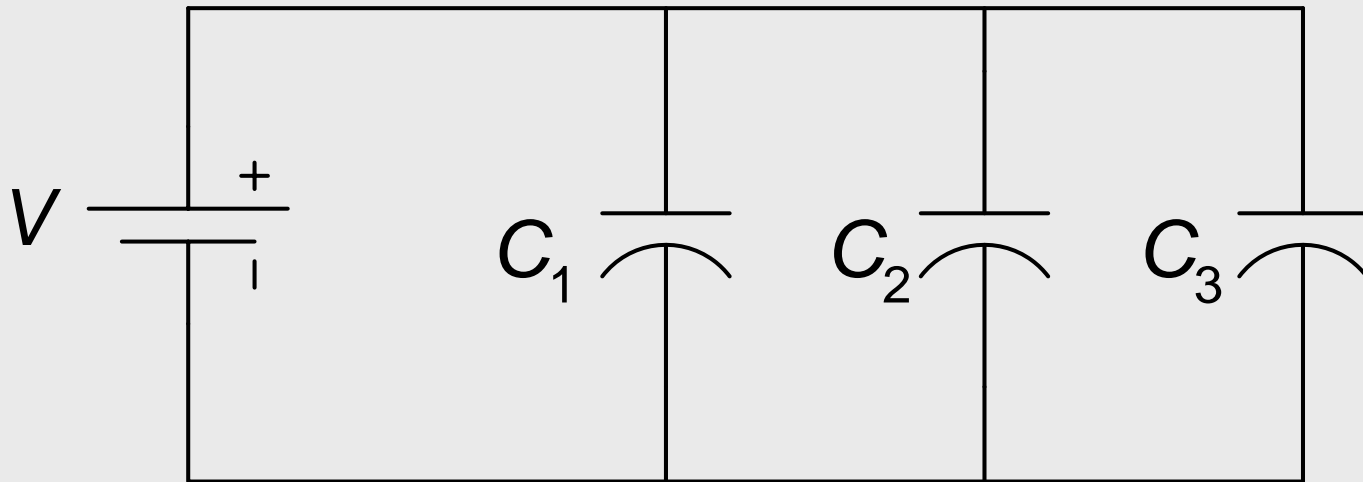
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores em paralelo



2.1) Noções de Eletricidade

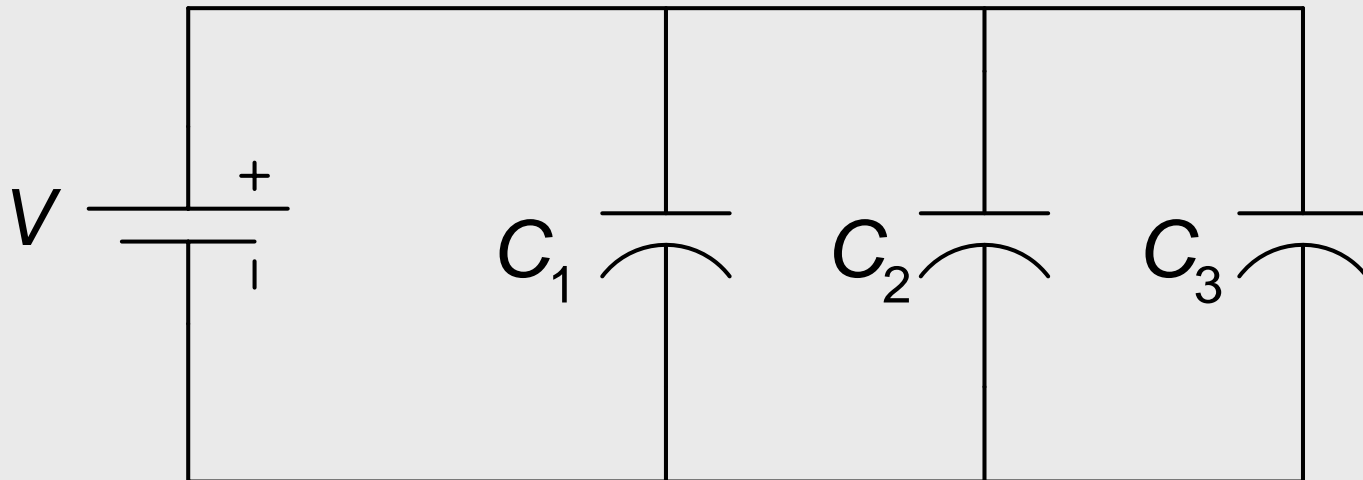
⌘ Capacitores em paralelo



$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

2.1) Noções de Eletricidade

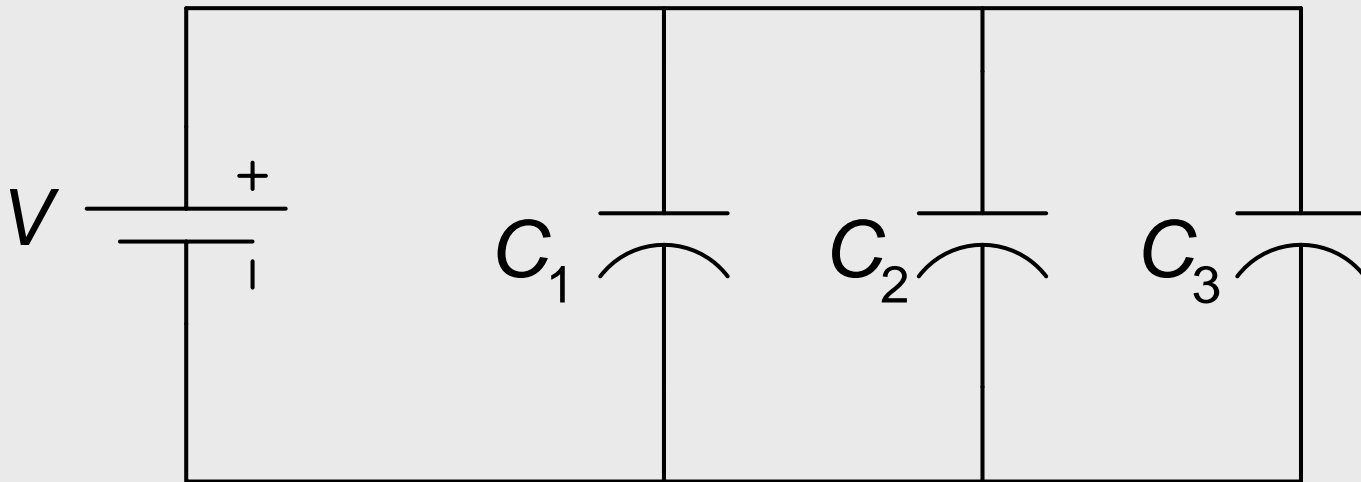
⌘ Capacitores em paralelo



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

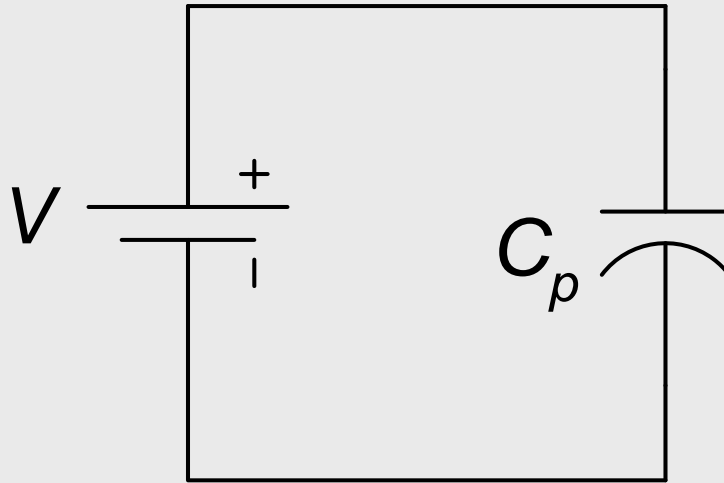
⌘ Capacitores em paralelo



$$C_p V = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitores em paralelo



$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Indutância

- Um indutor é outro **elemento passivo** muito encontrado em circuitos eletrônicos
 - ⊗ Tem a capacidade de **"armazenar" corrente elétrica.**
 - ⊗ Gera uma tensão em seus terminais que é proporcional à **variação da corrente** que o atravessa:

$$V = L (dI/dt)$$

- A constante de proporcionalidade L é denominada **indutância.**

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Indutância

- Unidade SI: **henry (H)**
- Esta unidade também é derivada do ampere e do volt (além do segundo):

$$1 \text{ H} \equiv 1 \text{ V.s / A}$$

2.1) Noções de Eletricidade

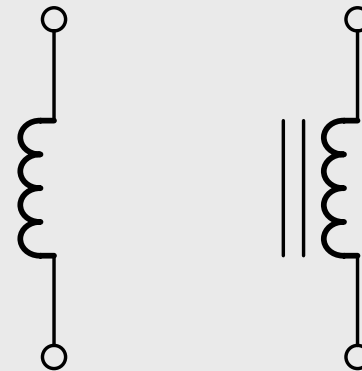
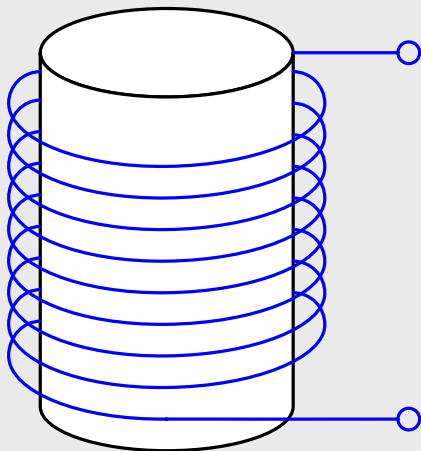
⌘ Indutância

- Unidade SI: **henry (H)**
- No caso de circuitos eletrônicos utilizados em instrumentação, 1 H é um valor “razoável”, mas podem ser usados alguns submúltiplos:
 - ⊗ milihenry ($1 \text{ mH} = 1 \times 10^{-3} \text{ H}$)
 - ⊗ microhenry ($1 \mu\text{H} = 1 \times 10^{-6} \text{ H}$)

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Indutores

- Fisicamente, um indutor é um **condutor enrolado**, normalmente ao redor de um **núcleo** de alta permeabilidade magnética (**ferro, ferrite**).



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Indutores em série e em paralelo

- Resistores: $V = R I$
- Indutores: $V = L (dI / dt)$

⌘ Relação de ambos os elementos com a corrente é **linear**

⌘ O **mesmo cálculo** para os resistores se aplica aos indutores

- $L_s = L_1 + L_2 + L_3$
- $1/L_p = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3$

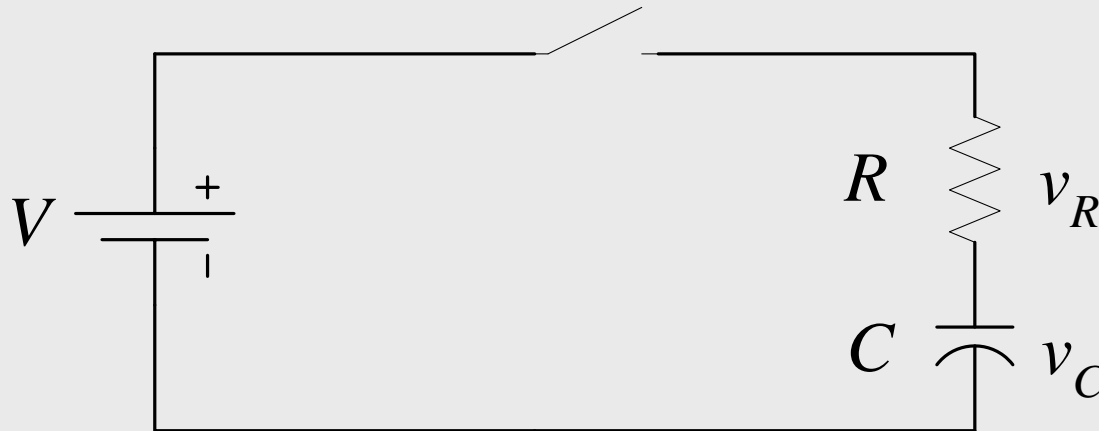
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

- Capacitores se comportam como **circuitos abertos** quando a corrente é dc (contínua)
- Contudo, supondo o capacitor inicialmente descarregado ($Q = 0$) haverá um **transiente de corrente**, durante o **carregamento** do mesmo.

