Redes de primeira ordem

Experiência 7

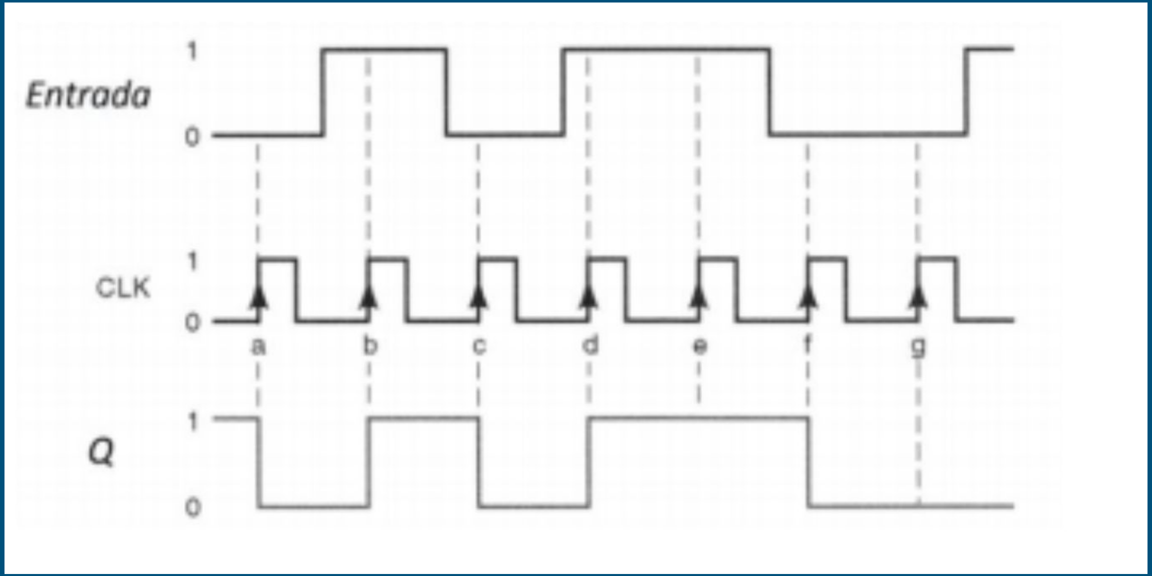
Prof. Dr. Laisa Costa De Biase | Prof. Dr. Elisabete Galeazzo

Objetivos da Experiência

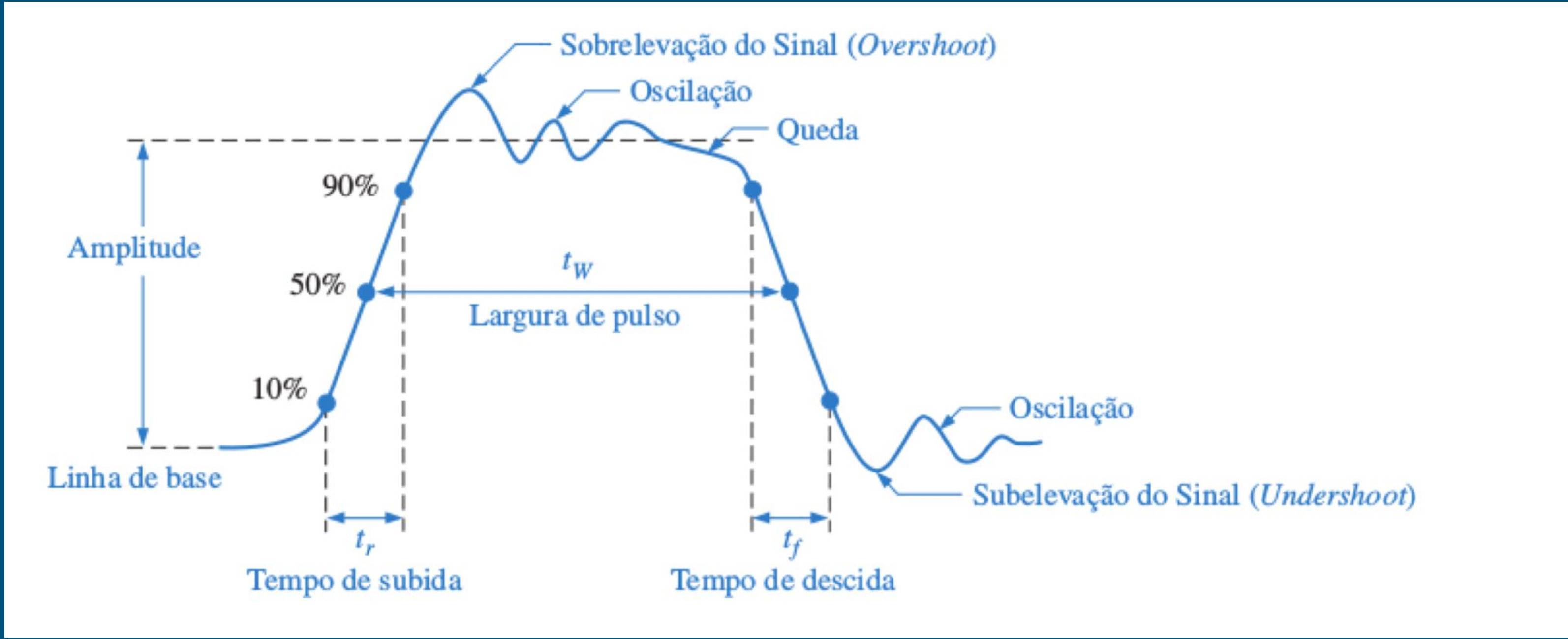
- <u>Estudo no domínio do tempo</u> de redes de 1ª ordem
- <u>Tipos de resposta</u> de redes de 1ª ordem
- <u>Caracterização</u> de redes de 1ª ordem

Funcionamento de circuito digital ideal

Funcionamento de circuito digital ideal



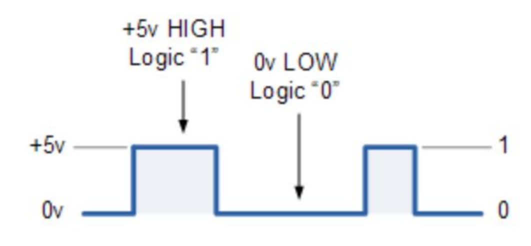
Sinal real

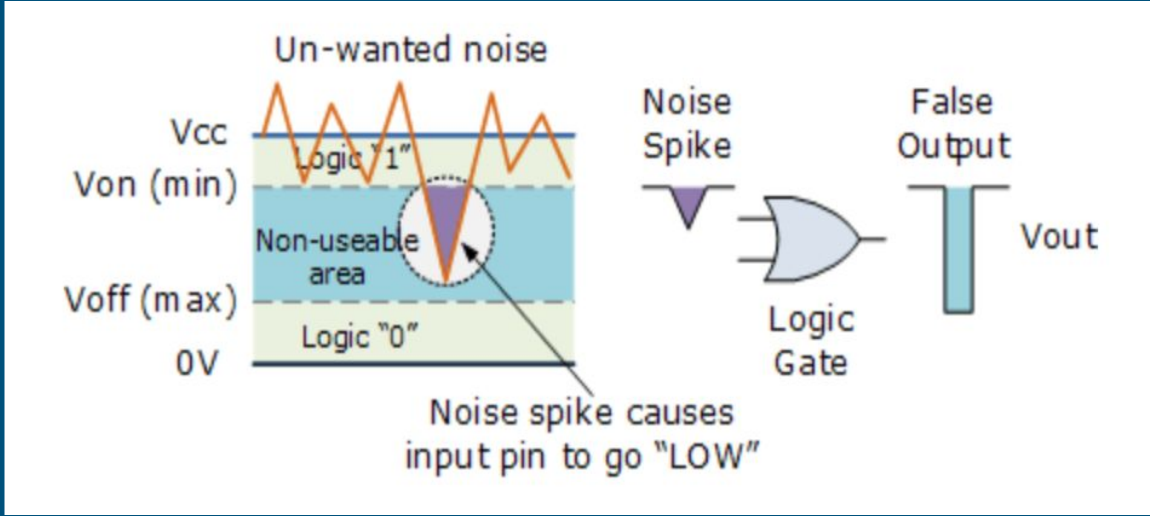


Sobrelevação do Sinal (*Overshoot*)
Oscilação
Queda
90%
Amplitude
50%
t_W
Largura de pulso
10%
Oscilação
Linha de base
Subelevação do Sinal (*Undershoot*)
t_r
Tempo de subida
t_f
Tempo de descida

Efeitos de respostas oscilatórias

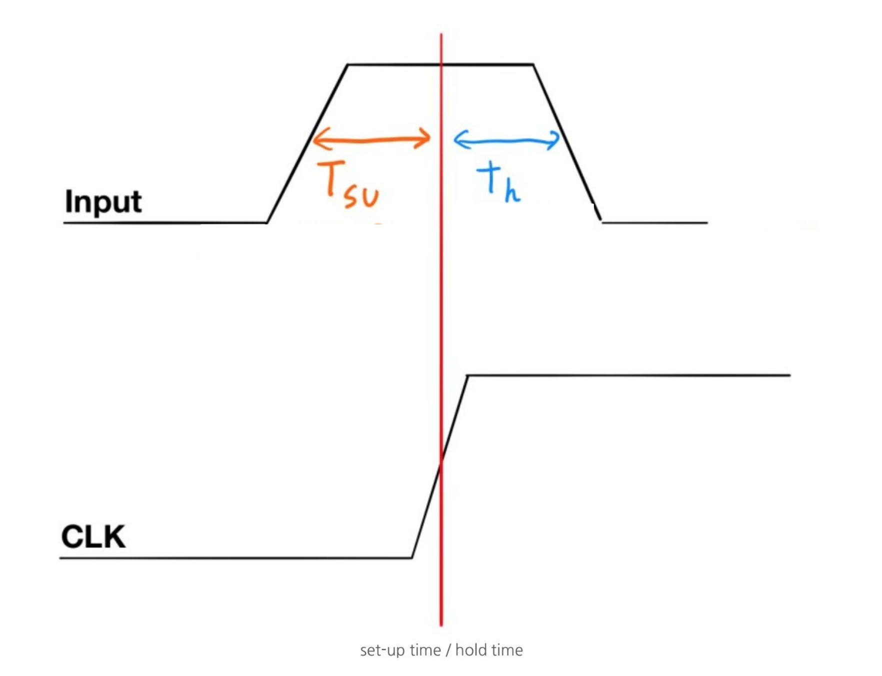
- Podem causar respostas "instáveis" em circuitos digitais



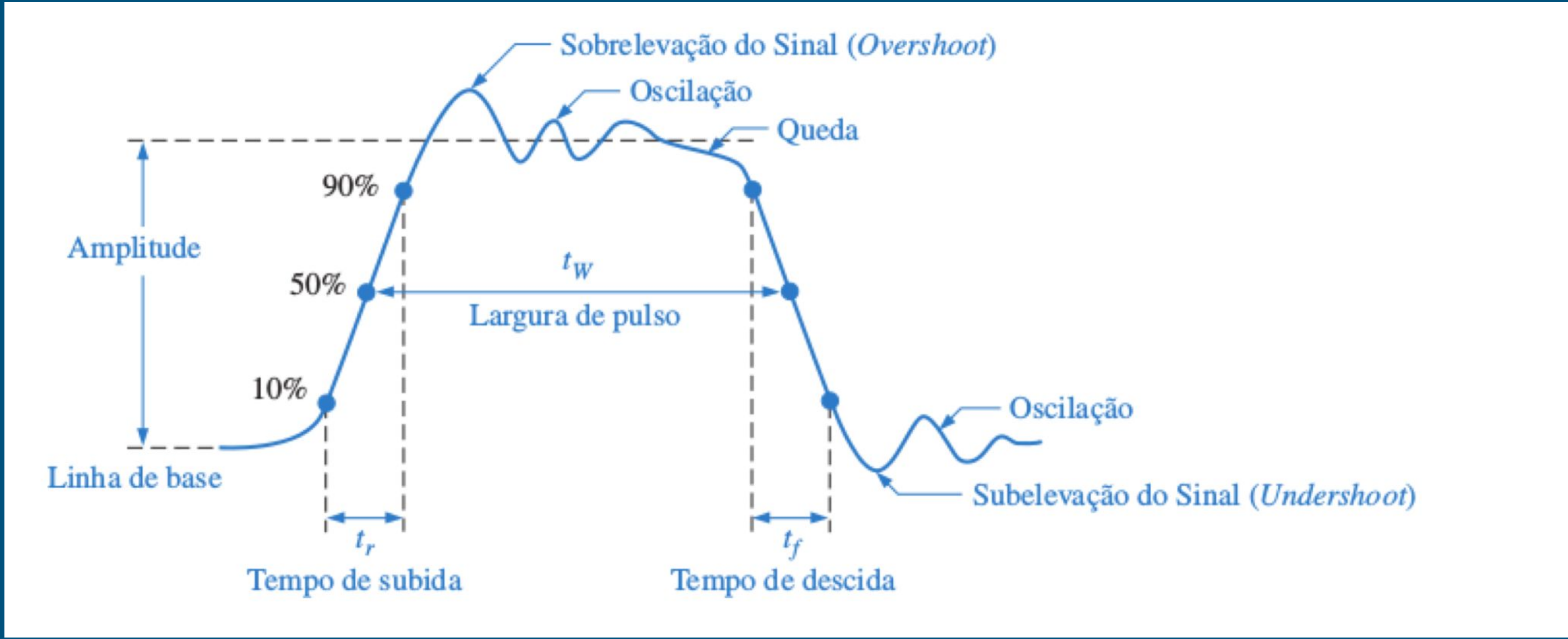


Efeito dos tempos de subida e de descida

- Podem causar frequência de operação mais baixa (tempo de resposta mais lento)



