



DEEC

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

TÉCNICO LISBOA

Electrónica Geral

Autores: José Gerald e Pedro Vitor

Mestrado Integrado em Engenharia Física Tecnológica
Mestrado Integrado em Engenharia Aeroespacial

MEAer: 4^o ano, 1^o semestre

MEFT: 3^o ano, 1^o semestre

2020/2021

Capítulo 4

Osciladores



EG - Osciladores

Introdução:

- Osciladores são circuitos que geram sinais periódicos (sinusoidais, quadrados, dente de serra, etc.), actualmente até frequências da ordem dos GHz.
- Têm aplicações em telecomunicações (portadoras, misturadores, etc.), video (varrimentos), DSP (relógios) e na electrónica em geral.
- Podem dividir-se em osciladores sinusoidais (lineares) e de relaxação (não lineares).



Introdução (cont.)

Osciladores sinusoidais:

- Baseados em filtros muito selectivos e amplificadores com realimentação positiva fraca.
- Pólos sobre o eixo imaginário.
- Regime transitório (amplitude e frequência) quando se muda a frequência.
- Osciladores RC:
 - 10 Hz até 1 MHz
 - Podem ter distorção relevante, devida à malha não linear de controlo da amplitude, que gera harmónicas pouco filtradas na malha β (RC).
- Osciladores LC e com cristal:
 - 100 kHz a centenas de MHz.
 - Factores de qualidade, Q, elevados.
 - Faixa de sintonia estreita (no limite só uma frequência de oscilação, para osciladores com cristal).

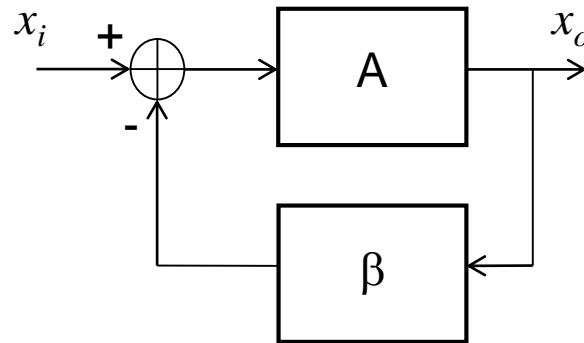


Introdução (cont.)

Osciladores de relaxação:

- Baseados em amplificadores com forte realimentação positiva, com dois estados estáveis (astáveis) e malhas integradoras que definem o tempo de mudança de estado.
- Apesar de serem não lineares, a forma de onda de saída pode ser processada por forma a obter-se uma sinusóide aproximada (via filtragem) ou qualquer outra forma de onda clássica (dente de serra, triangular, etc.) via integração/diferenciação ou comparação do sinal.

Critério de Barkhausen



$$K = \frac{x_o}{x_i} = \frac{A}{1 + A\beta}$$

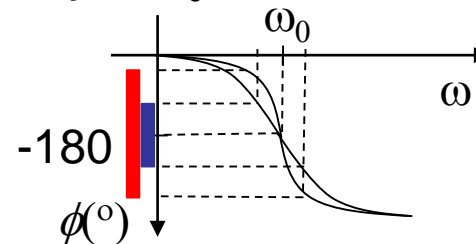
($T = A\beta =$ ganho de retorno)

Critério de Barkhausen: Para se obter um oscilador sinusoidal, $1 + A\beta = 0$.

$$\begin{cases} |T| = 1 \\ \phi = -180^\circ \end{cases}$$



1) A frequência de oscilação ω_0 tira-se de: $\arg\{T(j\omega)\} = -180^\circ$
ou $\text{Im}\{T(j\omega)\} = 0$

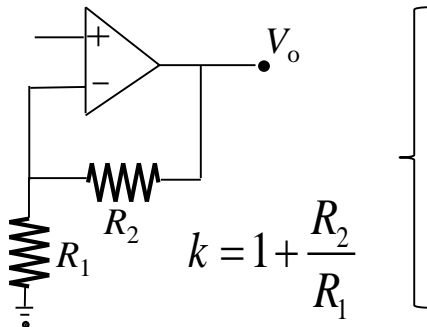


2) A condição de oscilalação tira-se de: $|T(j\omega_0)| = 1$

Critério de Barkhausen

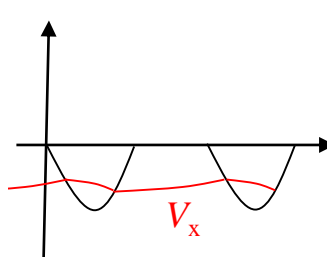
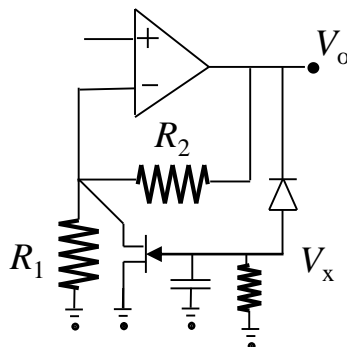
Controlo da amplitude das oscilações:

Na prática, implementam-se os pólos ligeiramente à direita do eixo imaginário ($|T| > 1$) e adiciona-se uma malha de controlo da amplitude do sinal de saída.



- R_1 em série com lâmpada (muito baixa distorção) ($\approx 0,03\%$) $\Rightarrow V_o \uparrow$, lâmpada aquece, $R_1 \uparrow$.
- Termistância em paralelo com R_2 $\Rightarrow V_o \uparrow$, termistância aquece, $R_2 \downarrow$.

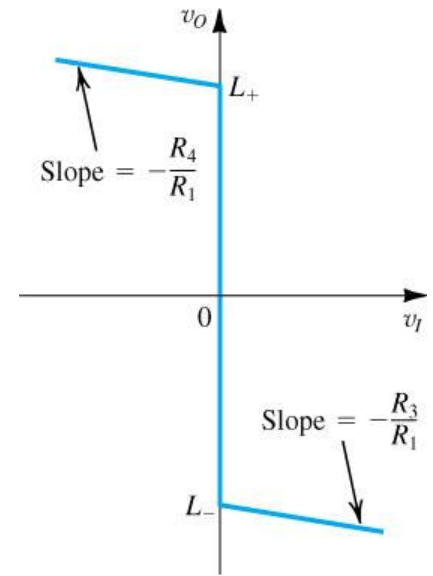
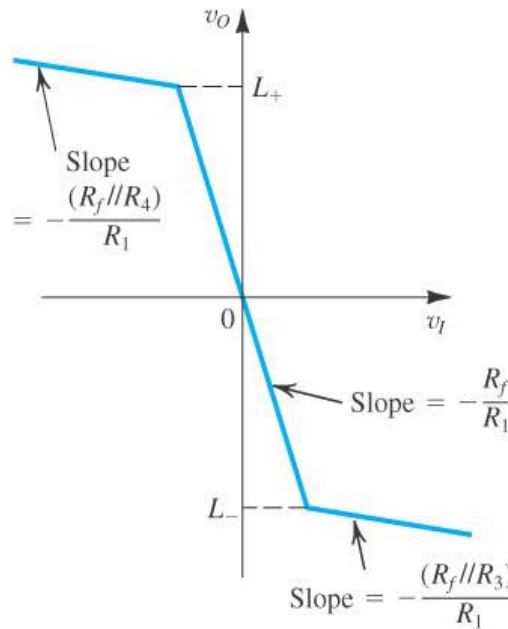
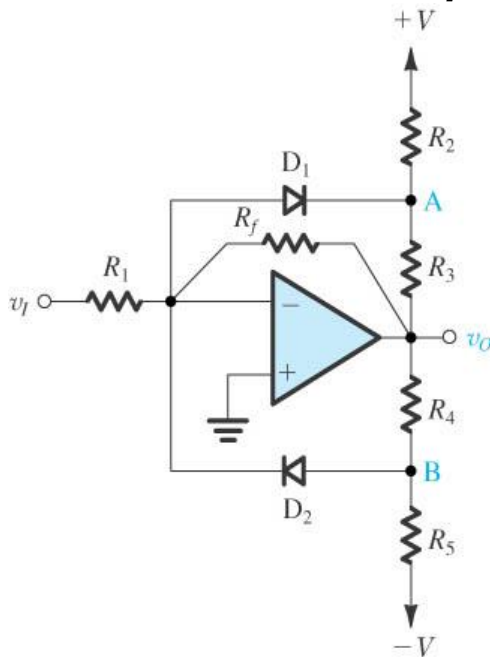
Controlo Automático de Ganho (AGC)



- $V_o \uparrow$, $V_x \downarrow$, $R_{canal} \uparrow$, $R_{total} \uparrow$.