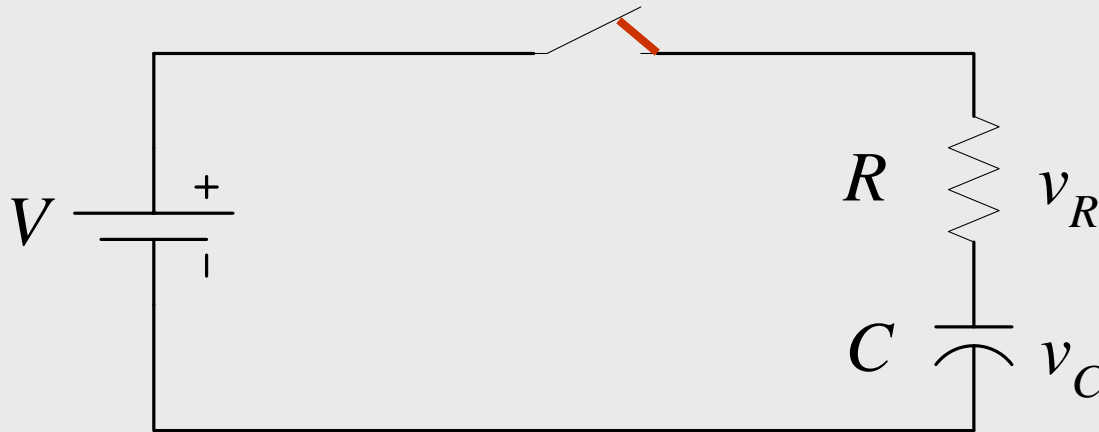
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

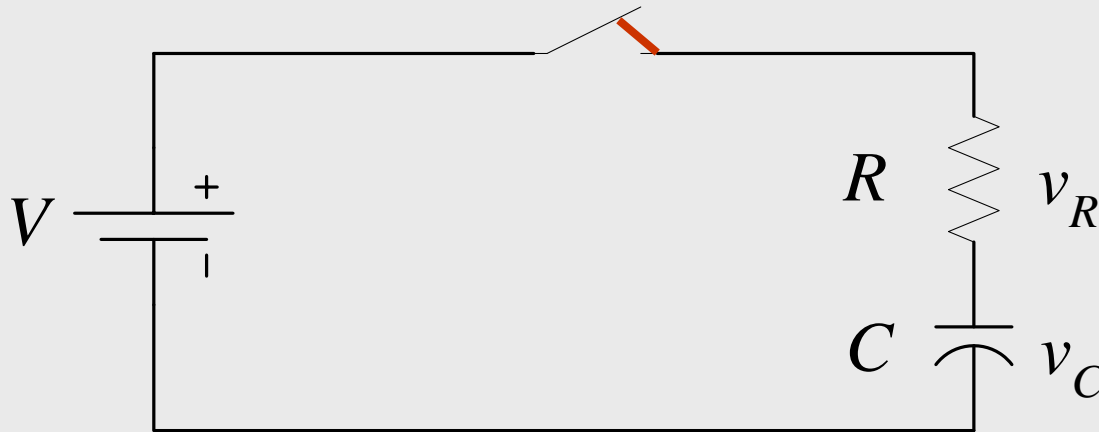


$$\text{Kirchoff: } V = v_R + v_C$$

$$\text{ou seja: } V = iR + q/C$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

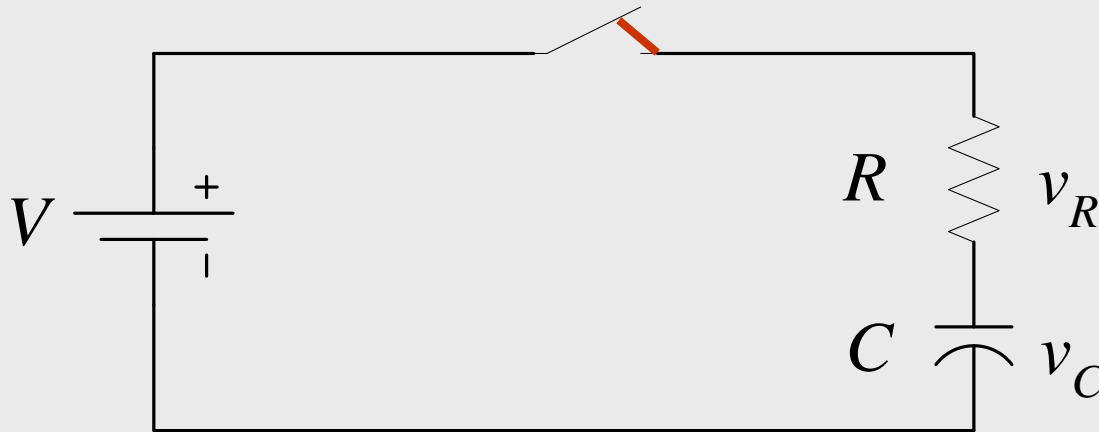


derivando: $0 = R (di / dt) + (1/C) (dq / dt)$

ou seja: $0 = R (di / dt) + (1/C) i$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

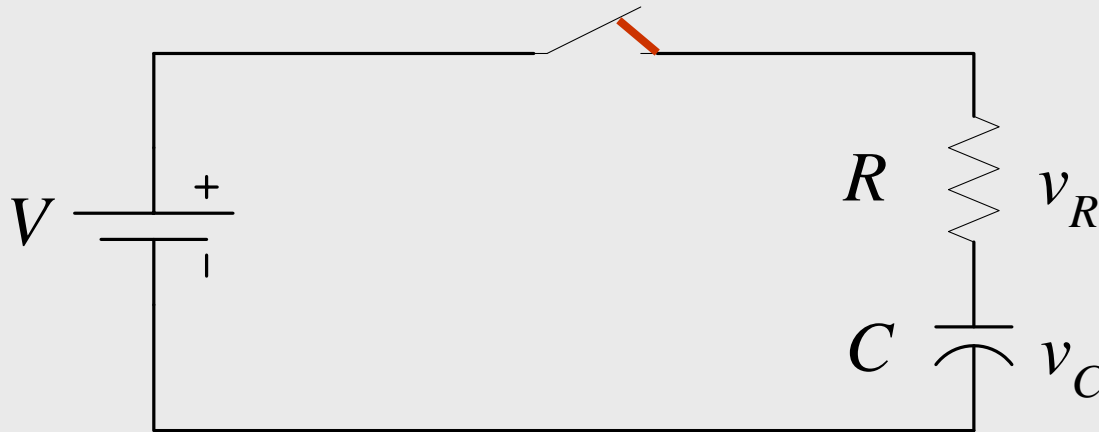


rearrumando: $(1/i) di = - (1/RC) dt$

integrando: $\ln(i) = - (1/RC) t + k$

2.1) Noções de Eletricidade

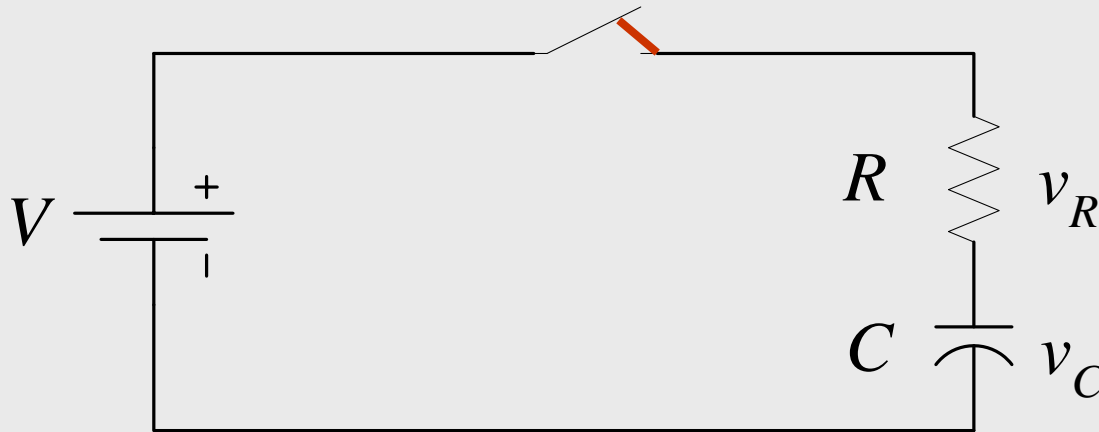
⌘ Circuitos RC



ou seja:
$$i(t) = (e^k) e^{-t/RC} = K e^{-t/RC}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

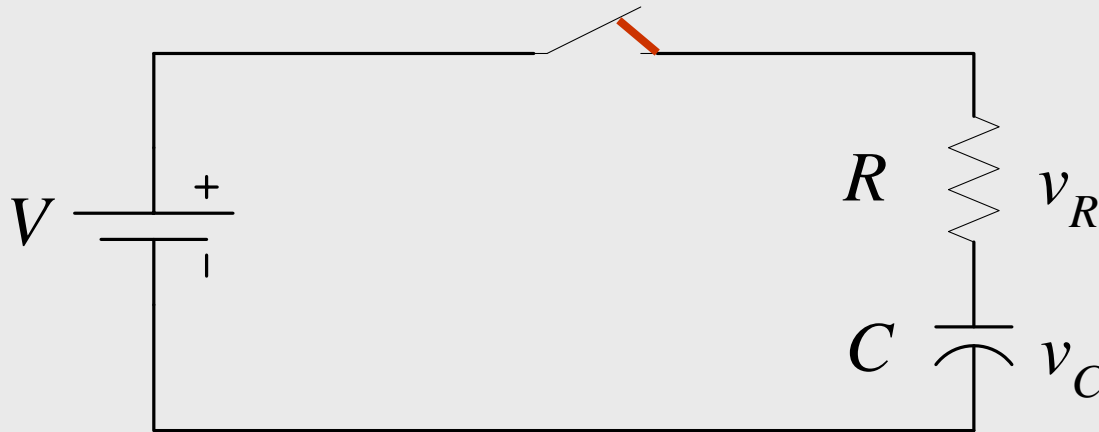


em $t = 0$: $q = 0$; $v_C = 0$; $i = V / R$

logo: $i(0) = K = V / R$

2.1) Noções de Eletricidade

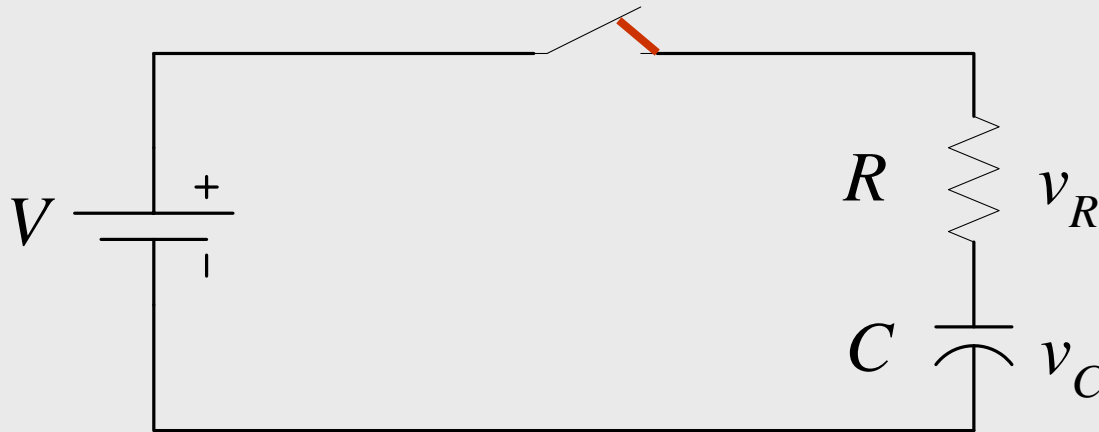
⌘ Circuitos RC



Finalmente: $i(t) = (V/R) e^{-t/RC}$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

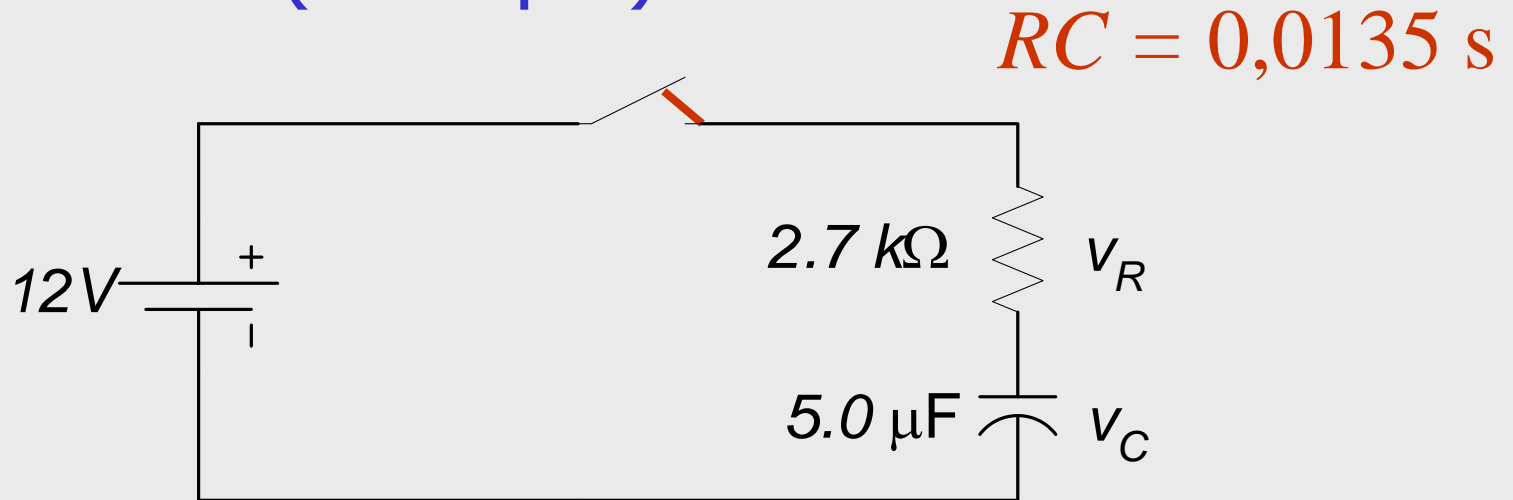


Tensões:

$$v_R(t) = V e^{-t/RC}$$
$$v_C(t) = V (1 - e^{-t/RC})$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC (exemplo)