Sinal real


Sobrelevação do Sinal (*Overshoot*)
Oscilação
Queda
90%
Amplitude
t_W
50%
Largura de pulso
10%
Oscilação
Linha de base
Subelevação do Sinal (*Undershoot*)
t_r
Tempo de subida
t_f
Tempo de descida

Resposta no tempo

Resposta = Transitória + Permanente

$\lim_{t \to \infty} = 0$

Resposta no tempo

Resposta = Transitória + Permanente

$\lim_{t \to \infty} = 0$

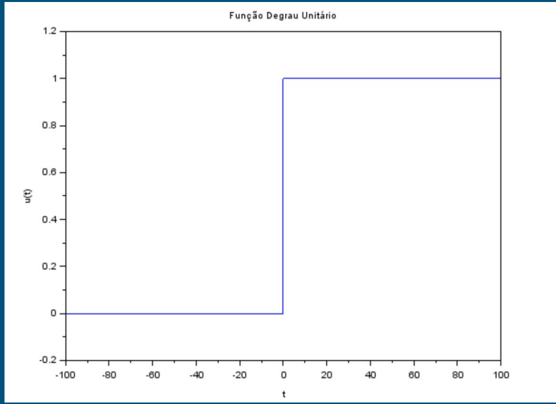
- Qual tipo de excitação poderia ser utilizada para apresentar o regime transitório e o permanente?

Resposta no tempo

Resposta = Transitória + Permanente

$\lim_{t \to \infty} = 0$

- Qual tipo de excitação poderia ser utilizada para apresentar o regime transitório e o permanente?

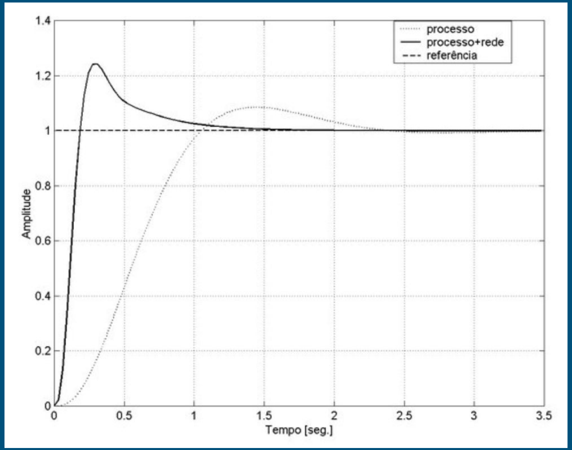


Resposta no tempo

Resposta = Transitória + Permanente

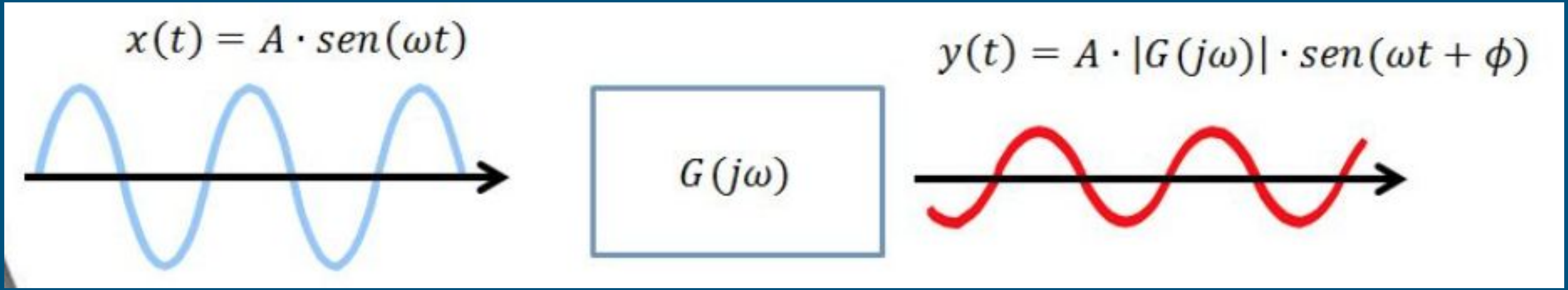
$\lim_{t \to \infty} = 0$

- Qual tipo de excitação poderia ser utilizada para apresentar o regime transitório e o permanente?



Experiência de resposta em frequência

- Estudamos os mesmos circuitos, mas com excitação por cossenoides de várias frequências



Caracterização de circuitos RC e RLC

Resposta em frequência

- Caracterização
  - Frequência de corte
  - Frequência de ressonância
  - Faixa de passagem (intervalo: de f_1 a f_2)
- Excitação
  - Ondas cossenoidais com várias frequências

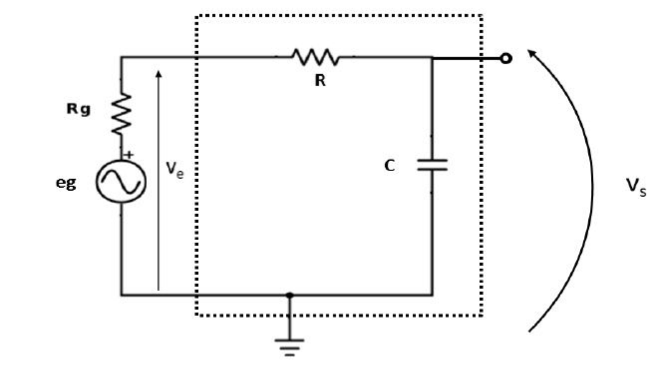
Resposta temporal

- Caracterização
  - Tempo de subida e de descida, constante de tempo
  - Oscilação -> apenas 2ª ordem
- Excitação
  - Degrau -> onda quadrada com período suficiente para atingir o regime permanente

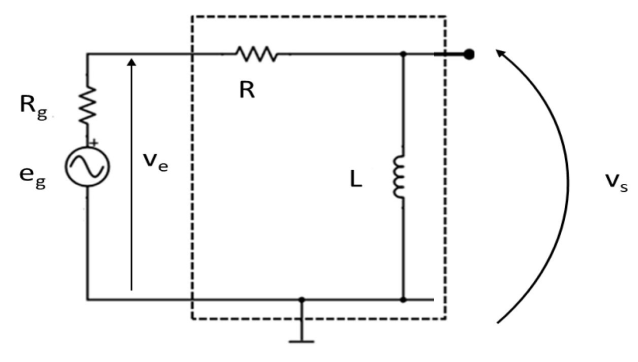
Redes de primeira ordem

1. Possui um único elemento armazenador de energia (capacitor ou indutor)
2. Descrito por uma equação diferencial de primeira ordem (primeira derivada)