Critério de Barkhausen

Controlo da amplitude das oscilações (cont.):



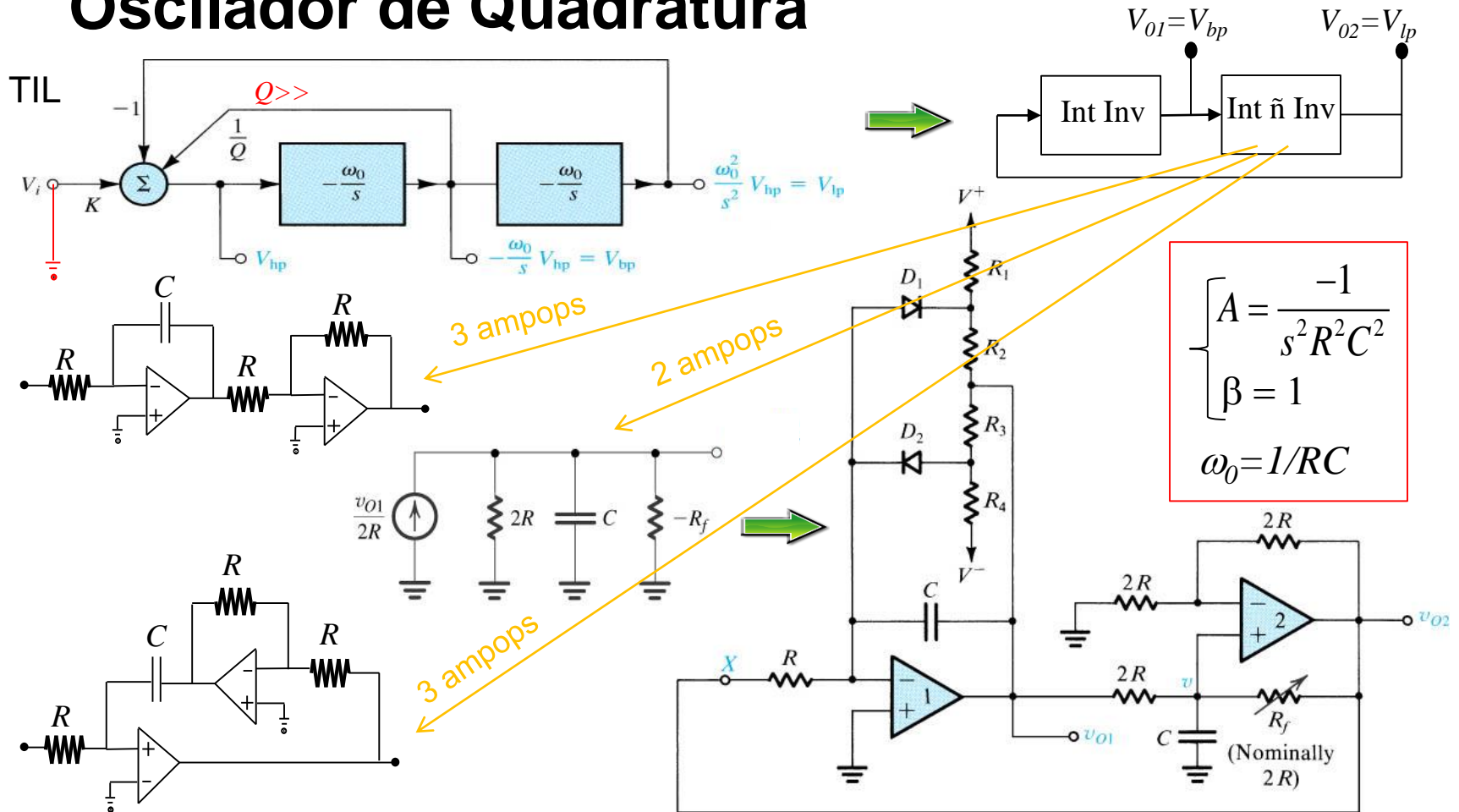
$$L_- = -V \frac{R_3}{R_2} - V_D \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)$$

$$L_+ = V \frac{R_4}{R_5} + V_D \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right)$$