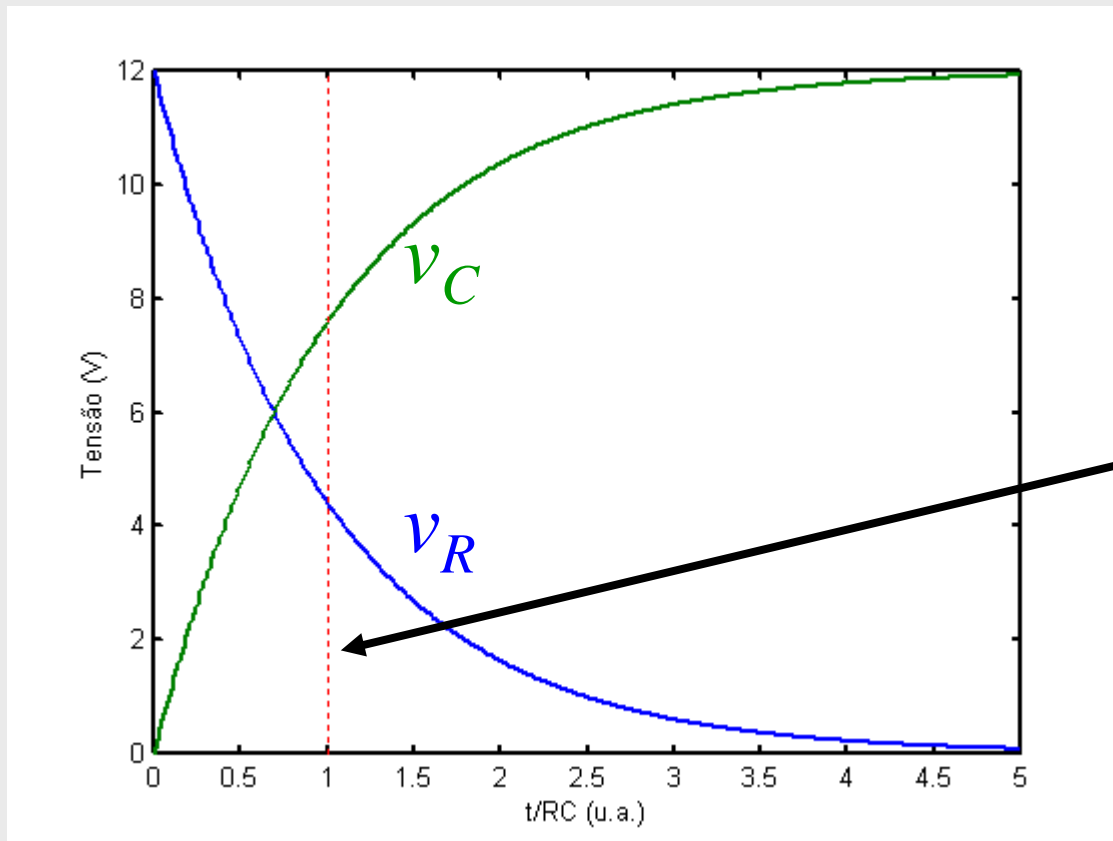
Tensões:

$$v_R(t) = 12 e^{-t/0,0135}$$

$$v_C(t) = 12 (1 - e^{-t/0,0135})$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC (exemplo)

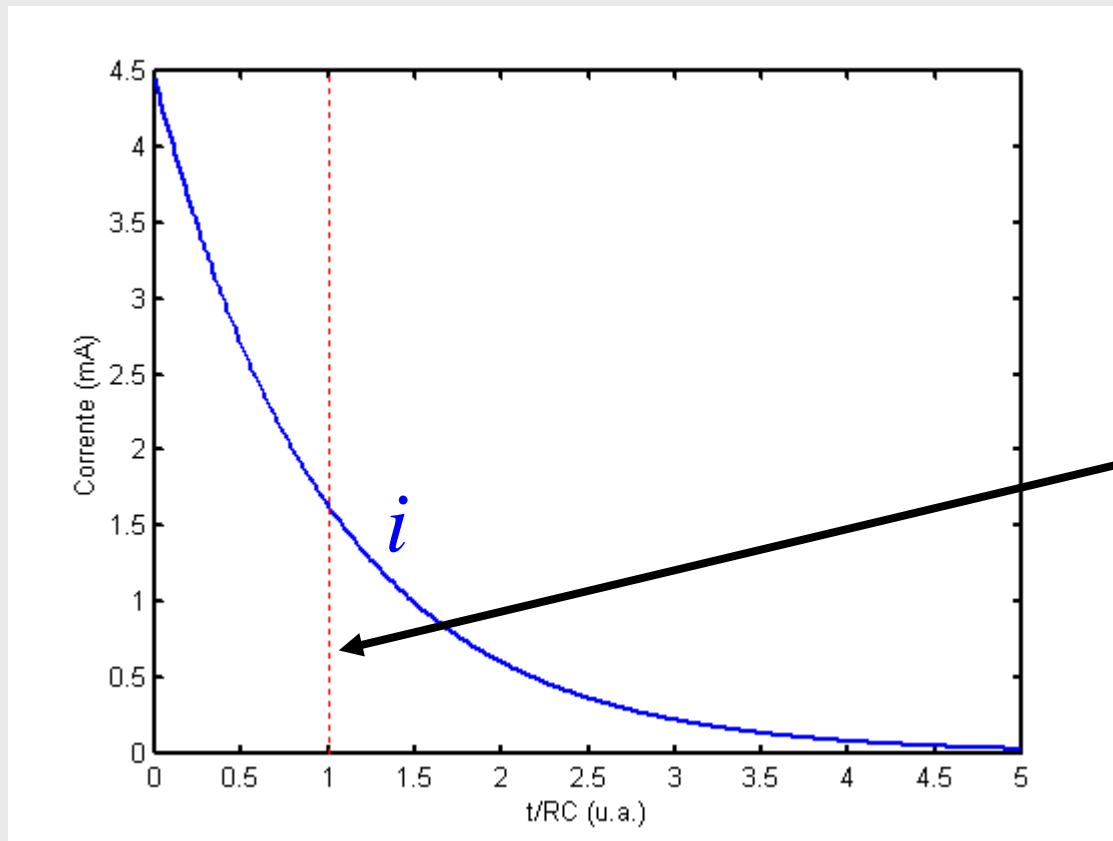


$$RC = 0,0135 \text{ s}$$

↑
constante de
tempo do
circuito RC

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC (exemplo)

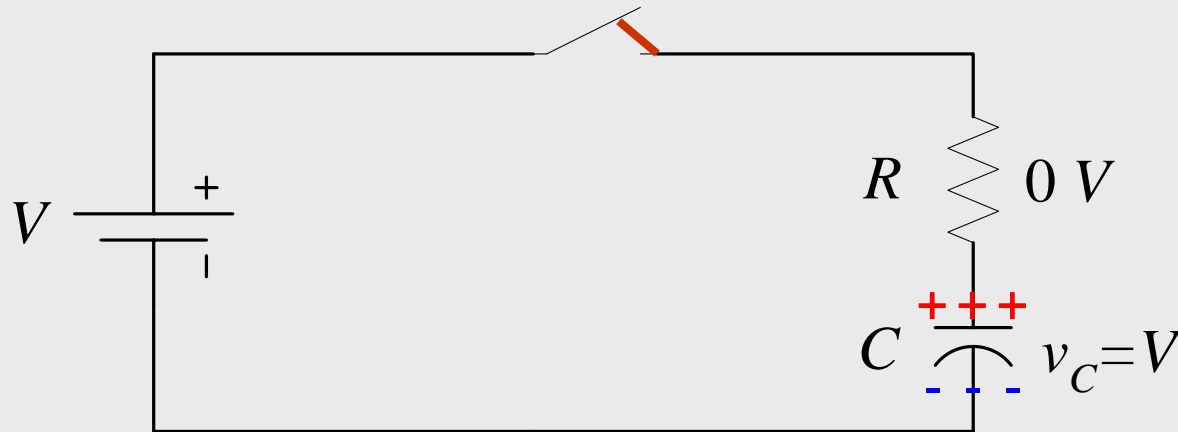


$$RC = 0,0135 \text{ s}$$

constante de
tempo do
circuito RC

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

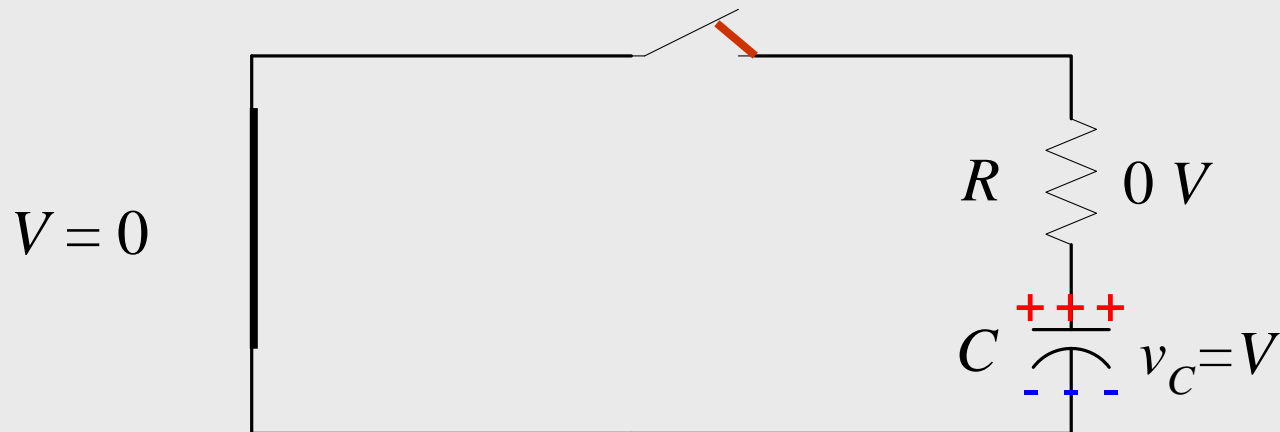


Ao final: $i(\infty) = 0$

$$v_R(\infty) = 0 ; v_C(\infty) = V$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

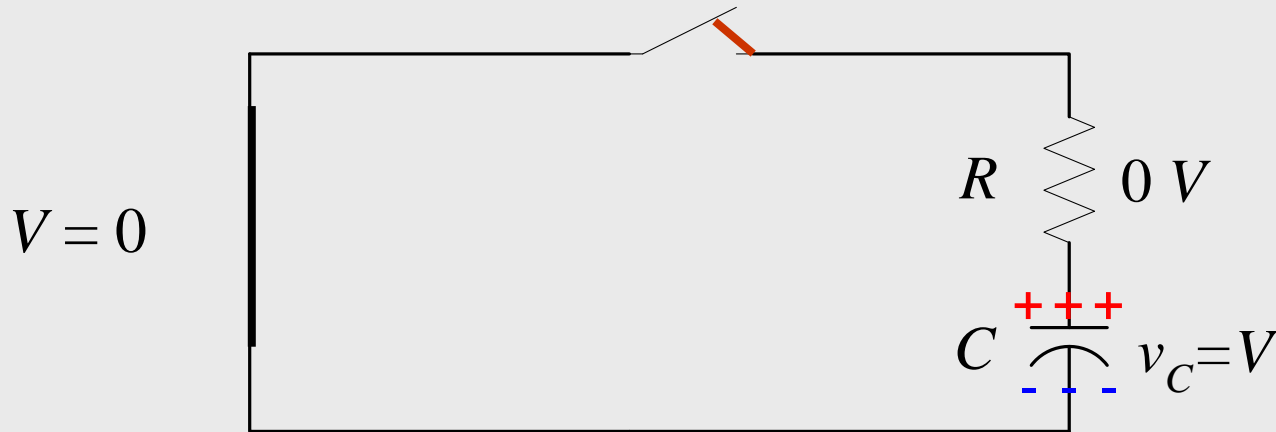


$$\text{Kirchoff: } v_R + v_C = 0$$

$$\text{ou seja: } i R + q / C = 0$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