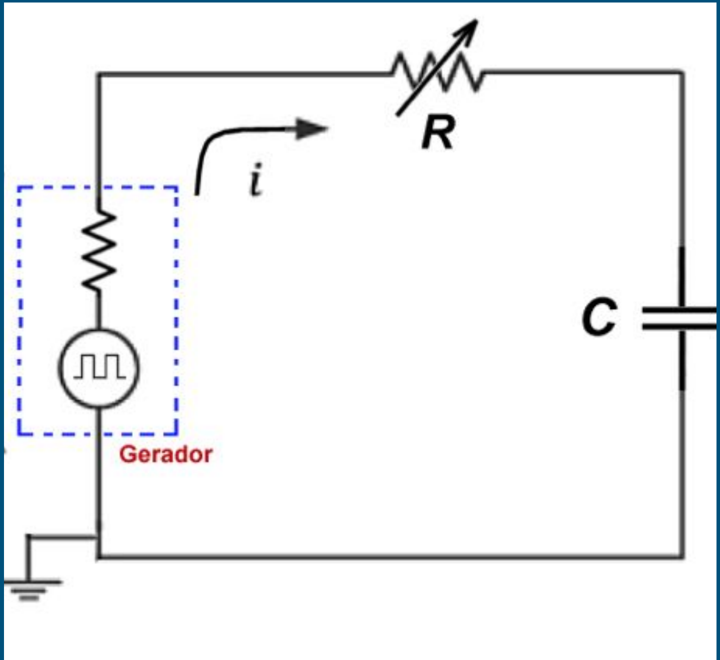
Circuito RC

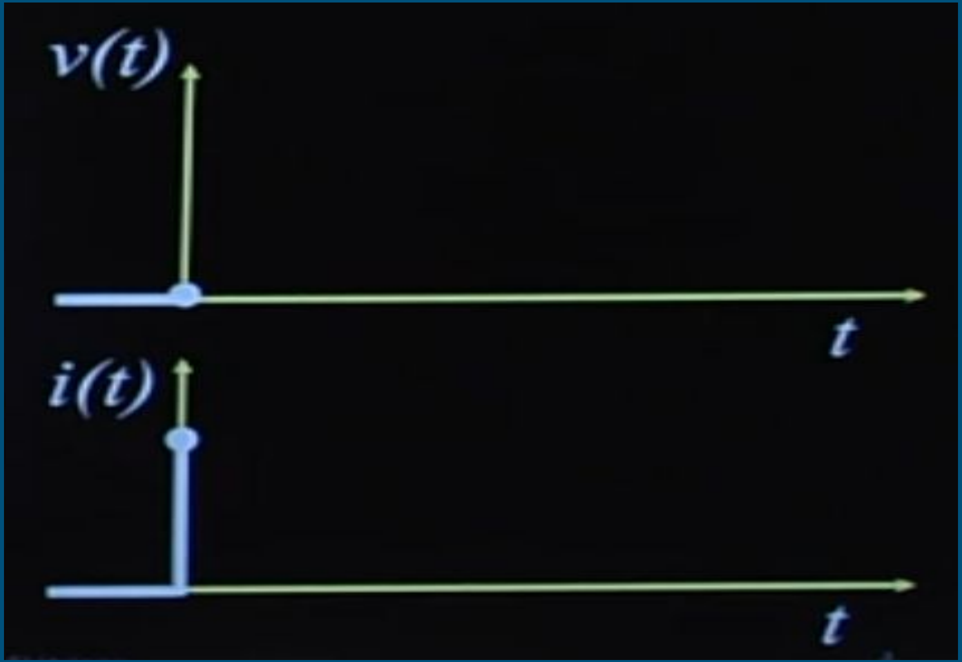


Circuito RL

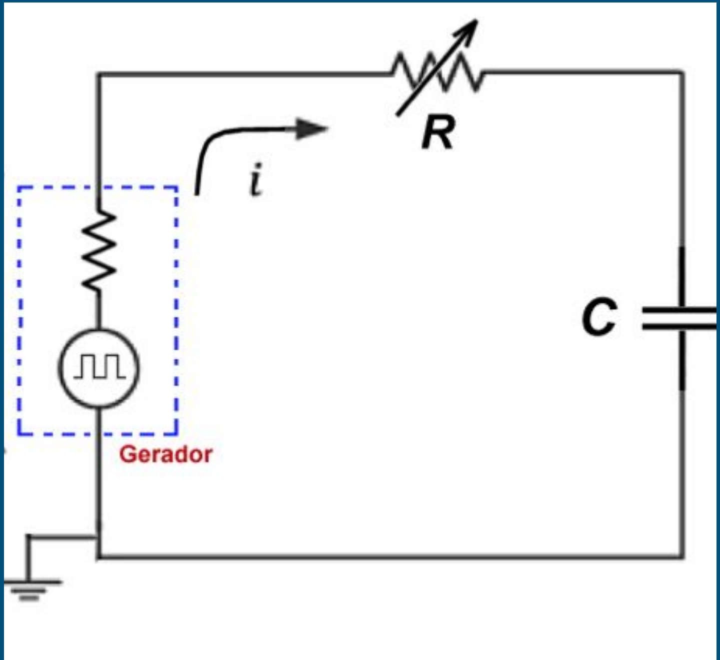


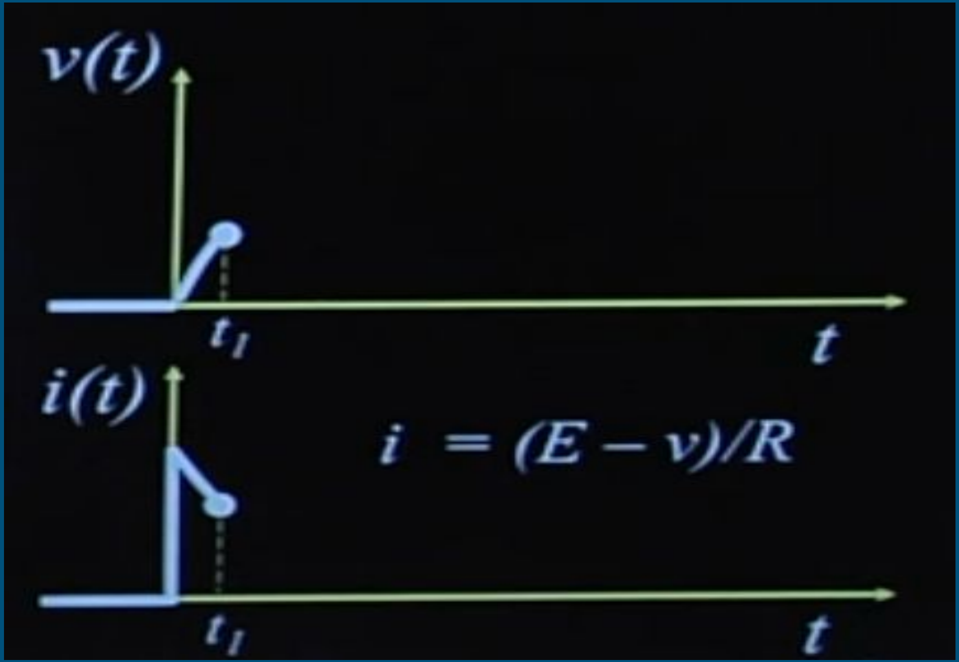
Circuito RC
Resposta no domínio do tempo



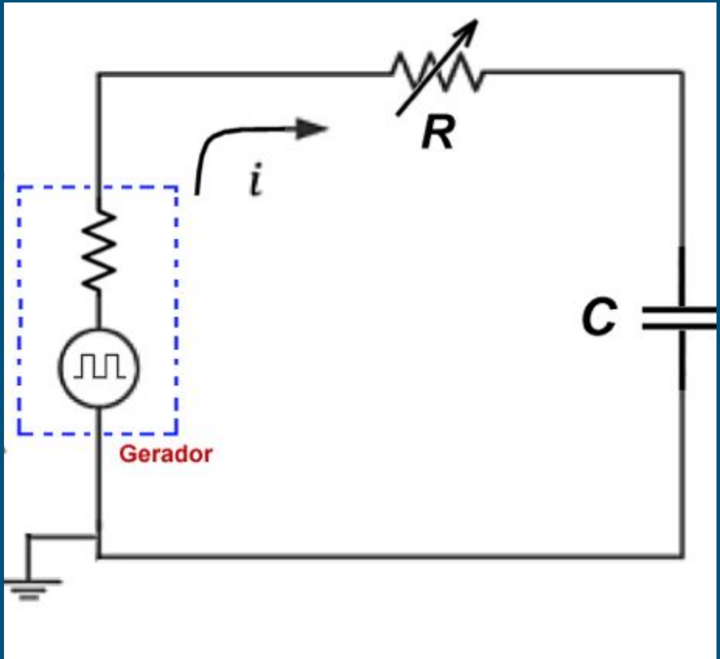


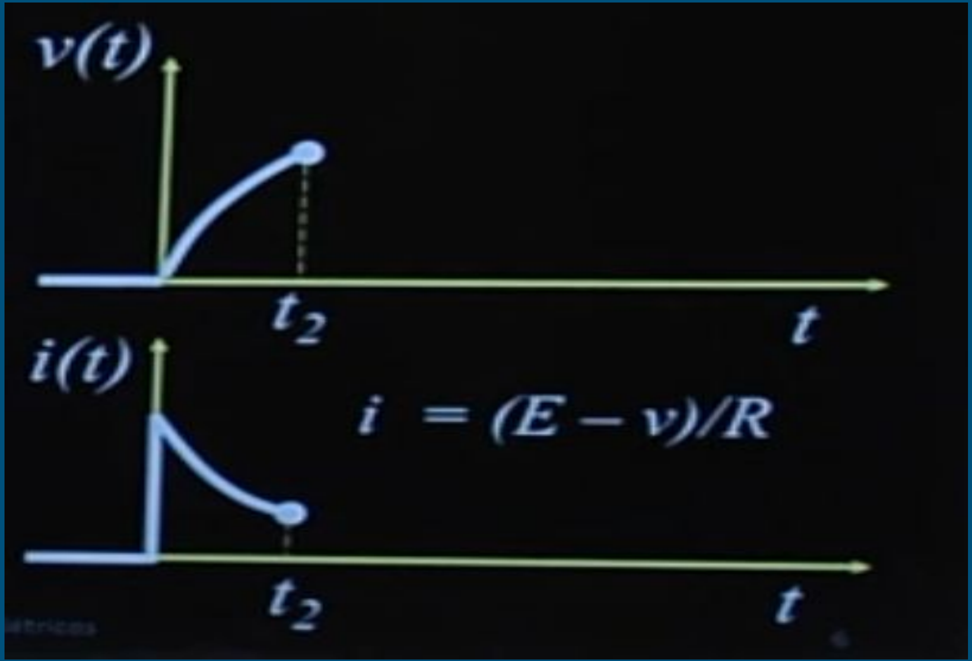
Circuito RC
Resposta no domínio do tempo



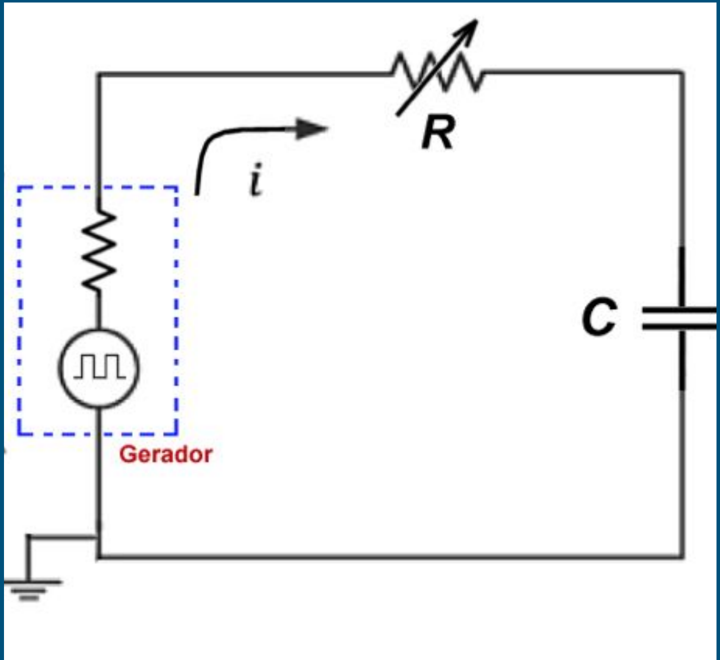


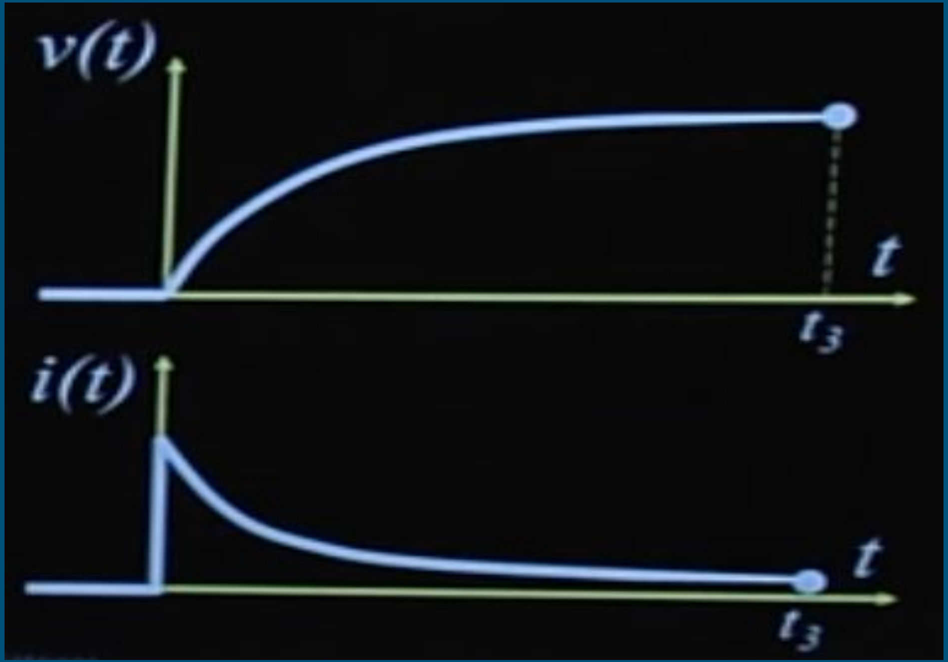
Circuito RC
Resposta no domínio do tempo



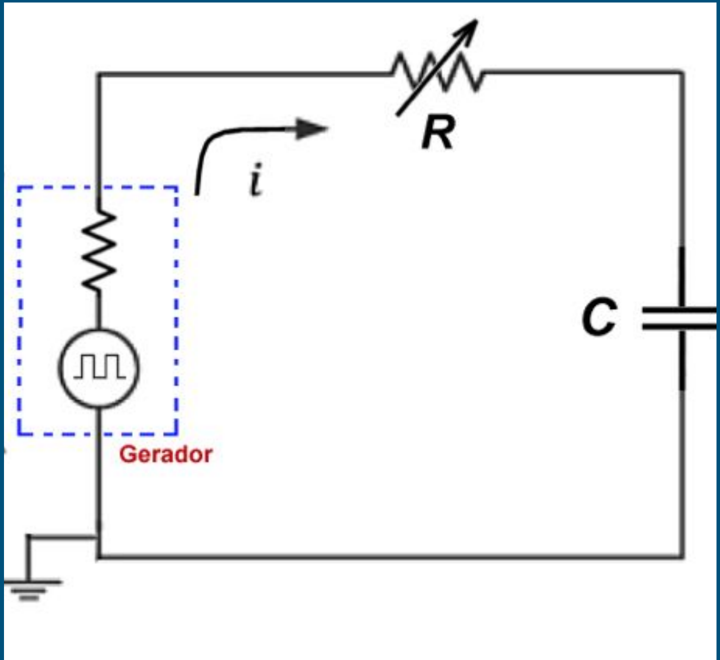


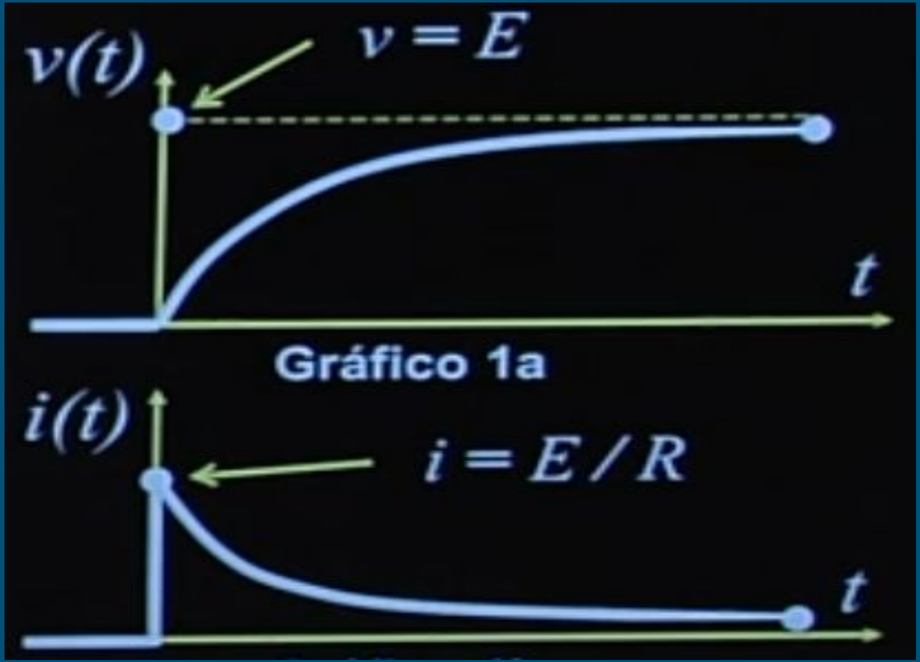
Circuito RC
Resposta no domínio do tempo