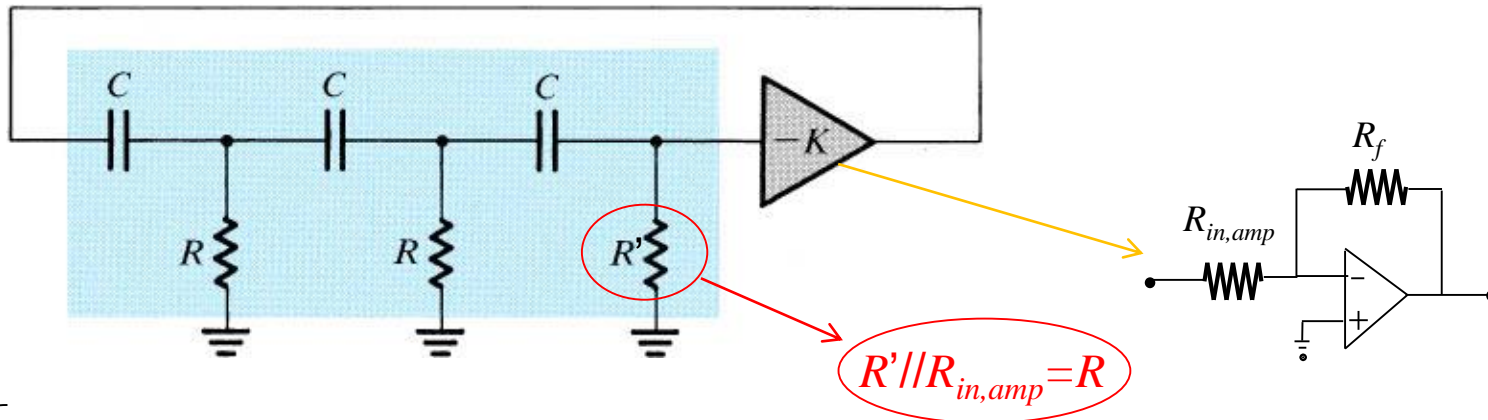


EG - Osciladores

Oscilador de Quadratura



Oscilador de Desvio de Fase



$$\left\{ \begin{array}{l} A = K \\ \beta(s) = \frac{s^3}{s^3 + \frac{6}{RC}s^2 + \frac{5}{R^2C^2}s + \frac{1}{R^3C^3}} \end{array} \right.$$

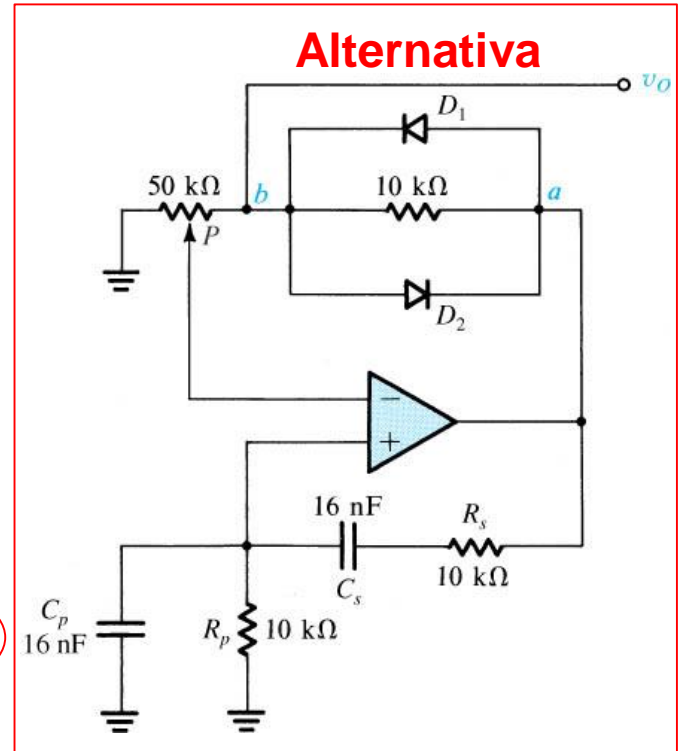
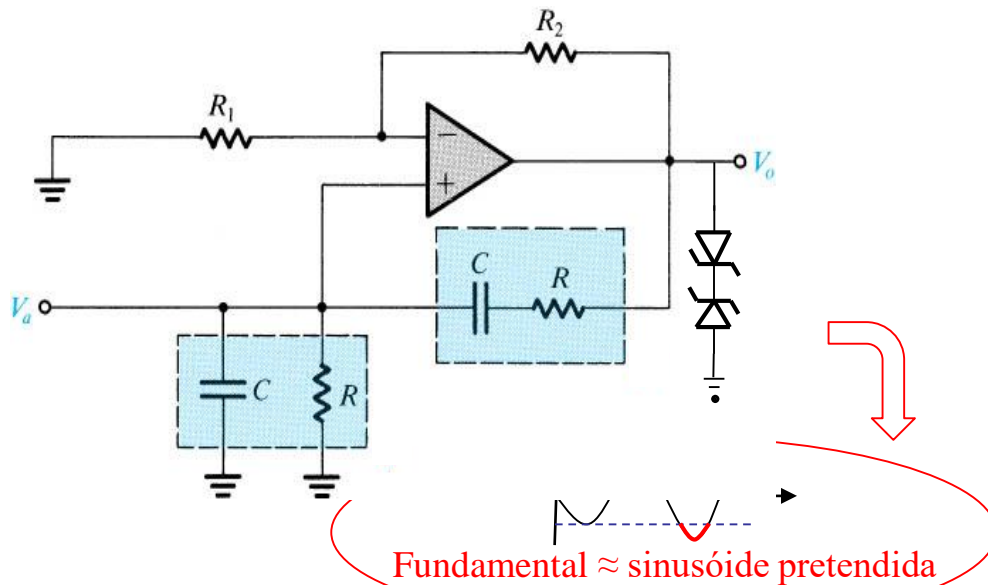
$$A\beta = -1 \quad \rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Arg}\{\beta\} = \pi \\ K = 1/|\beta| \text{ para } \omega = \omega_\pi \end{array} \right.$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{6RC}}$$