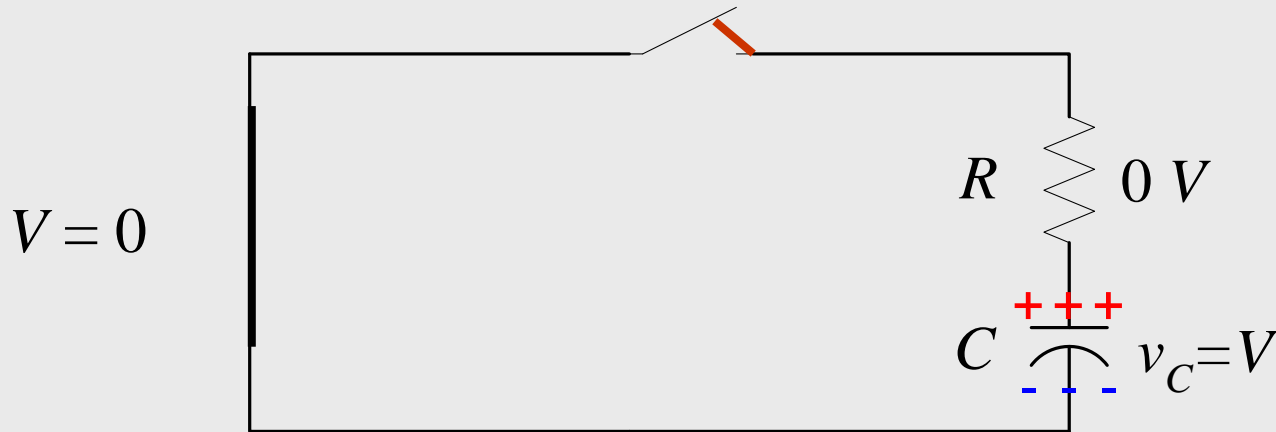


derivando: $0 = R (di / dt) + (1/C) (dq / dt)$

ou seja: $0 = R (di / dt) + (1/C) i$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

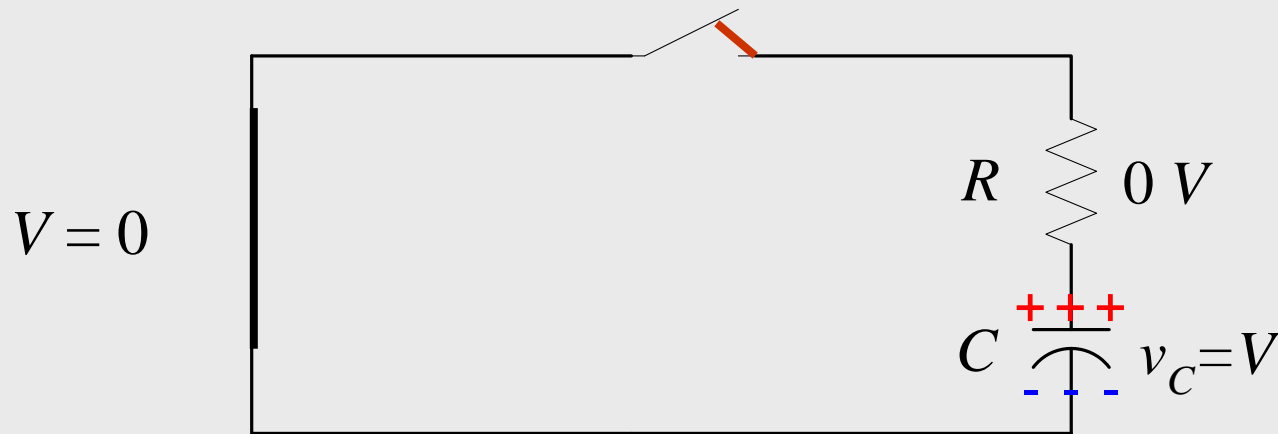


rearrumando: $(1/i) di = -(1/RC) dt$

integrando: $\ln(i) = -(1/RC) t + k$

2.1) Noções de Eletricidade

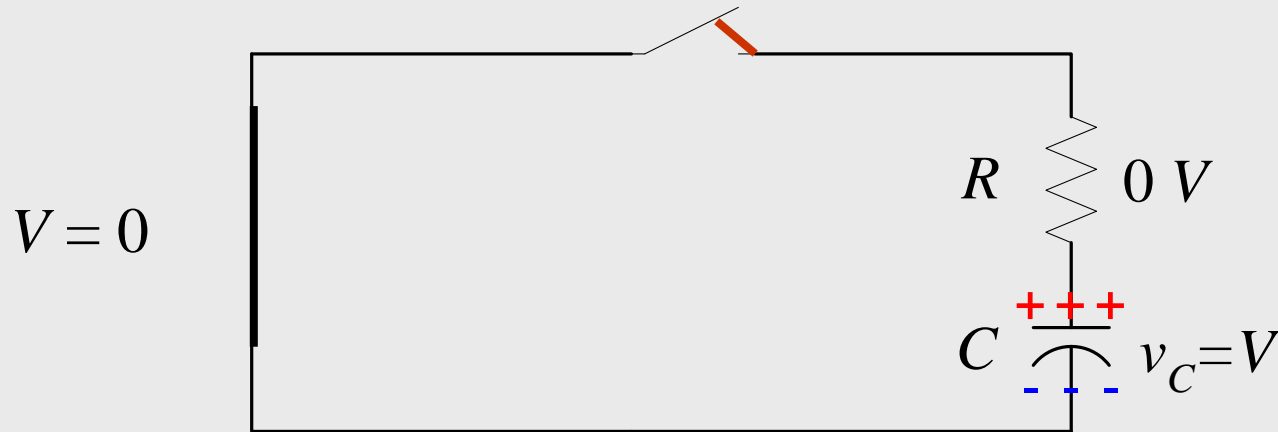
⌘ Circuitos RC



ou seja:
$$i(t) = (e^k) e^{-t/RC} = K e^{-t/RC}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

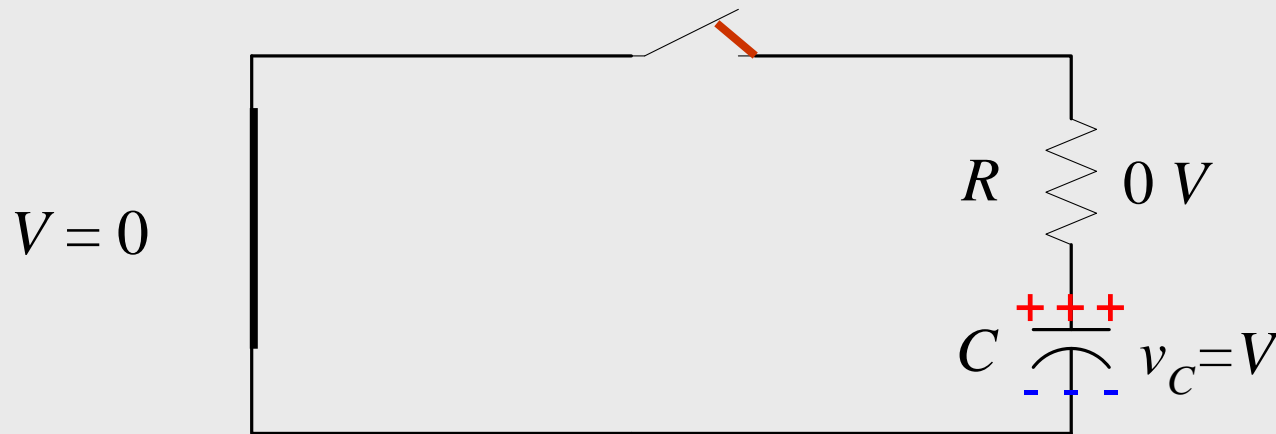


em $t = 0$: $v_C = V; i = -V / R$

logo: $i(0) = K = -V / R$

2.1) Noções de Eletricidade

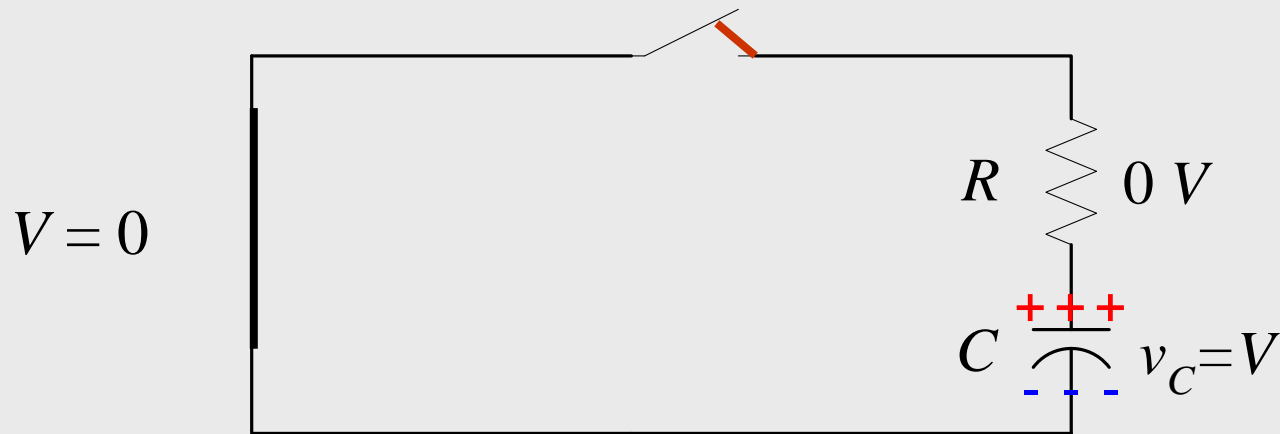
⌘ Circuitos RC



Finalmente: $i(t) = -(V/R) e^{-t/RC}$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC

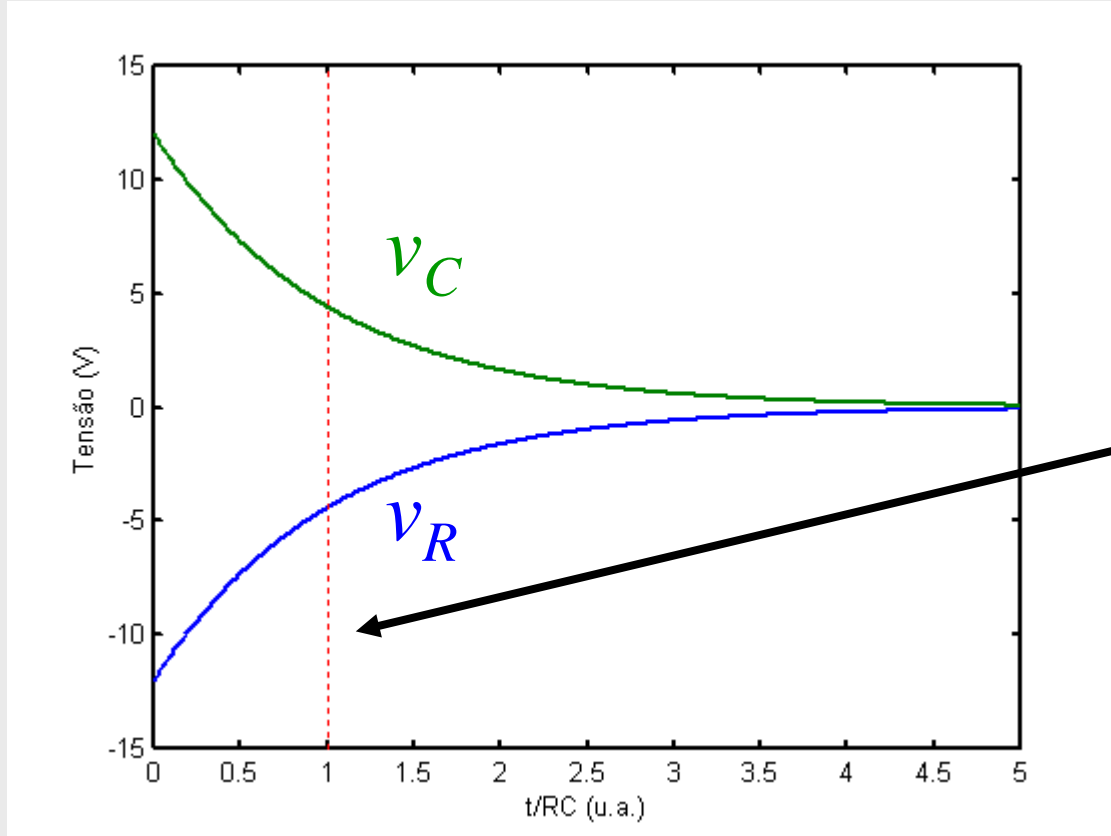


Tensões: $v_R(t) = -V e^{-t/RC}$

$$v_C(t) = V e^{-t/RC}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC (exemplo)