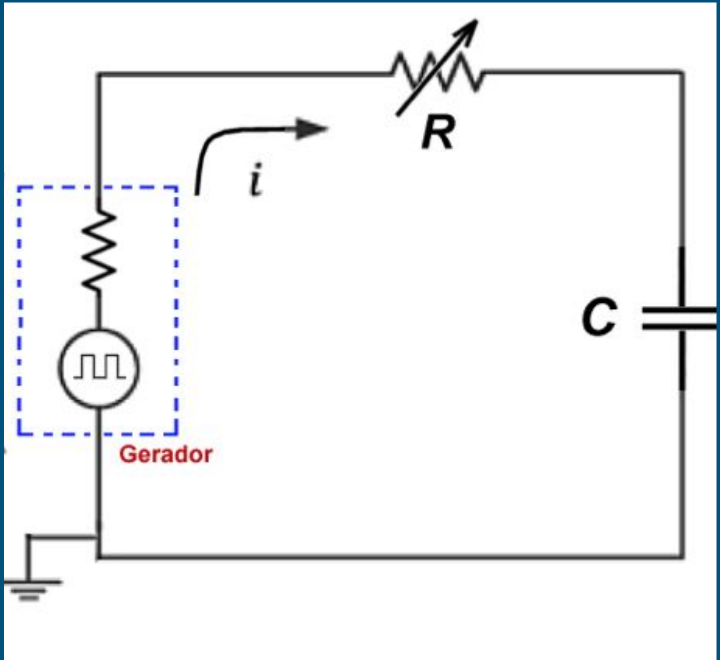


Circuito RC
Resposta no domínio do tempo

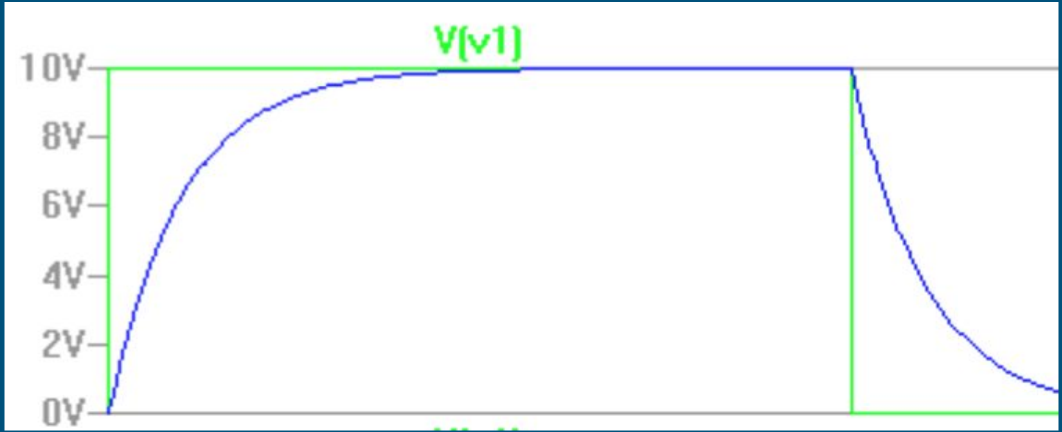




Circuito RC
Resposta no domínio do tempo



$$v_C(t) = E\left(1 - e^{-t/\tau}\right), \text{ onde } \boldsymbol{\tau} = \mathbf{RC}.$$

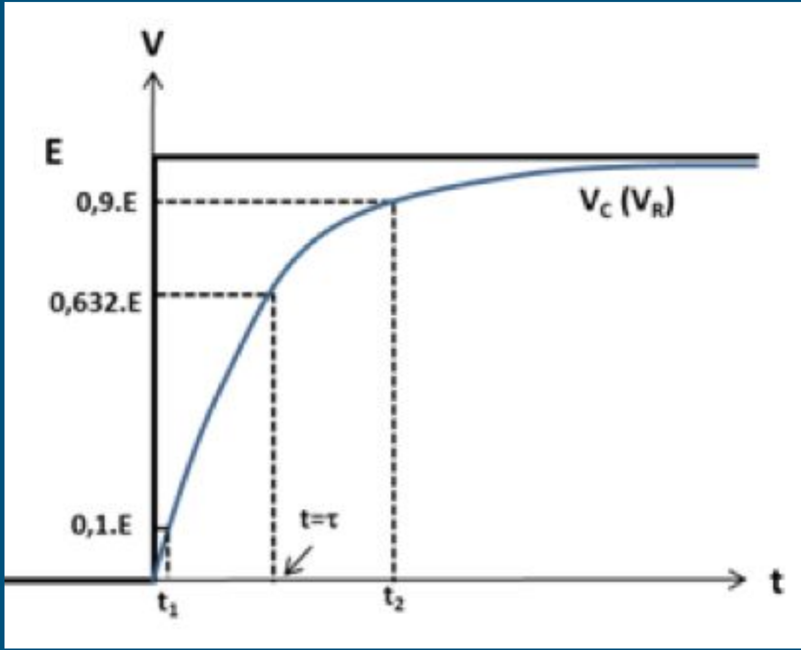


Caracterização dos circuitos RC

- Constante de tempo (τ)
  - Tempo para a extinção (parcial) do seu regime natural
    - Reduzidas a -37%

- Tempo de subida (t_r) e descida (t_f)
  - intervalo de tempo onde a tensão de saída encontra-se entre 10% (t1) e 90% (t2) do valor final,