$$K = 29$$

Oscilador Ponte de Wien

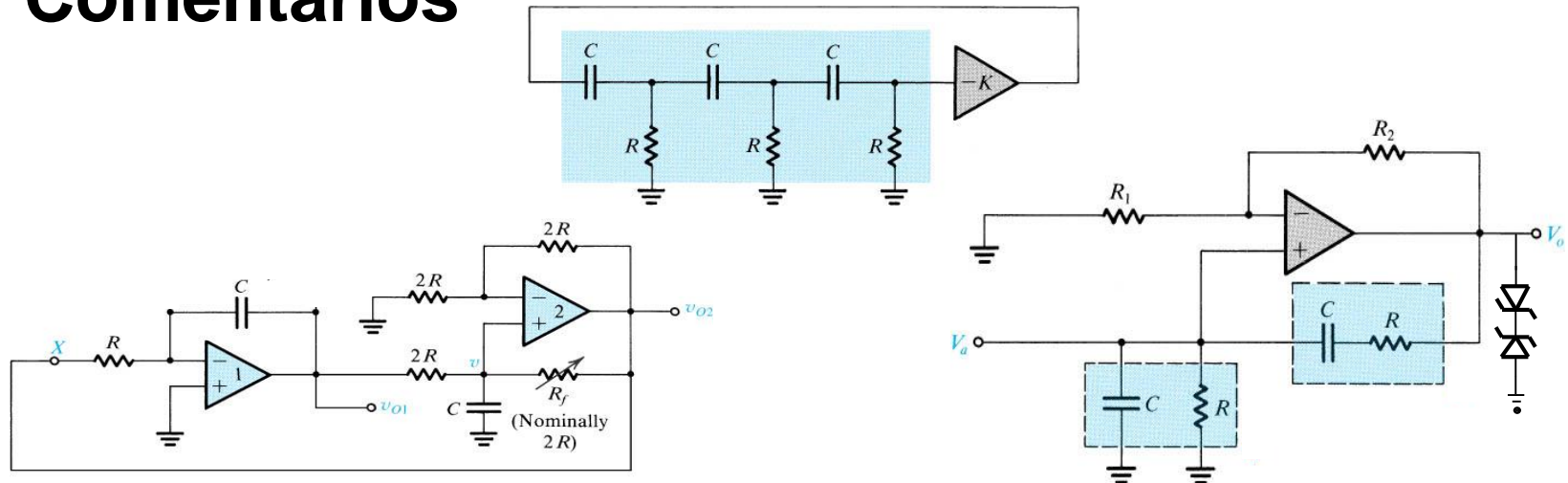


$$\left\{ \begin{array}{l} A = 1 + \frac{R_2}{R_1} \\ \beta(s) = \frac{-1}{3 + CRs + \frac{1}{CRs}} \end{array} \right. \rightarrow A\beta(\omega) = \frac{-A}{3 + j\left(CR\omega - \frac{1}{CR\omega}\right)}$$

$$|A\beta| = 1 \wedge \text{Im}\{A\beta\} = 0 \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 3 \\ \omega_0 = \frac{1}{RC} \end{array} \right.$$