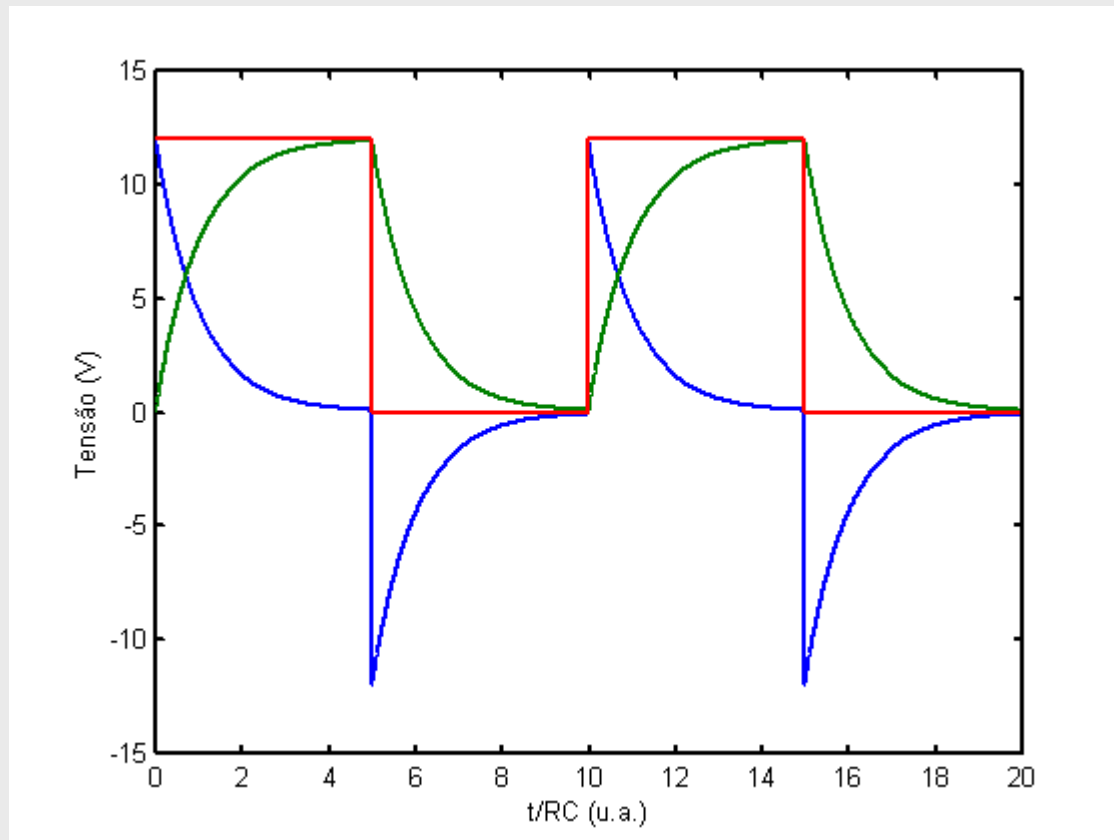


$$RC = 0,0135 \text{ s}$$

↑
constante de
tempo do
circuito RC

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC (exemplo)



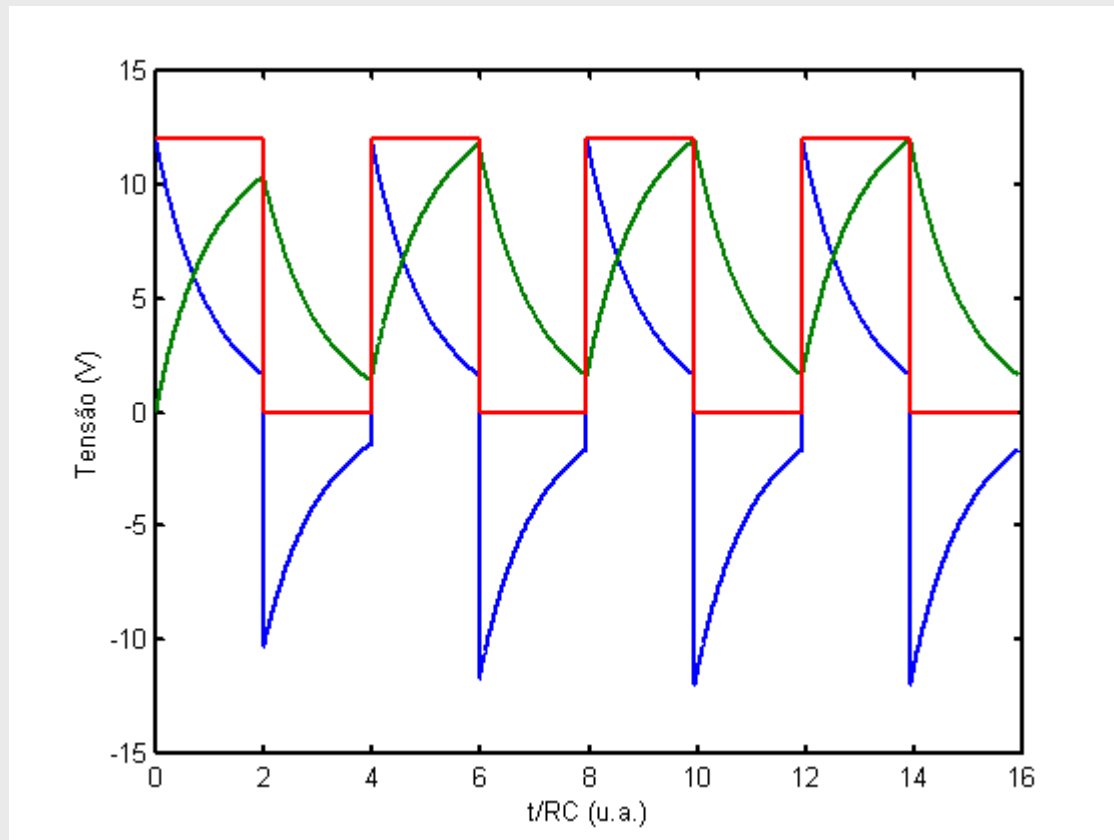
V

v_C

v_R

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC (exemplo)



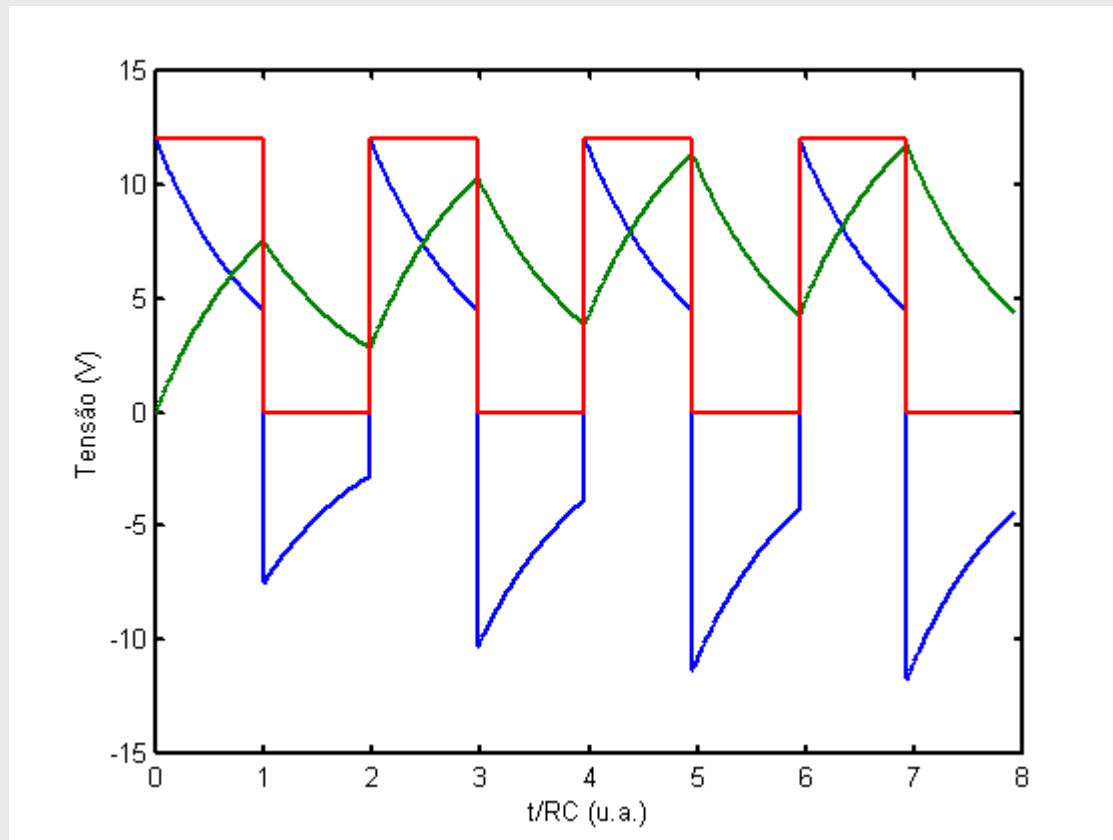
V

v_C

v_R

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC (exemplo)



V

v_C

v_R

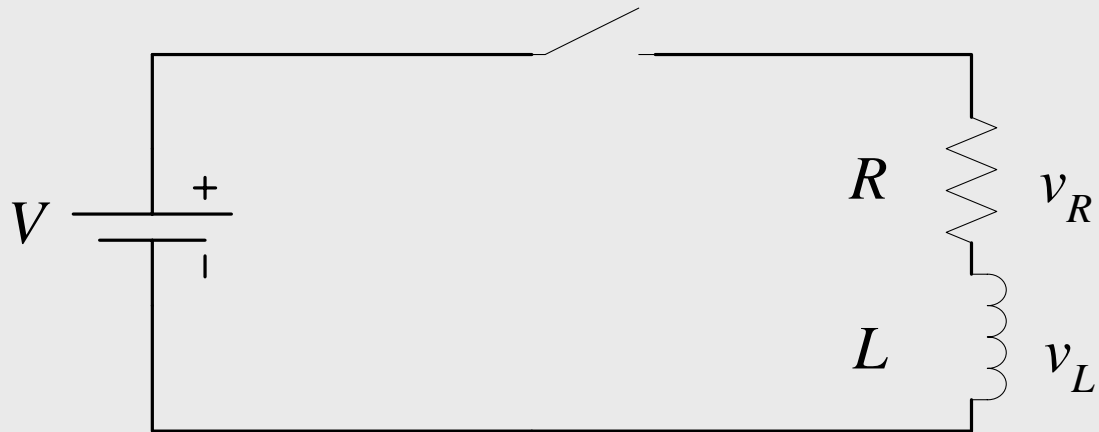
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RL

- Indutores se comportam como **curto-circuitos** quando a **corrente é cc** (contínua)
- Contudo, supondo a corrente inicialmente nula ($I = 0$) haverá um **transiente de tensão**, durante o "**carregamento**" de corrente no indutor.

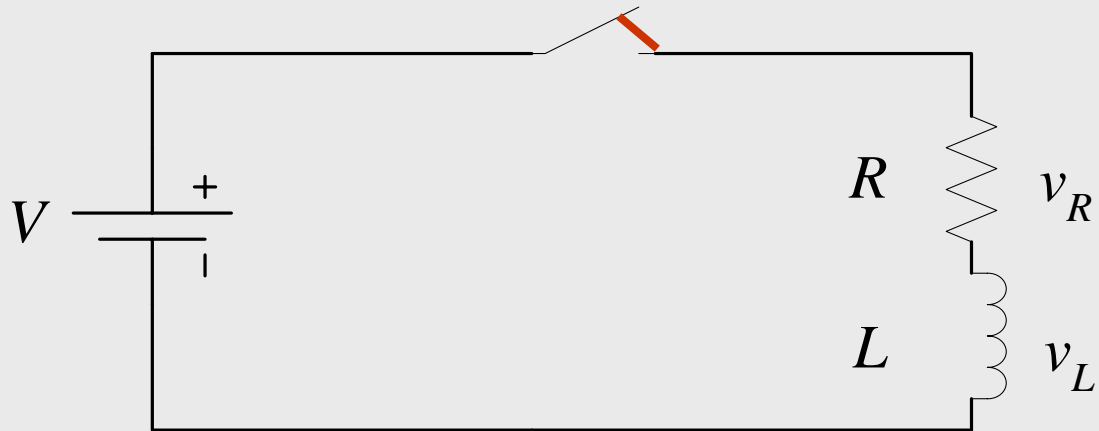
2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RL



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RL

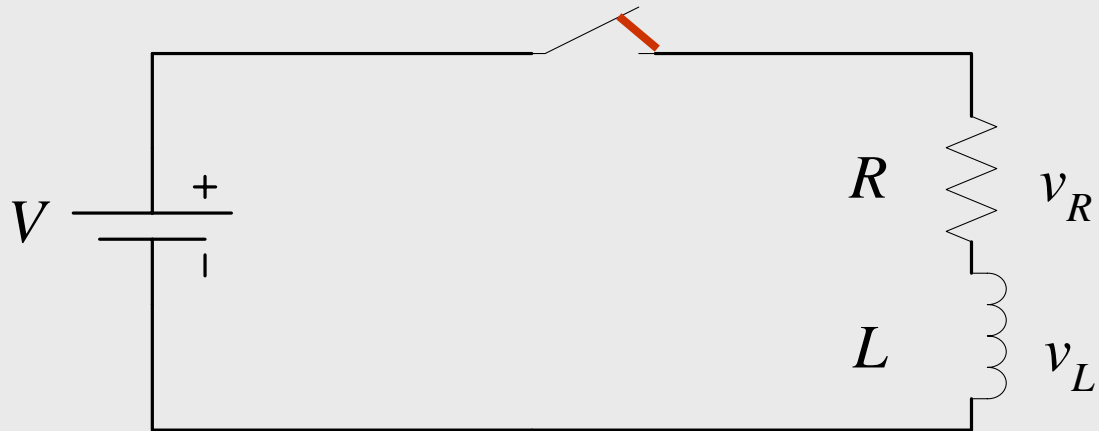


Kirchoff: $V = v_R + v_L$

ou seja: $V = i R + L di / dt$

2.1) Noções de Eletricidade

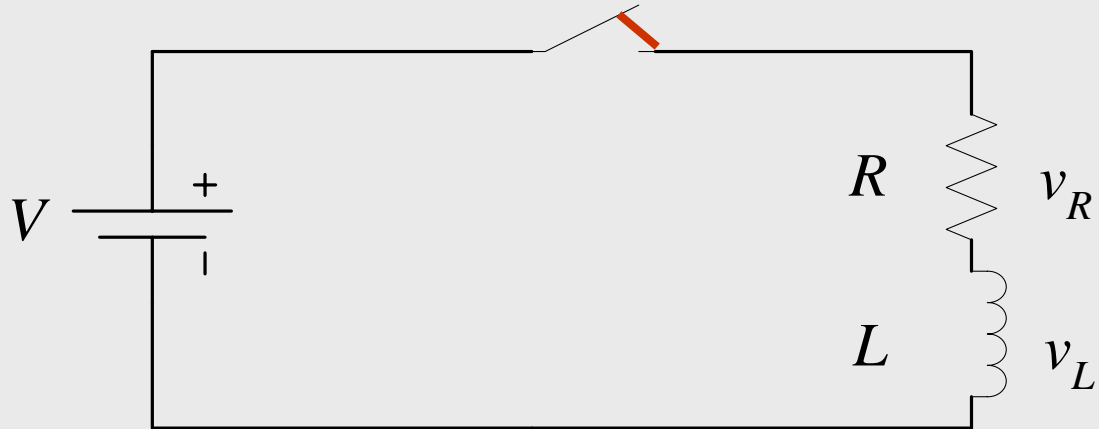
⌘ Circuitos RL



resolvendo: $i(t) = (V / R) (1 - e^{-tR/L})$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RL