$$t_r = t_2 - t_1$$



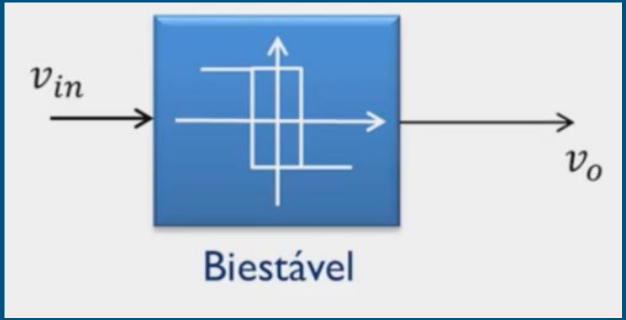
Caracterização dos circuitos

- Frequência de corte

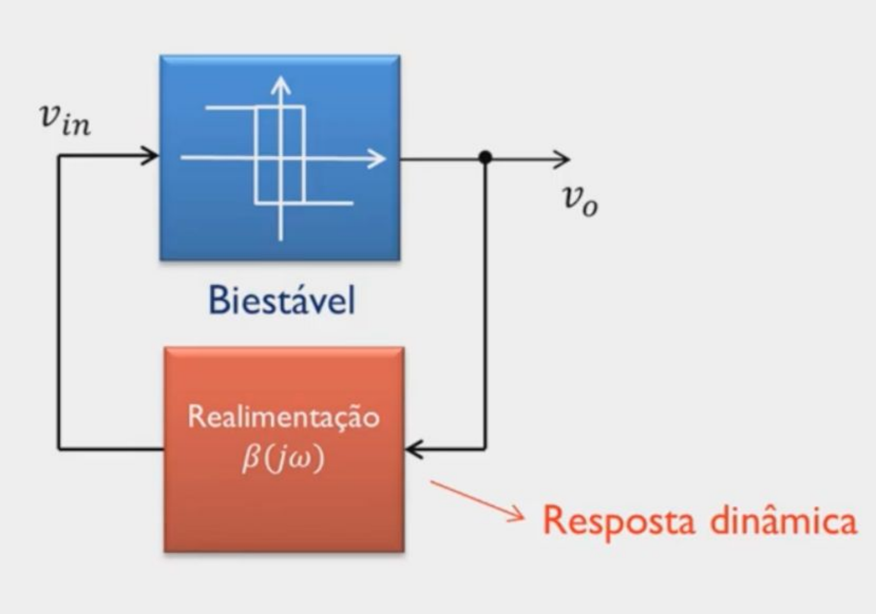
$$f_c t_r = \frac{\ln(9)}{2\pi}$$

$$f_c = {}^{1}\!/_{(2\pi R.C)}$$

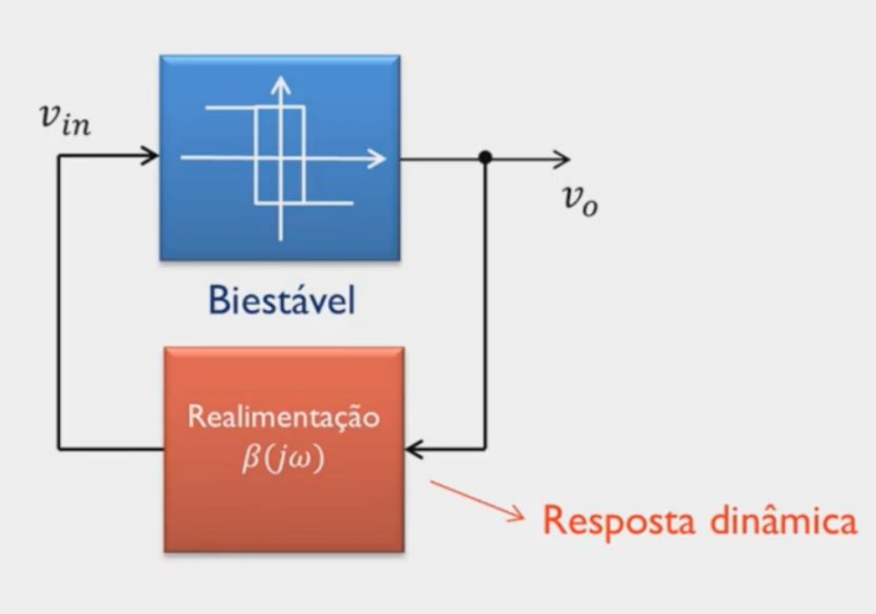
Aplicação: Oscilador

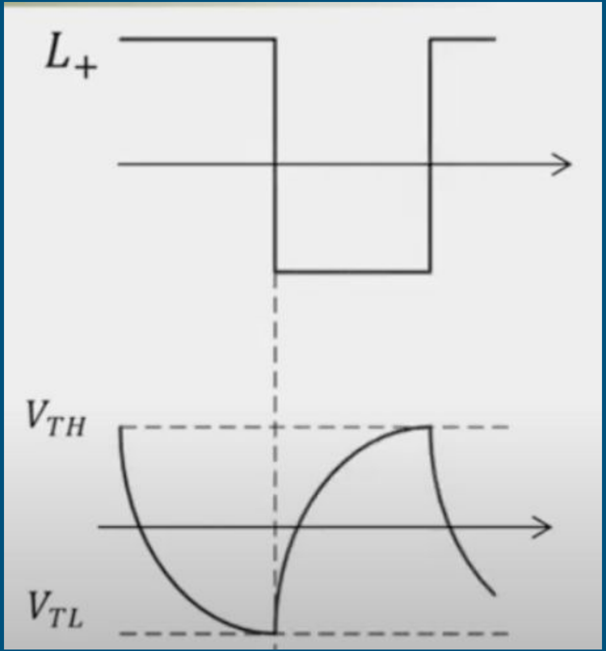


Aplicação: Oscilador

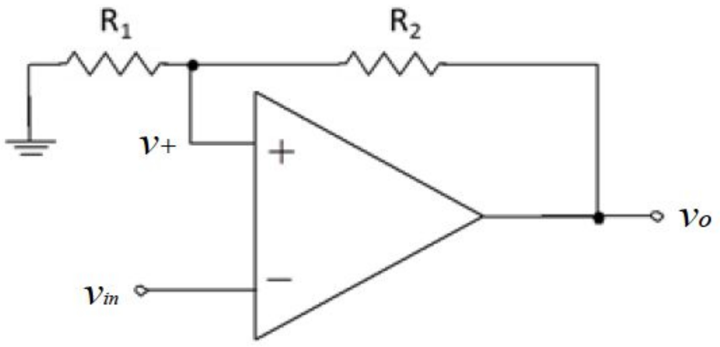


Aplicação: Oscilador

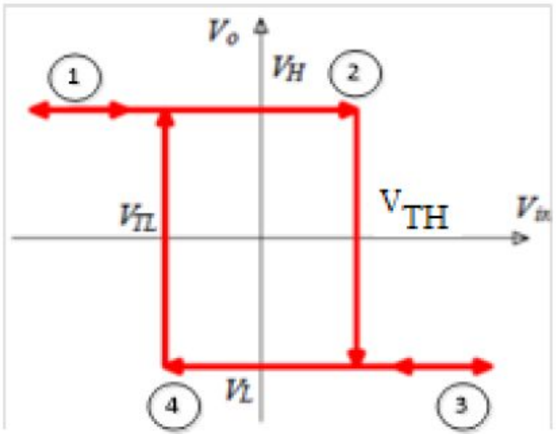




Amplificador Operacional como Comparador

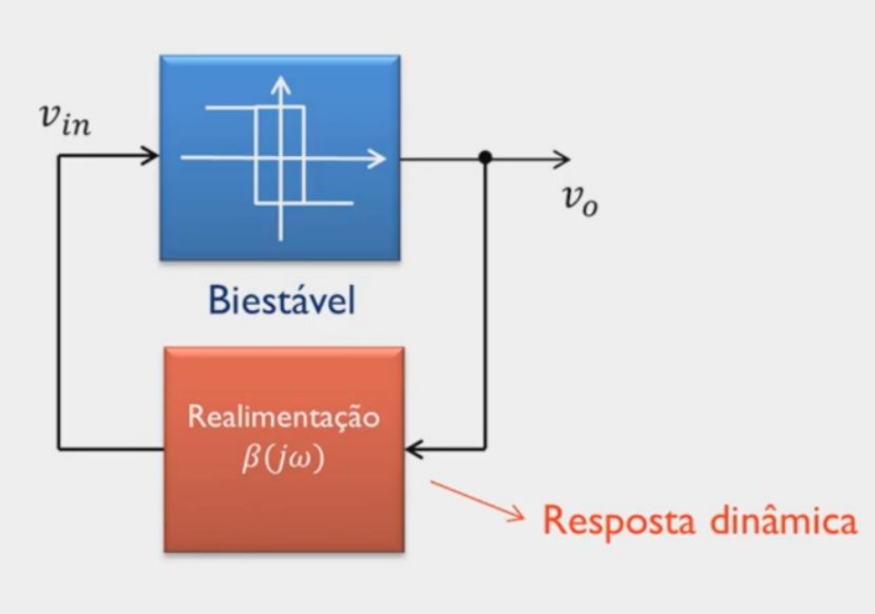


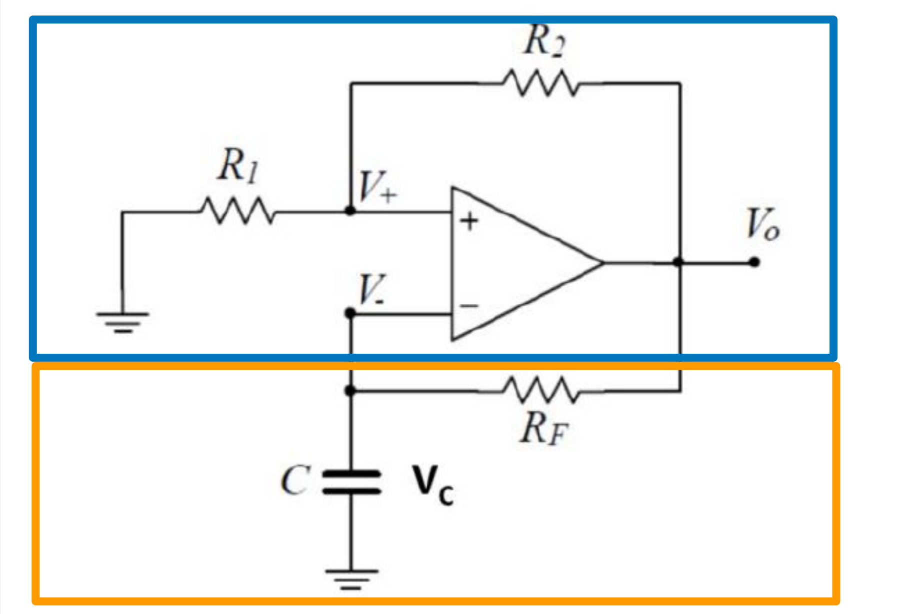
Circuito de um amplificador na configuração "comparador".



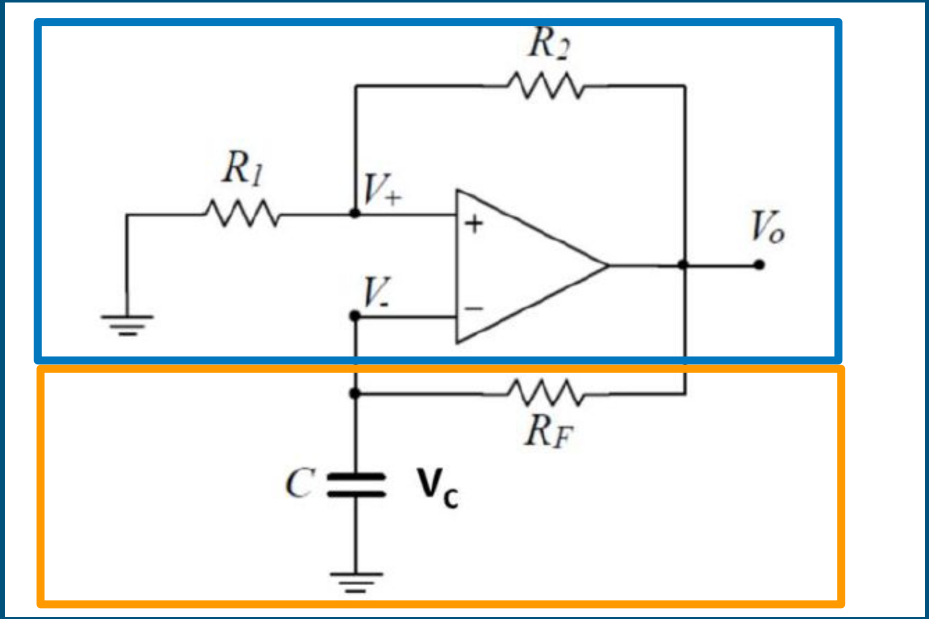
Curva de histerese do "comparador".