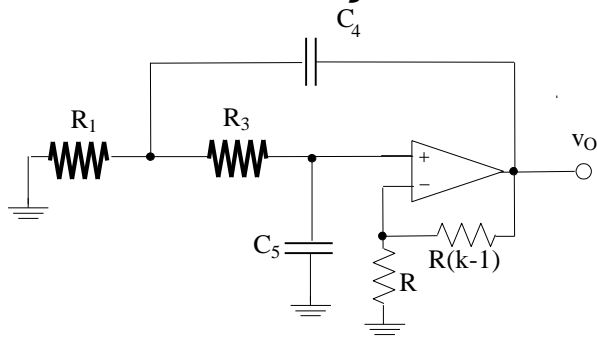
Comentários



- O oscilador de quadratura fornece duas sinusóides em quadratura, o que é vantajoso em sistemas de telecomunicação, apresenta pouca distorção mas requer mais hardware (2 ampops).
- O oscilador de desvio de fase apresenta pouca distorção (filtro de 3ª ordem), mas sem “buffering” requer um ganho mais elevado.
- O oscilador em ponte de Wien tem boa estabilidade na frequência mas apresenta um sinal de saída com alguma distorção.

Outros Osciladores

Baseado na Secção de Sallen & Key



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{k/R_1 R_3 C_4 C_5}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_1 C_4} + \frac{1}{R_3 C_4} + \frac{1-k}{R_3 C_5}\right) + \frac{1}{R_1 R_3 C_4 C_5}}$$

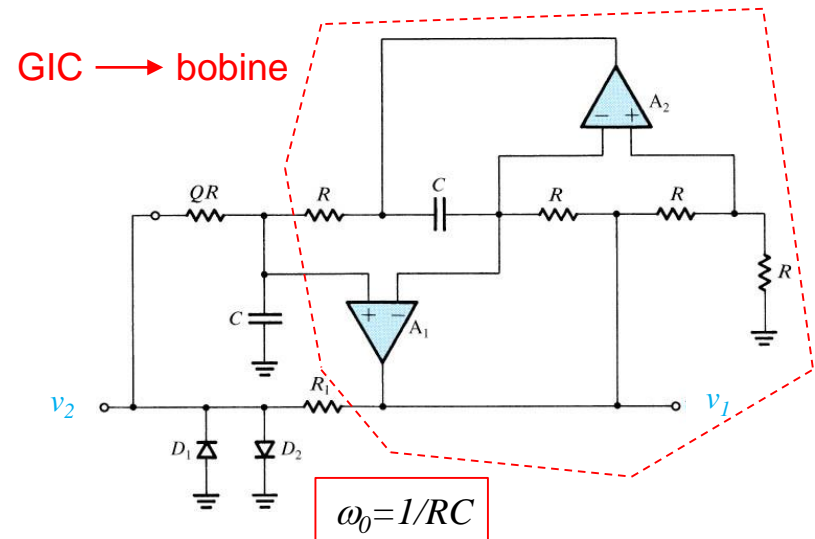
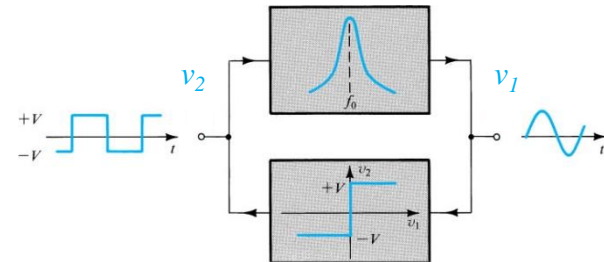
Com $R_1=R_3=R$ e $C_4=C_5=C$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{k/R^2 C^2}{s^2 + s\left(\frac{3-k}{RC}\right) + \frac{1}{R^2 C^2}}$$