Tensões: $v_R(t) = V (1 - e^{-tR/L})$

$$v_L(t) = V e^{-tR/L}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RC x Circuitos RL

Tensões Circuito RC

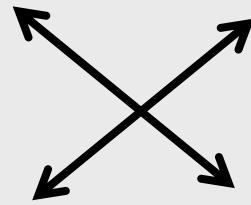
$$v_R(t) = V e^{-t/RC}$$

$$v_C(t) = V (1 - e^{-t/RC})$$

Tensões Circuito RL

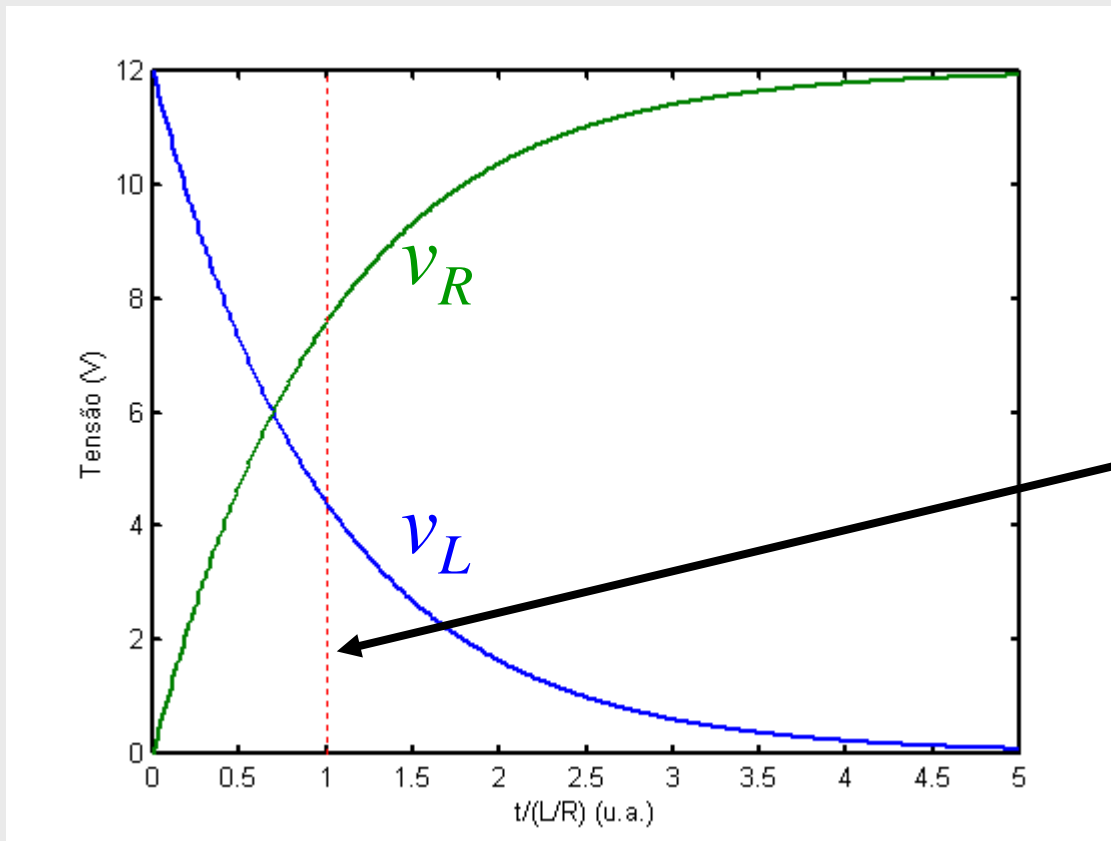
$$v_R(t) = V (1 - e^{-tR/L})$$

$$v_L(t) = V e^{-tR/L}$$



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RL (exemplo)

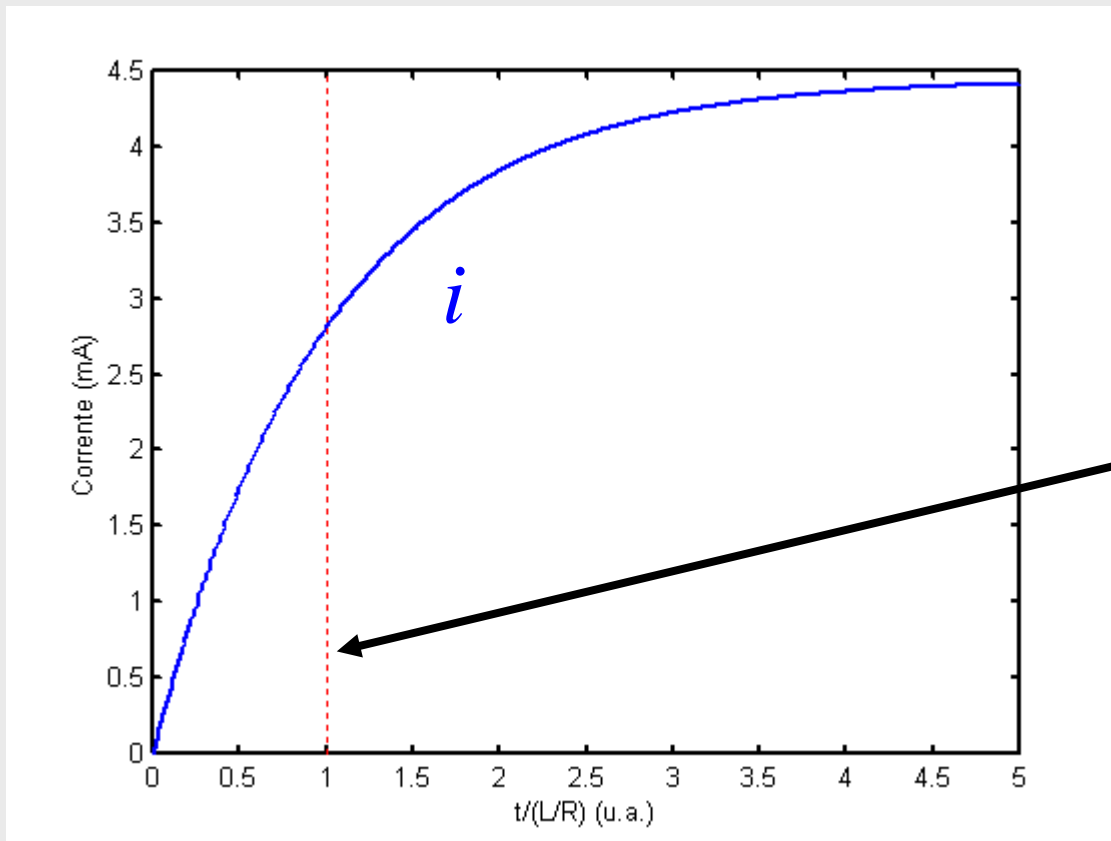


$$L/R = 0,0135 \text{ s}$$

constante de
tempo do
circuito RL

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos RL (exemplo)



$$L/R = 0,0135 \text{ s}$$

constante de
tempo do
circuito RL

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ Tensão senoidal: $v(t) = V_0 \operatorname{sen}(\omega t) =$
 $= V_0 \operatorname{sen}(2\pi f t) =$
 $= V_0 \operatorname{sen}(2\pi t / T)$

⊗ ω = freqüência angular (rad/s)

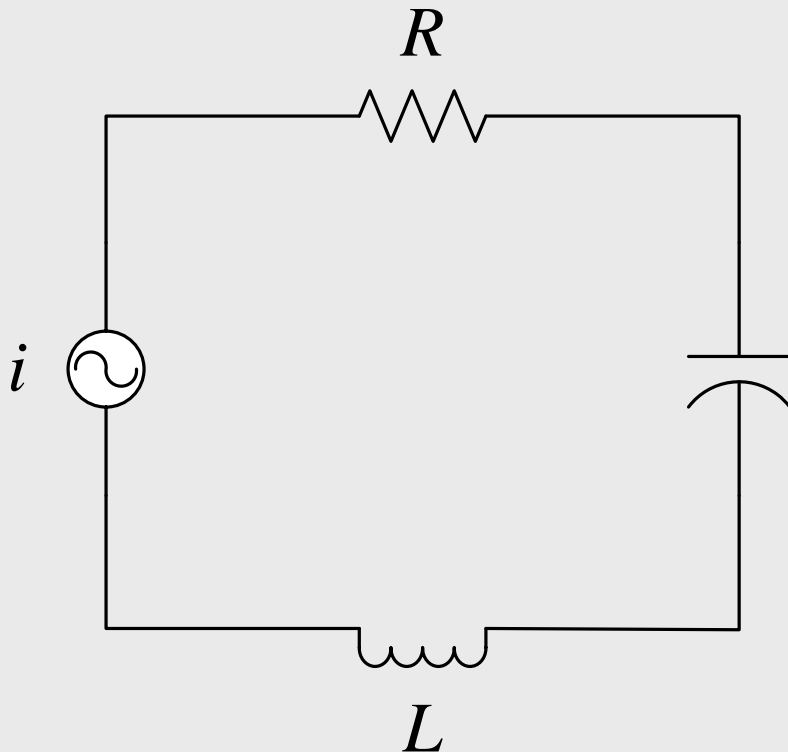
⊗ f = freqüência (Hz)

⊗ T = período (s)

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ Corrente senoidal: $i(t) = I_0 \text{sen}(2\pi f t)$



$$v_R = R i$$

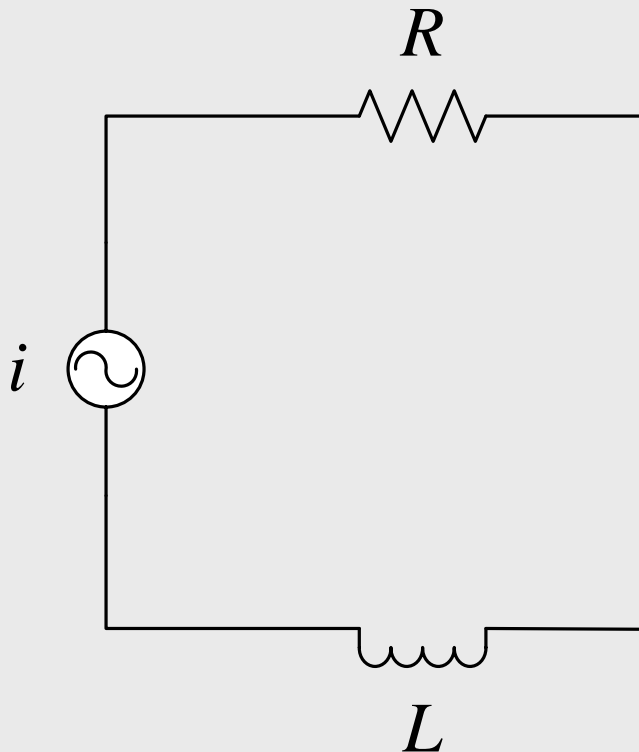
$$v_L = L di / dt$$

$$v_C = q/C = (1/C) \int i dt$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ Corrente senoidal: $i(t) = I_0 \text{sen}(2\pi f t)$



$$f = 1 \text{ Hz}$$

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

$$R = 1 \ \Omega$$

$$L = 1 \text{ H}$$

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

$$\text{sen}(2\pi f t)$$

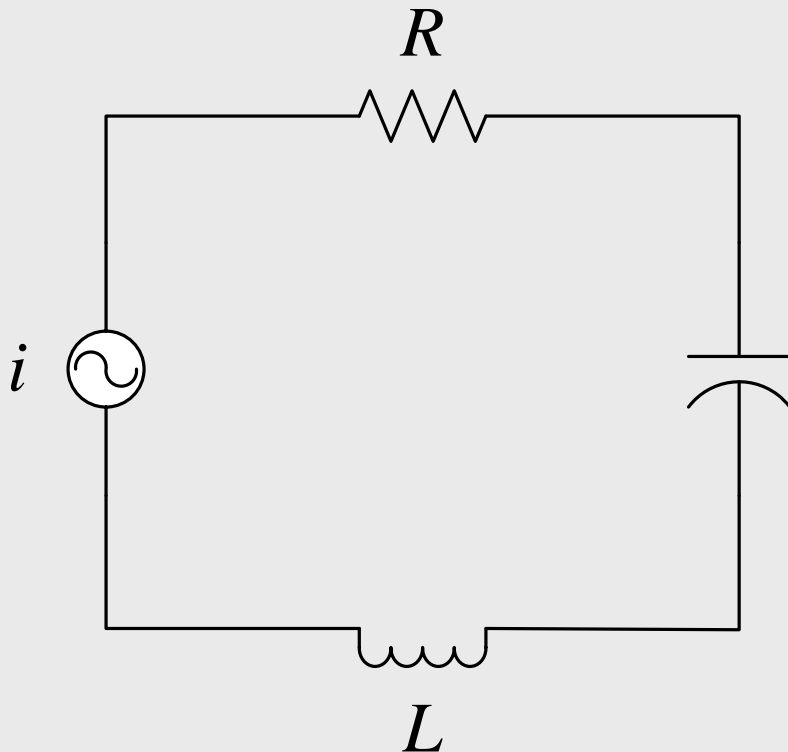
$$\text{cos}(2\pi f t)$$

$$\text{cos}(2\pi f t)$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ Corrente senoidal: $i(t) = I_0 \text{sen}(2\pi f t)$