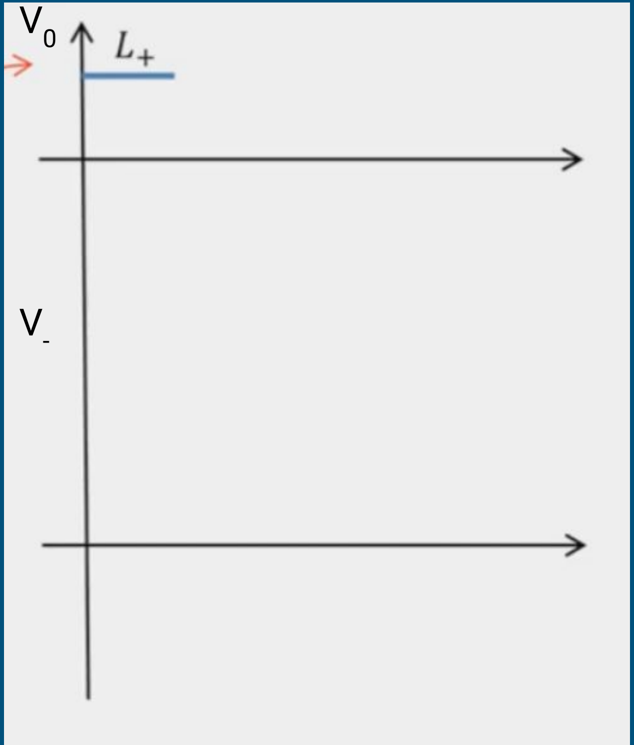
Oscilador com AmpOp + RC



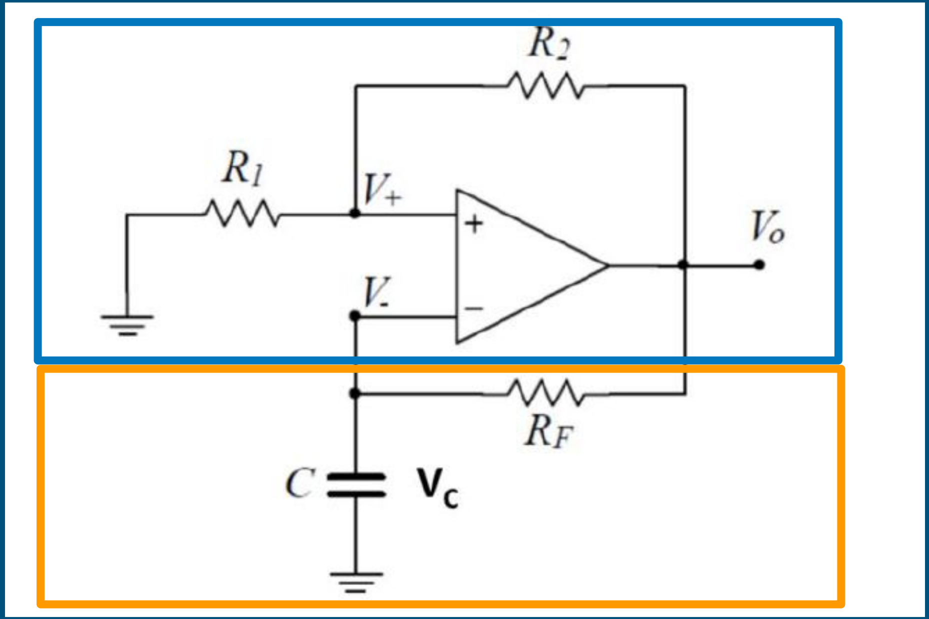


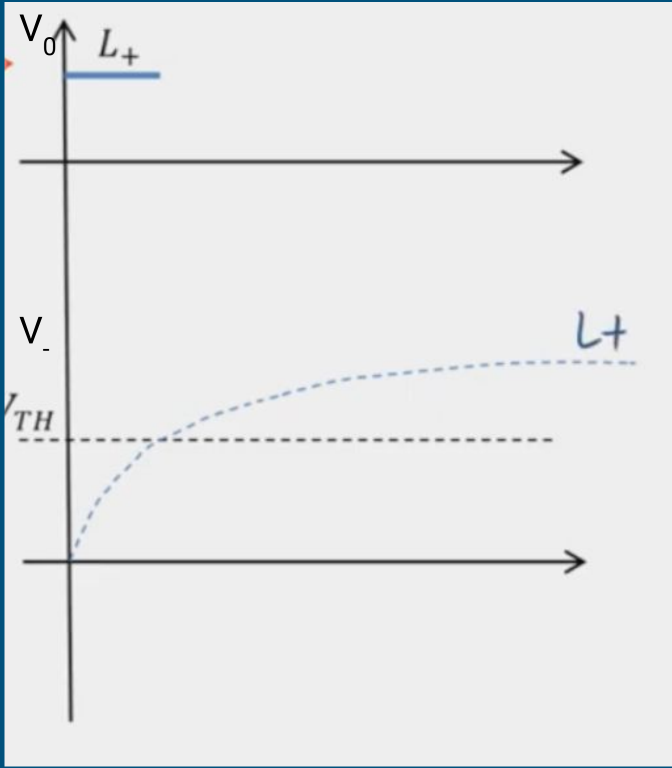
Aplicação: Oscilador



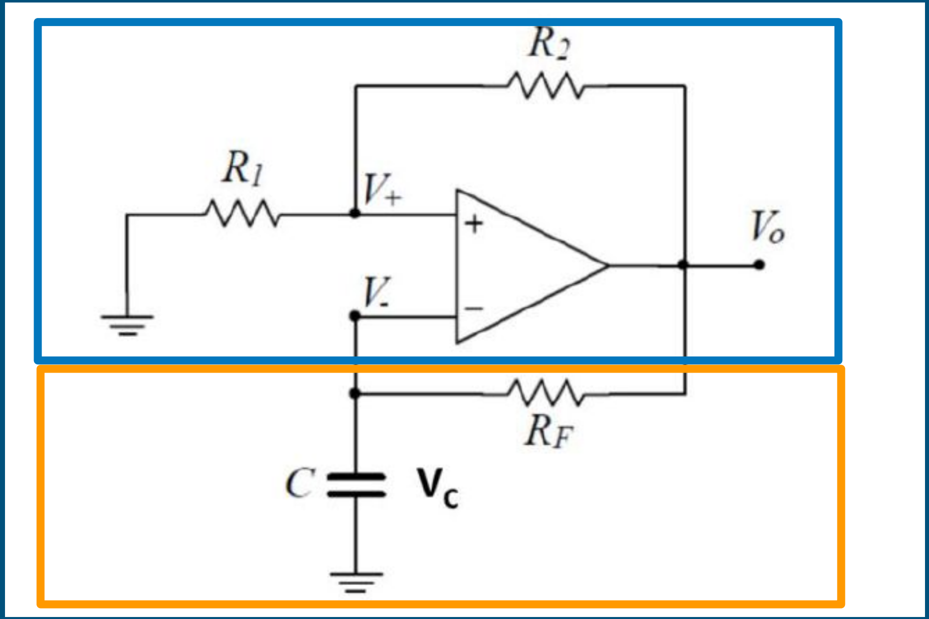


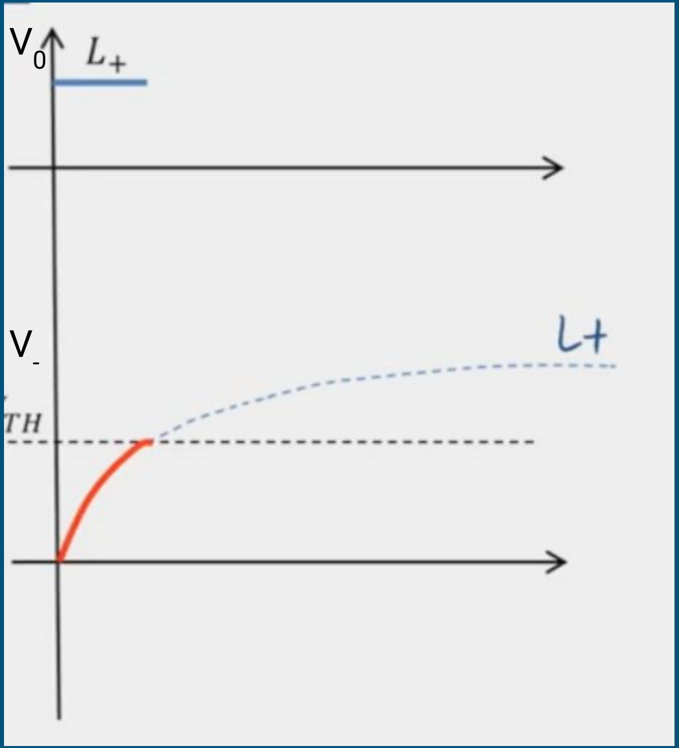
Aplicação: Oscilador



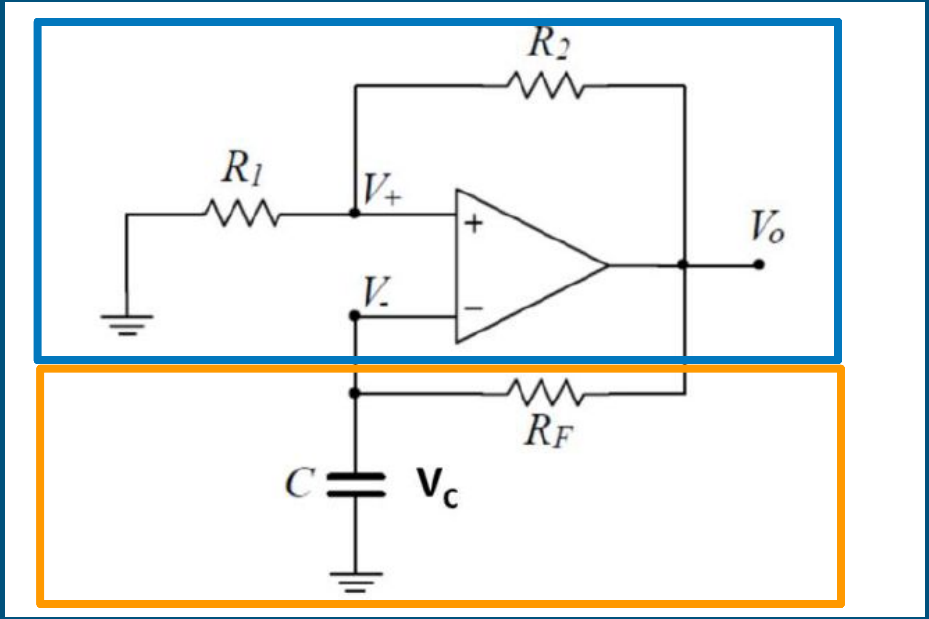


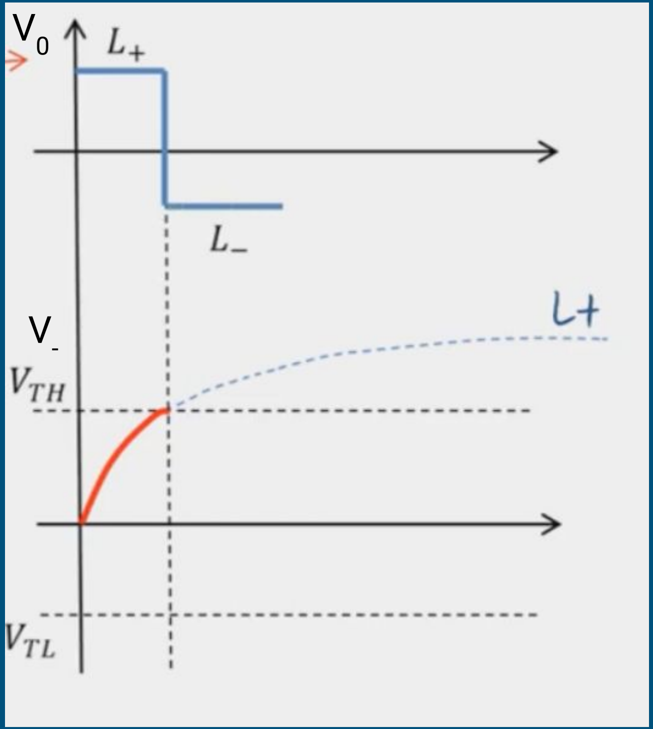
Aplicação: Oscilador



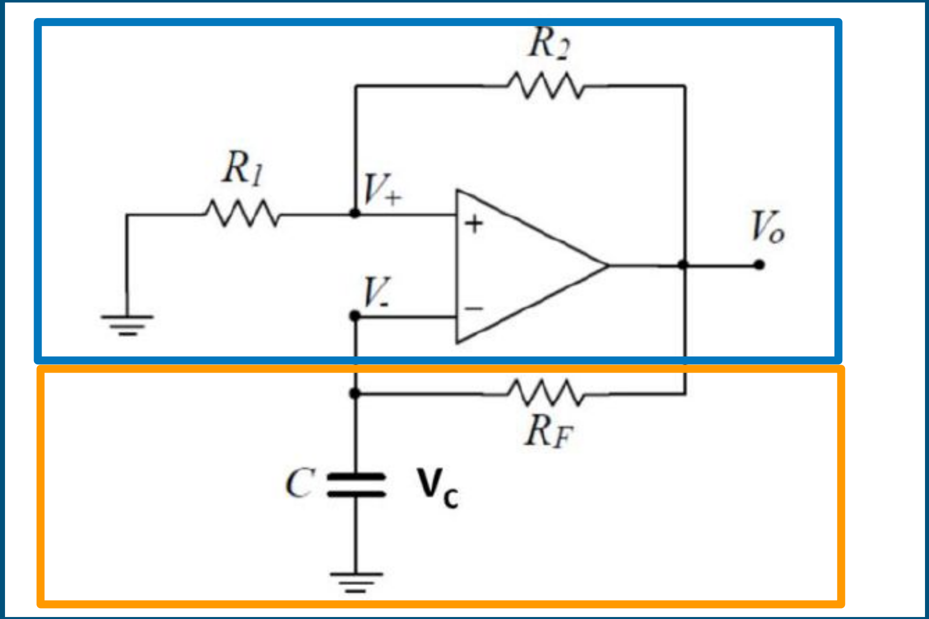


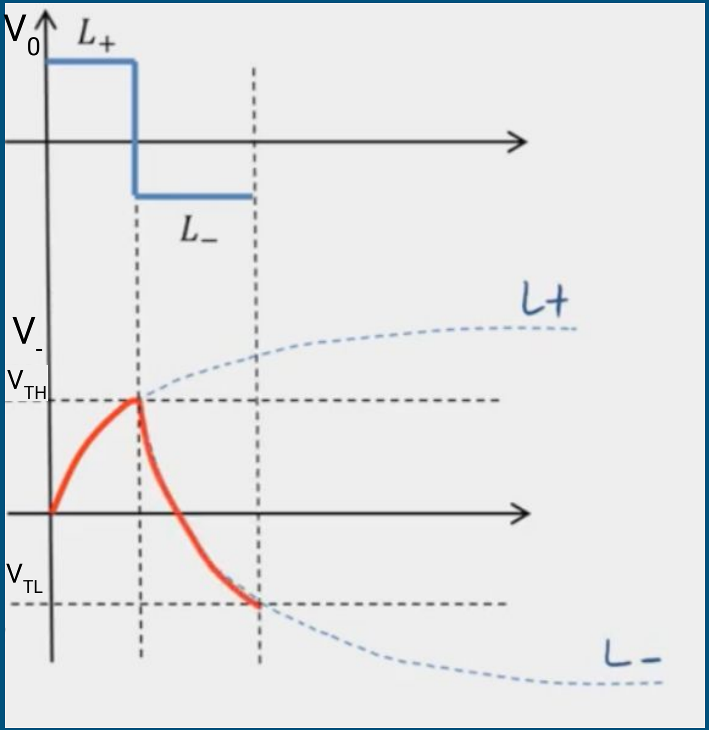
Aplicação: Oscilador



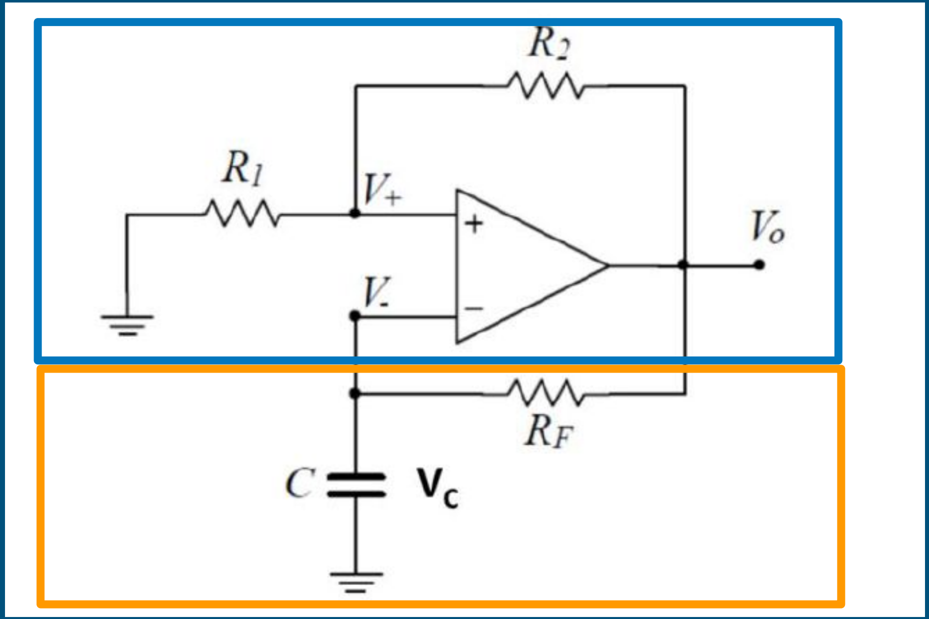


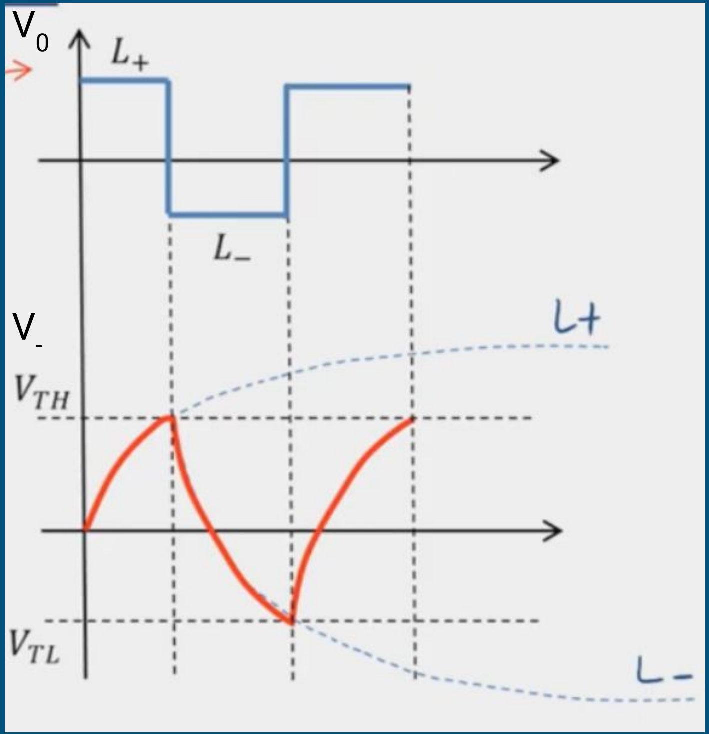
Aplicação: Oscilador





Aplicação: Oscilador





Análise teórica

Análise teórica

Solução Completa = Resposta Natural + Resposta Forçada

Análise teórica

Solução Completla = Resposta Natural + Resposta Forçada

Energia armazenada nos elementos do circuito

Geradores independentes

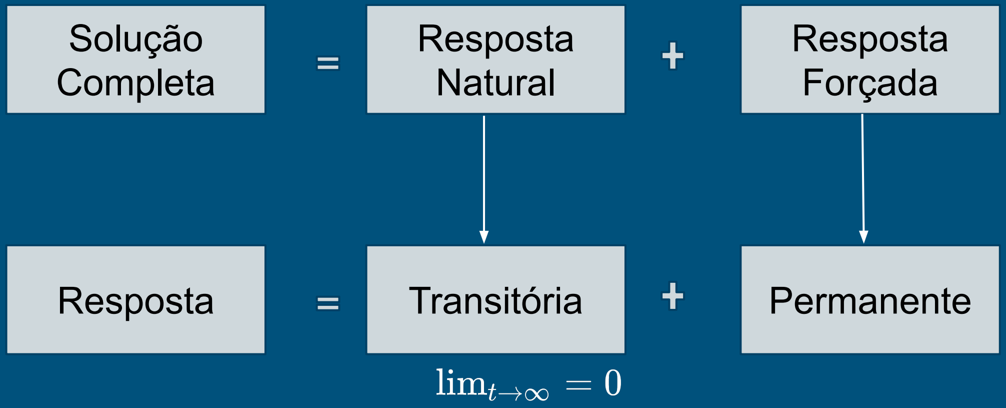
Análise teórica

Solução Completa = Resposta Natural + Resposta Forçada

Resposta = Transitória + Permanente

$\lim_{t\to\infty} = 0$

Análise teórica



Resolução de equações diferenciais

#1 Aplicar 2a Lei de Kirchhoff

#2 Aplicar relação constitutiva dos elementos da rede

#3 Resolver Equação Diferencial Ordinária

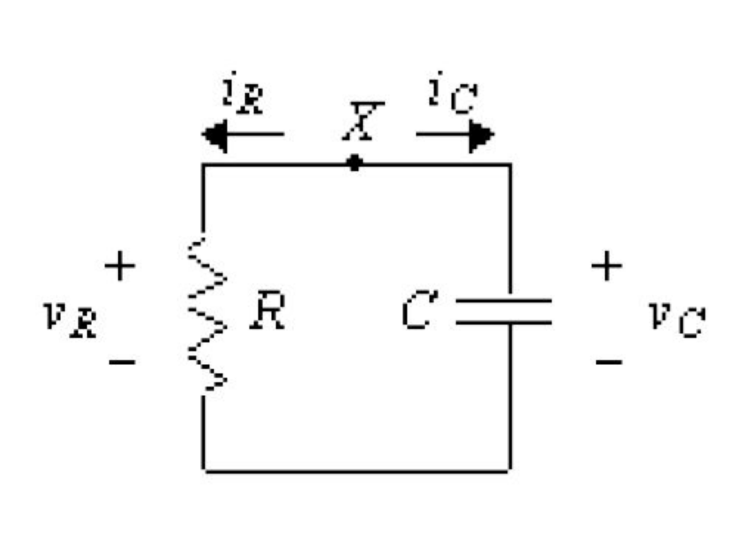
Análise teórica do circuito RC

Autor: Profa. Dra. Laisa Costa De Biase