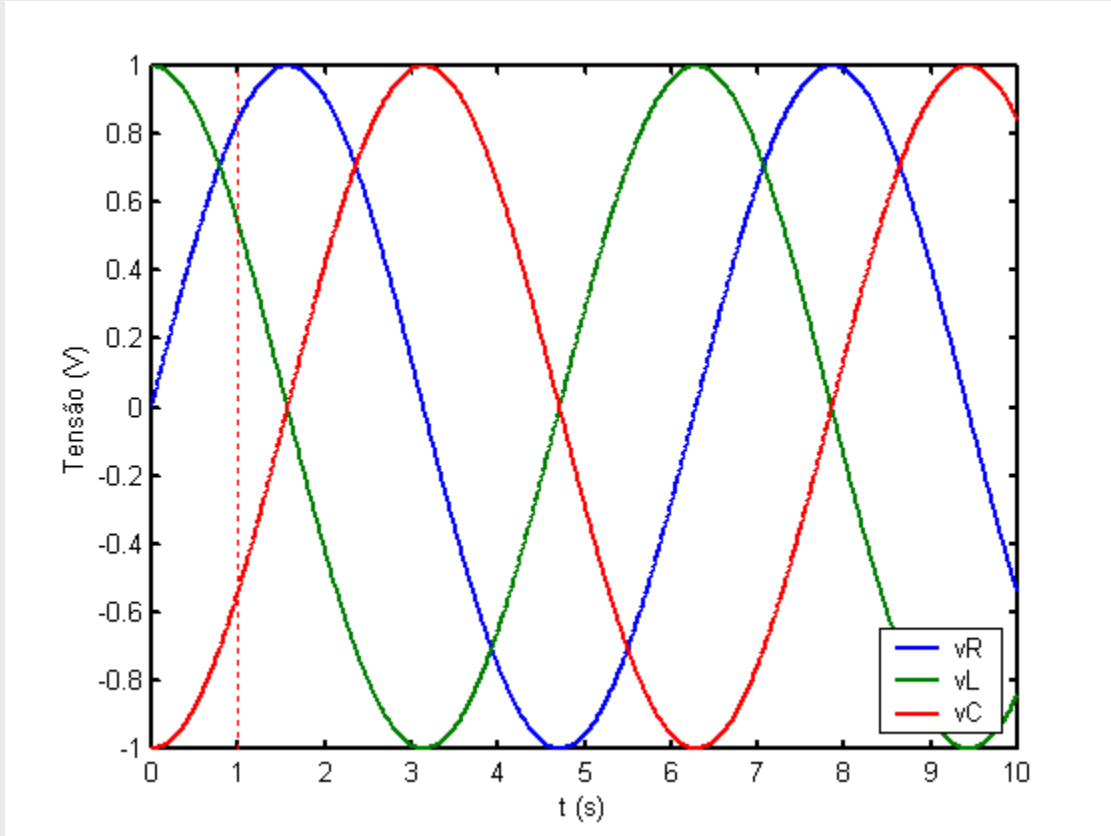
$$v_R = \text{sen}(t)$$

$$v_L = \text{cos}(t)$$

$$v_C = -\text{cos}(t)$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC



$$i = \text{sen}(t)$$

$$v_R = \text{sen}(t)$$

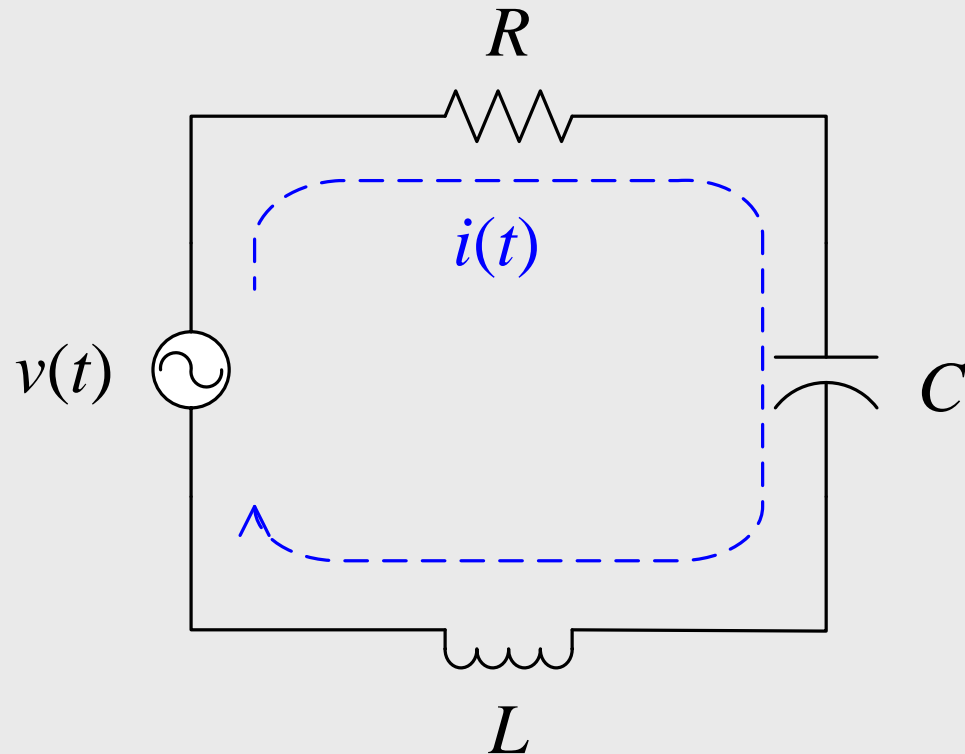
$$v_L = \text{cos}(t)$$

$$v_C = -\text{cos}(t)$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ voltando à tensão senoidal: $v(t) = V_0 \text{sen}(\omega t)$



$$v_R = R i$$

$$v_L = L di / dt$$

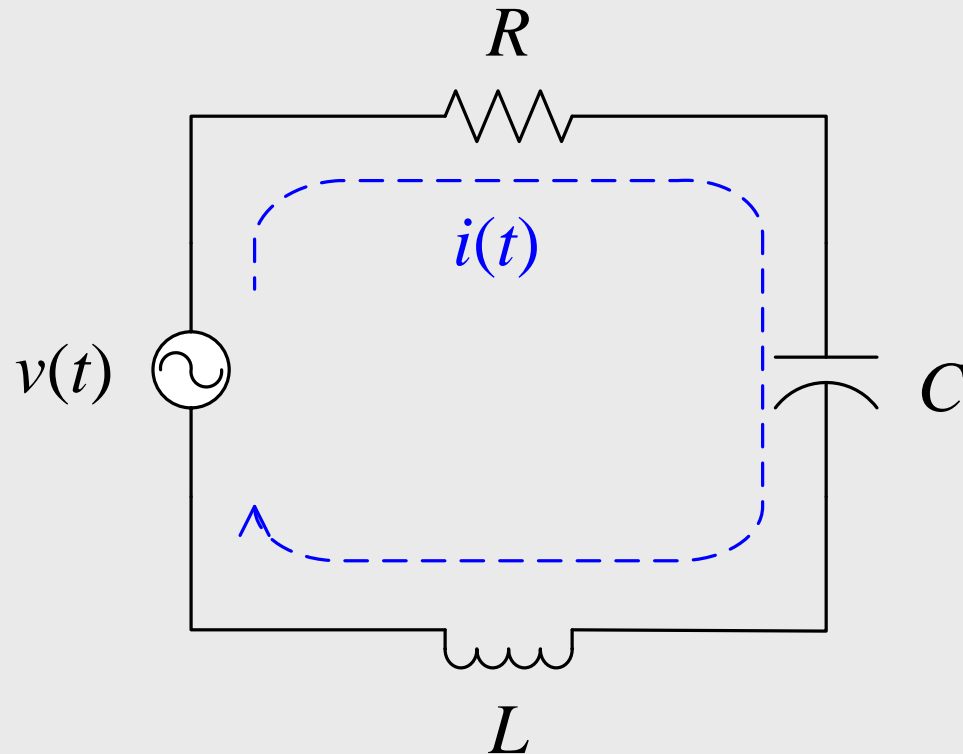
$$v_C = q/C = (1/C) \int i dt$$

$$v = v_R + v_L + v_C$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ voltando à tensão senoidal: $v(t) = V_0 \text{sen}(\omega t)$



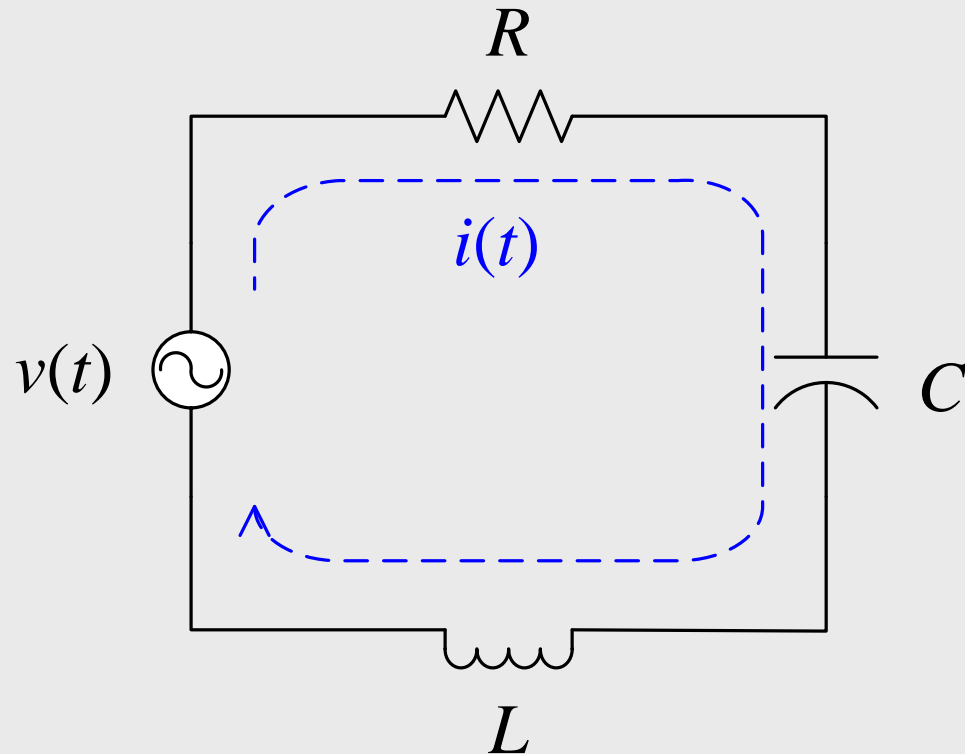
$$v = R i + L \frac{di}{dt} + \left(\frac{1}{C}\right) \int i dt$$

$$\frac{dv}{dt} = R \frac{di}{dt} + L \frac{d^2i}{dt^2} + \left(\frac{1}{C}\right) i$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ voltando à tensão senoidal: $v(t) = V_0 \text{sen}(\omega t)$



Considere agora que:

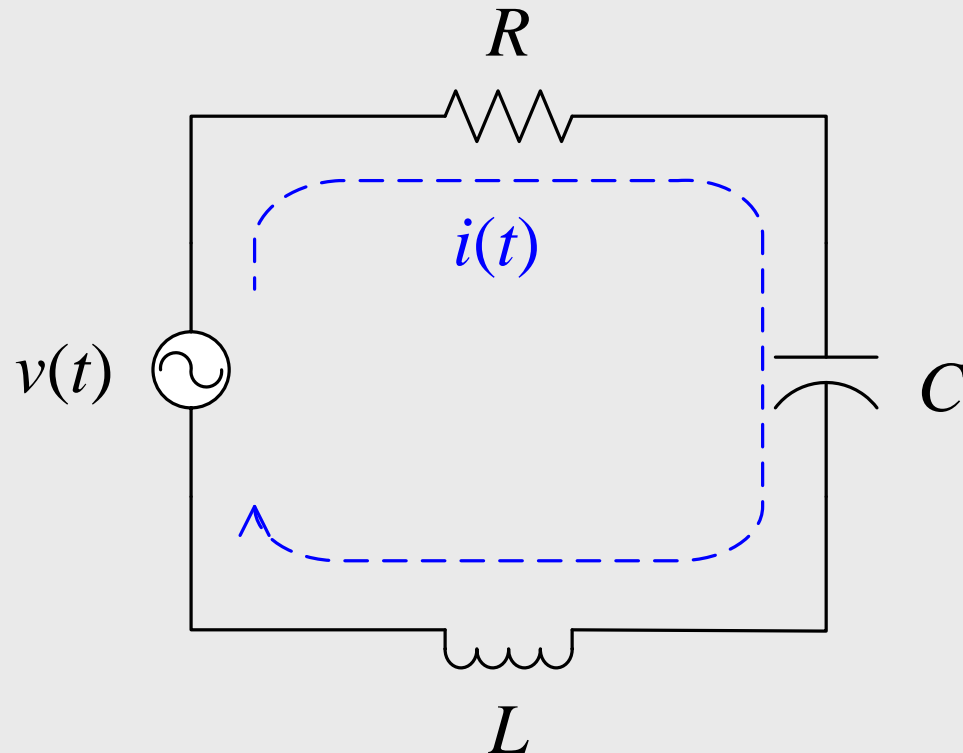
$$v(t) = \text{Re}\{ V_0 e^{j\omega t} \}$$

$$i(t) = \text{Re}\{ I_0 e^{j(\omega t + \phi)} \}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ voltando à tensão senoidal: $v(t) = V_0 \text{sen}(\omega t)$



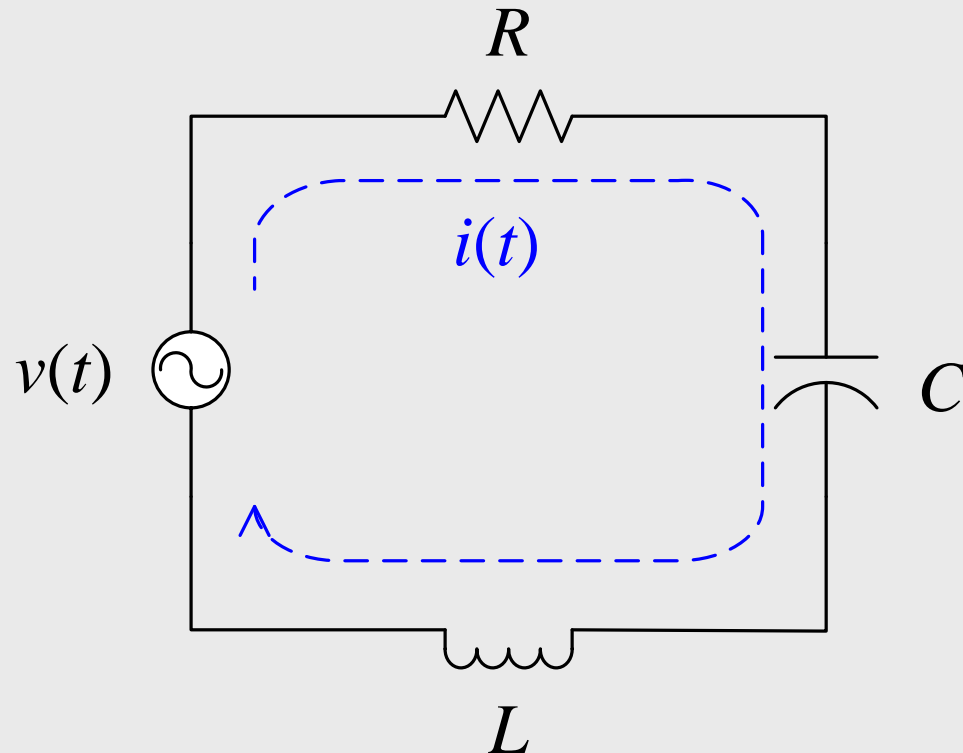
Reescrevendo:

$$j\omega V_0 e^{j\omega t} = \{j\omega R - \omega^2 L + (1/C)\} I_0 e^{j(\omega t + \phi)}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Circuitos AC

➤ voltando à tensão senoidal: $v(t) = V_0 \text{sen}(\omega t)$



Dividindo por $j\omega$:

$$V_0 e^{j\omega t} = \frac{Z}{I_0 e^{j(\omega t + \phi)}} \{R + j\omega L + 1/j\omega C\}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Impedância e Reatância

$$Z = R + j \omega L + 1/j \omega C \quad \text{Impedância}$$

$$Z = \text{Re}\{Z\} + \text{Im}\{Z\}$$

$$\text{Re}\{Z\} = R \quad \text{Resistância}$$

$$\text{Im}\{Z\} = \omega L - 1/\omega C \quad \text{Reatância}$$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Impedância e Reatância

- A **parte imaginária**, referente à **reatância**, indica que a corrente **não está em fase** com a tensão aplicada.
- Pode-se tratar as **reatâncias**, capacitiva e indutiva, e as **impedâncias**, como se fossem **resistências**, para efeito de cálculo de equivalentes série e paralelo.

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Impedância

- Pode-se considerar como uma **extensão do conceito de resistência**, de modo a considerar dois aspectos:
 - ⊗ defasagem entre tensão e corrente
 - ⊗ variação com a frequência do comportamento dos indutores e capacitores
- De modo geral, $V = Z I$

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Resistor

➤ $Z = R \rightarrow V = R I$

➤ independe da frequência

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Indutor

➤ $Z = j\omega L \rightarrow V = j\omega L I$

➤ quanto maior a frequência, maior a tensão

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Capacitor

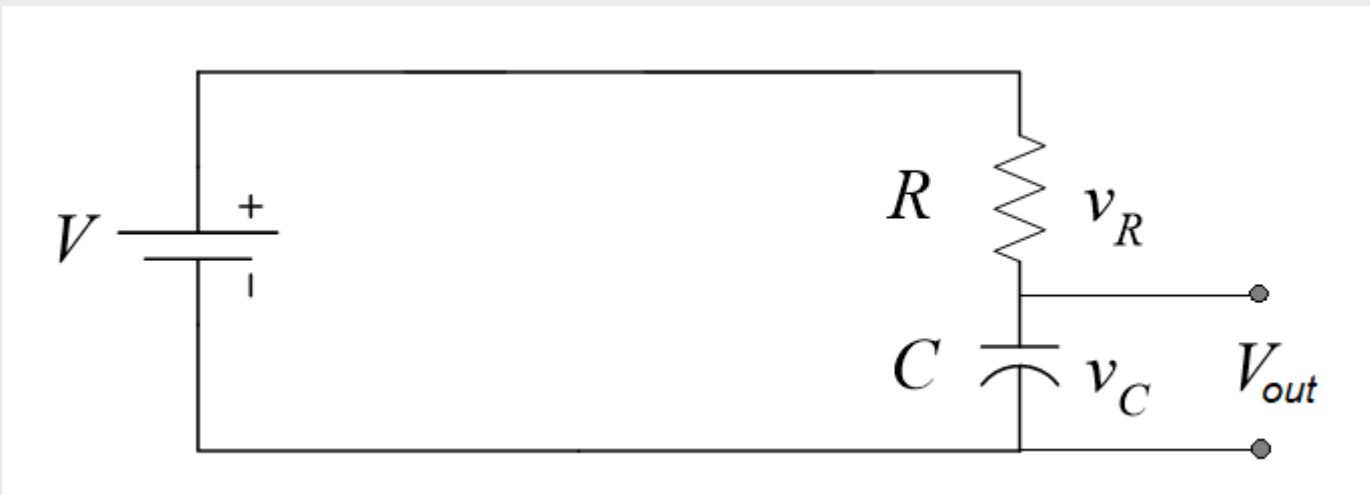
➤ $Z = -j / \omega C \rightarrow V = (-j / \omega C) I$

➤ quanto maior a frequência, menor a tensão

2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Ex.: Fazer cálculo e simular circuito RC
 $R=100\Omega$, $C=1\mu F$

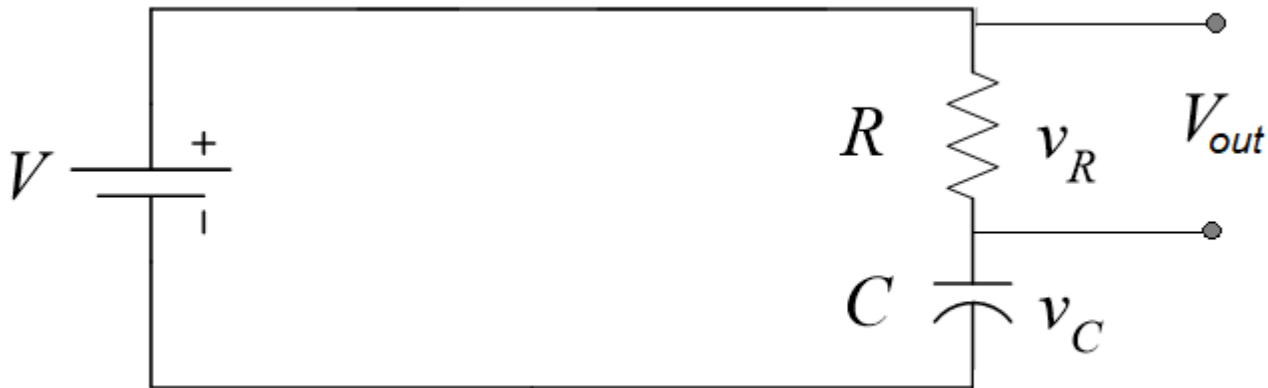
- a) Entrada degrau [V p/ $t > 0$]
- b) Entrada senoidal [$V = -V_0 \cos(\omega t)$] resposta p/ $t \gg 1$
- c) Varredura de frequências [ω vs Ganho]



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Ex.: Fazer cálculo e simular circuito RC
 $R=100\Omega$, $C=1\mu\text{F}$

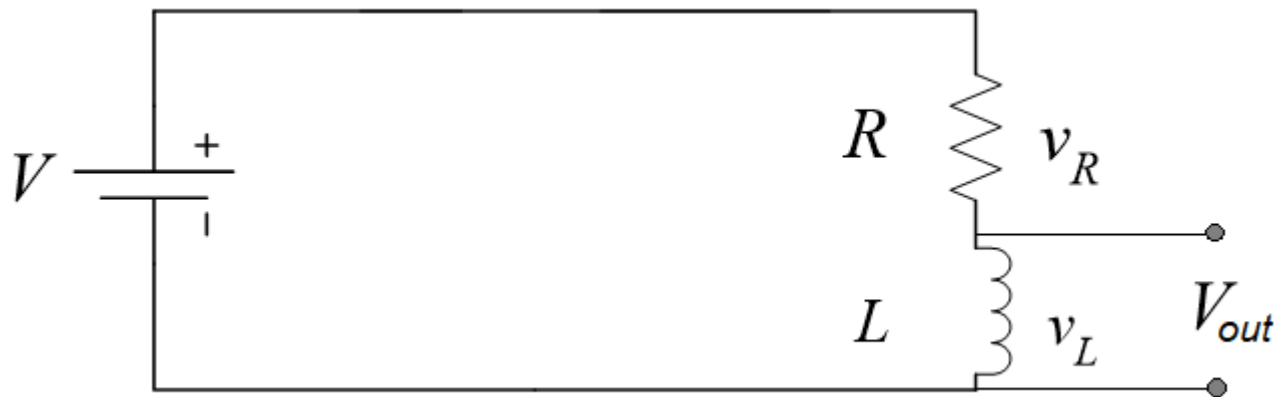
- a) Entrada degrau [$V=A$ p/ $t>0$]
- b) Entrada senoidal [$V=-V_0\cos(\omega t)$] resposta p/ $t \gg 1$
- c) Varredura de frequências [ω vs Ganho]



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Ex.: Fazer cálculo e simular circuito RL
 $R=100\Omega$, $L=1H$

- a) Entrada degrau [$V=A$ p/ $t>0$]
- b) Entrada Senoidal [$V=V_0\text{sen}(\omega t)$] resposta p/ $t \gg 1$
- c) Varredura de frequências [ω vs Ganho]



2.1) Noções de Eletricidade

⌘ Ex.: Fazer cálculo e simular circuito RC
 $R=100\Omega$, $C=1\mu\text{F}$, $L=1\text{H}$

- a) Entrada degrau [$V=A$ p/ $t>0$]
- b) Entrada Senoidal [$V=V_0\text{sen}(\omega t)$] resposta p/ $t \gg 1$
- c) Varredura de frequências [ω vs Ganho]