Disciplina: PSI 3212 Lab. Circ. Elétricos

Período: 2023-1

Resposta Natural do Circuito RC

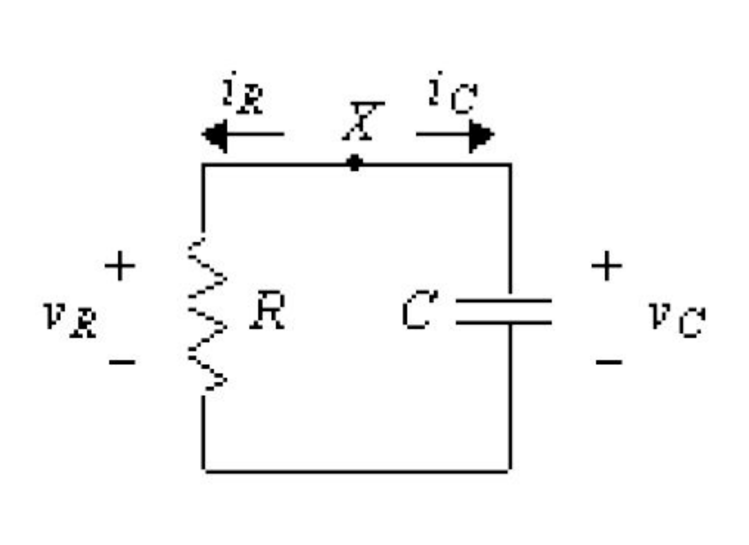


#1 Aplicar 2a Lei de Kirchhoff

#2 Aplicar relação constitutiva da capacitor

#3 Resolver Equação Diferencial Ordinária

Resposta Natural do Circuito RC



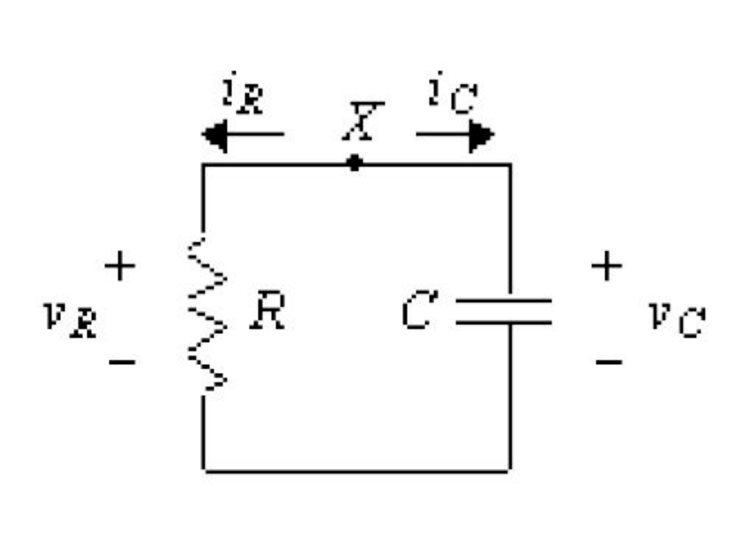
#1 Aplicar 2a Lei de Kirchhoff

$$R.\,i(t) + v(t) = 0$$

#2 Aplicar relação constitutiva da capacitor

#3 Resolver Equação Diferencial Ordinária

Resposta Natural do Circuito RC



#1 Aplicar 2a Lei de Kirchhoff

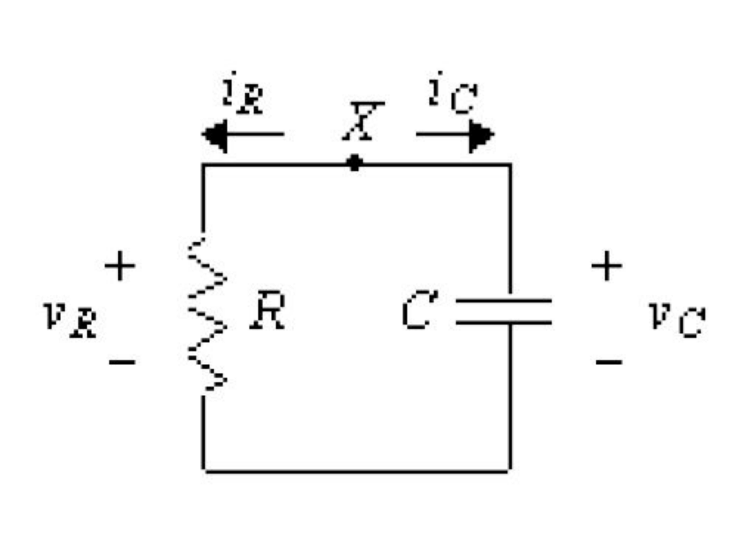
$$R.\, i(t) + v(t) = 0$$

#2 Aplicar relação constitutiva da capacitor

$$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt}$$

#3 Resolver Equação Diferencial Ordinária

Resposta Natural do Circuito RC



#1 Aplicar 2a Lei de Kirchhoff

$$R.\,i(t) + v(t) = 0$$

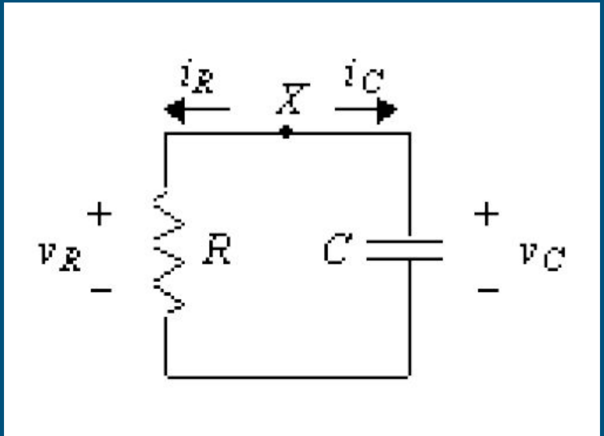
#2 Aplicar relação constitutiva da capacitor

$$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt}$$

#3 Resolver Equação Diferencial Ordinária

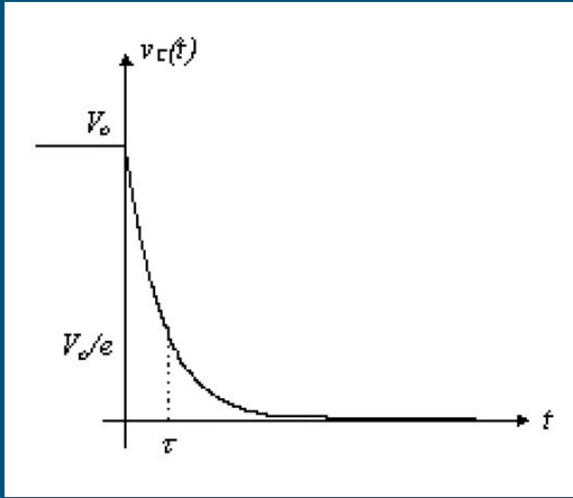
$$\frac{dv_c(t)}{dt} + \frac{1}{RC}v_c(t) = 0$$

Resposta Natural do Circuito RC



$$v_c(t) = A\, e^{\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$



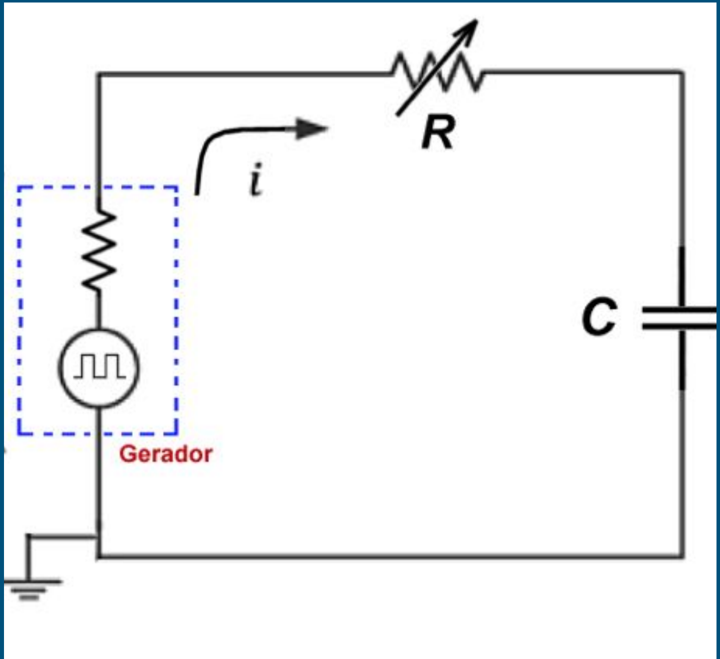
Solução teórica do Sistema de Primeira Ordem: Resposta forçada

Solução Completa = Resposta Natural + Resposta Forçada

Resposta Natural: Energia armazenada nos elementos do circuito

Resposta Forçada: Geradores independentes

Resposta teórica do RC ao degrau

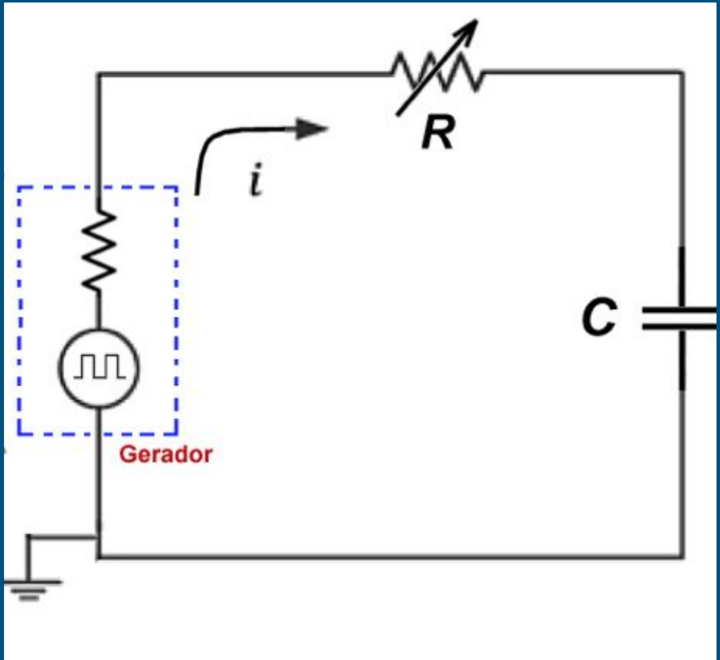


#1 Aplicar 2a Lei de Kirchhoff

#2 Aplicar relação constitutiva da capacitor

#3 Resolver Equação Diferencial Ordinária

Resposta teórica do RC ao degrau



#1 Aplicar 2a Lei de Kirchhoff

$$R.\,i(t) + v(t) = E$$

#2 Aplicar relação constitutiva da capacitor

$$v(t) = \frac{1}{C}\int i(t)\,dt$$

#3 Resolver Equação Diferencial Ordinária

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{RC}i(t) = 0$$

Resolvendo a EDO

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} i(t) = 0$$

$$i(t) = Ae^{pt}$$

$$\frac{d}{dt}(Ae^{pt}) + \frac{A}{\tau} e^{pt} = 0$$

$$Ae^{pt}\left(p + \frac{1}{\tau}\right) = 0$$

$$\boxed{p = -\frac{1}{\tau}}$$

$$\boxed{A = \frac{E}{R}} \quad \text{(C.I.)}$$

Resolvendo a EDO

Obtemos:

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

Mas sabemos que:

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t)\,dt$$

$$v(t) = \frac{1}{C} \int \frac{E}{R} e^{-t/\tau}\,dt$$

$$v(t) = \frac{1}{RC} (-\tau)\left(e^{-t/\tau}\right)\Big|_0^t$$

Finalmente:

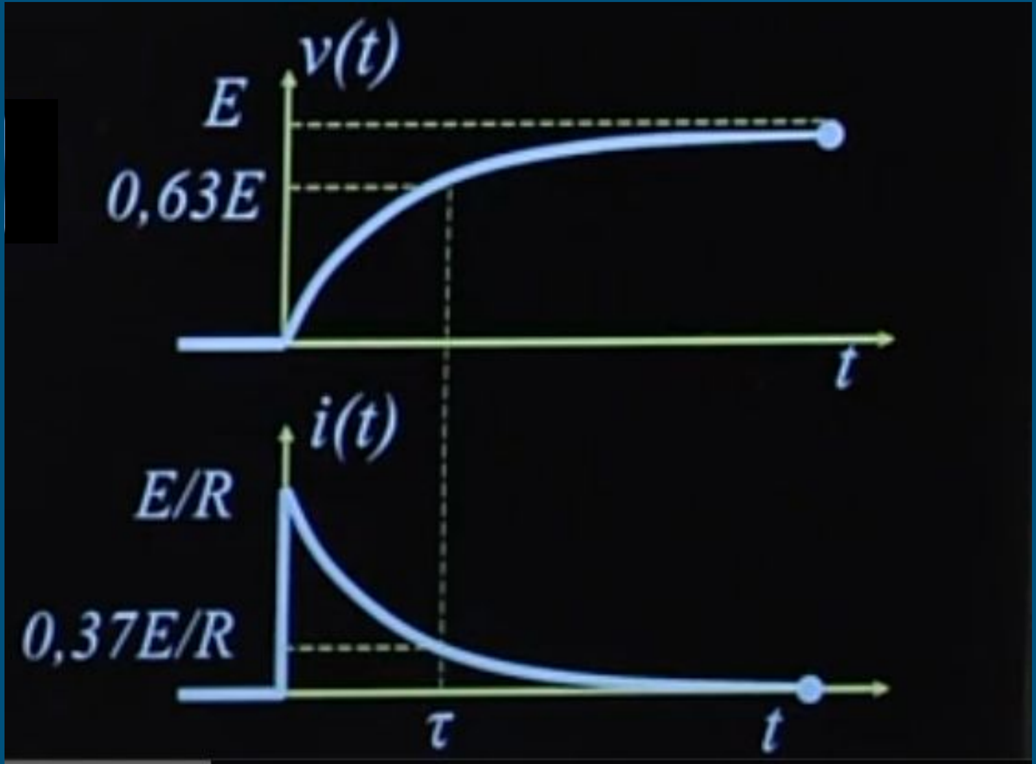
$$v(t) = E\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

Resposta teórica do RC ao degrau

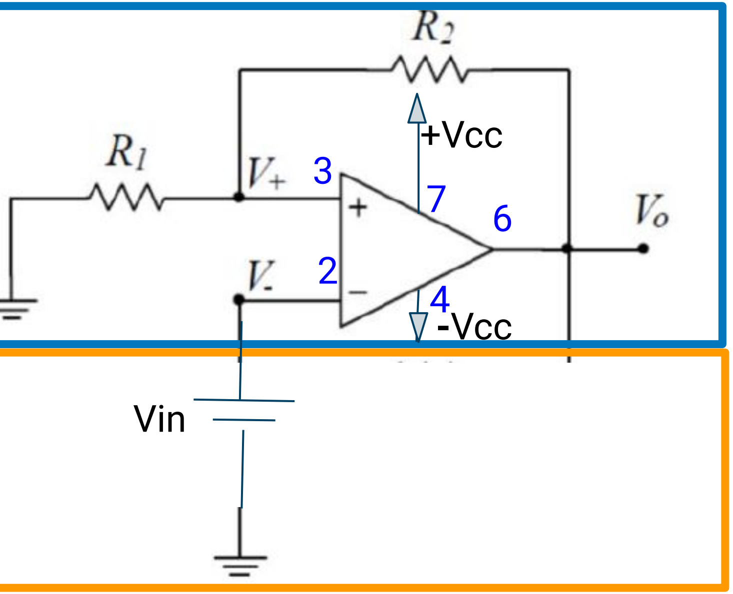
$$v(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

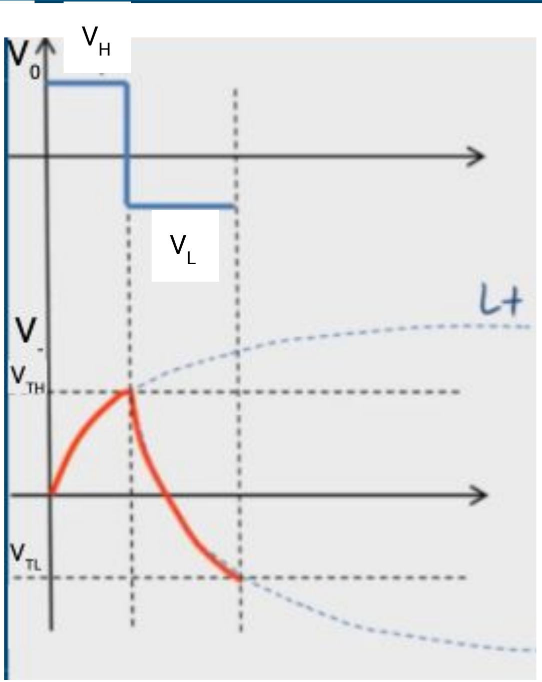
$$i(t) = \frac{E}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$$

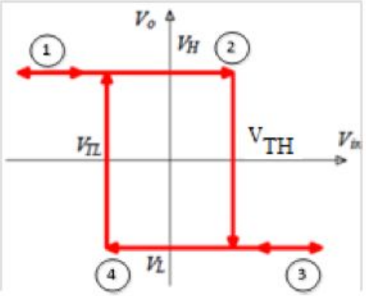
$$e^{-1} = 0,37$$



Experiência - Parte 2 Gerador de onda quadrada com circuito RC e AmpOp





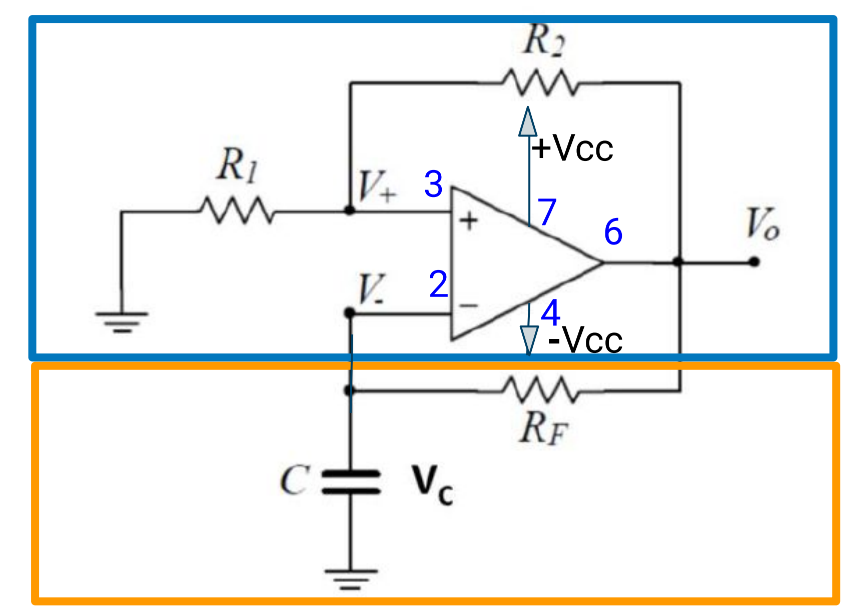


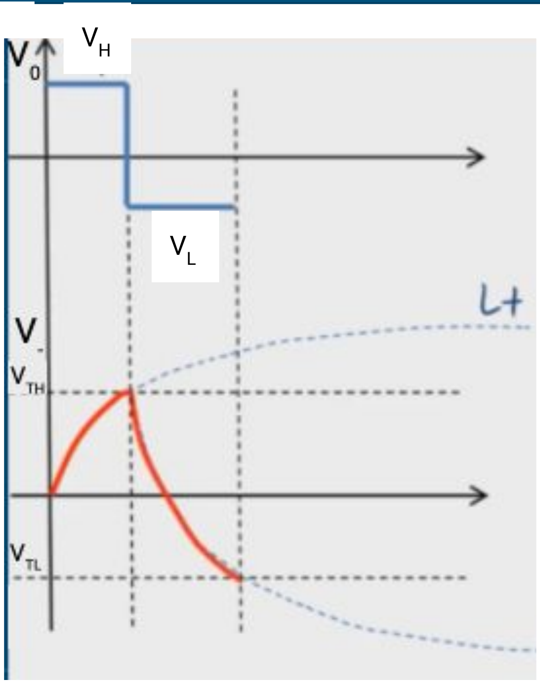
$$V_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0$$

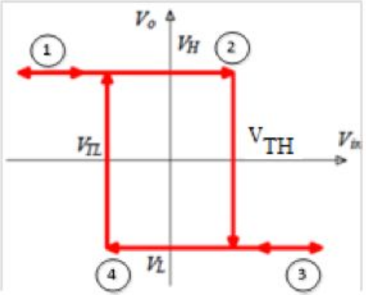
$$V_{in} = V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_H$$

$$V_{in} = V_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_L$$

Experiência - Parte 2 Gerador de onda quadrada com circuito RC e AmpOp







$$V_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0$$

$$V_{in} = V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_H$$

$$V_{in} = V_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_L$$