$Q = \infty \rightarrow k=3$

$\omega_0 = 1/RC$

Baseado em Filtro BP com GIC



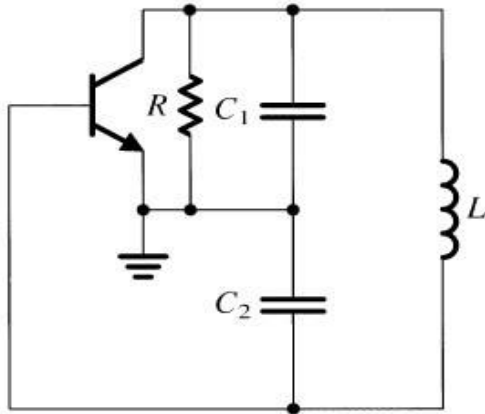


Osciladores LC

- A defasagem de 180° pode ser realizada mediante uma malha LC.
- Osciladores LC não se usam em baixa frequência devido às dimensões elevadas requeridas pelas bobines para estas frequências. Além disso, são mais estáveis a altas frequências.
- Usualmente não usam ampops pois estes têm largura de banda mais reduzida face a outros amplificadores.
- Osciladores com grande estabilidade podem ser obtidos usando cristais e ressoadores cerâmicos.
- Aplicações típicas nas áreas de rádio frequência, televisão, rádio e microprocessadores.

Osciladores de Colpitts e Hartley

Colpitts



Na Frequência de Ressonância

$$(Z = R + jX \cong jX)$$

$$X_{L_{Total}} = X_{C_{Total}}$$

$$X_{C_{Total}} = X_{C_1} \parallel X_{C_2} \\ = \frac{1}{\omega \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)}$$

$$X_{L_{Total}} = X_{L_1} \parallel X_{L_2} \\ = \omega(L_1 + L_2)$$

Frequência de Oscilação

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \left(\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)}}$$

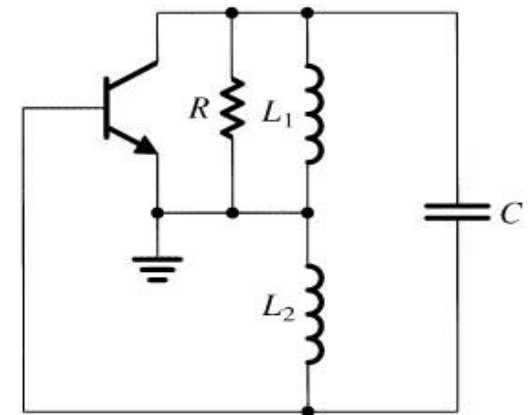
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C(L_1 + L_2)}}$$

Condição de Oscilação

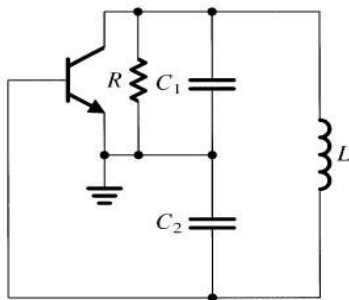
$$g_m R > \frac{C_2}{C_1}$$

$$g_m R > \frac{L_1}{L_2}$$

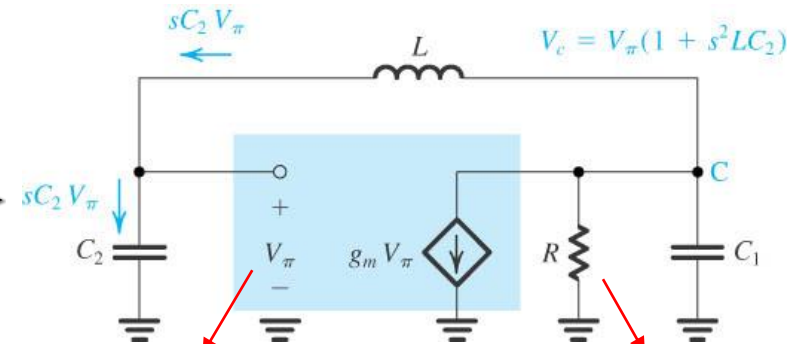
Hartley



Condição de Oscilação para Colpitts



circuito equivalente



C_π incluído em C_2 , r_π e C_m desprezados

r_o incluído em R

No nó C:

$$sC_2V_\pi + g_mV_\pi + \left(\frac{1}{R} + sC_1\right)(1 + s^2LC_2)V_\pi = 0$$

Eliminando V_π (pois é diferente de zero, substituindo s por $j\omega$ e rearranjando os termos, vem

$$\left(g_m + \frac{1}{R} - \frac{\omega^2LC_2}{R}\right) + j\left[\omega(C_1 + C_2) - \omega^3LC_1C_2\right] = 0$$

Parte imaginária = 0

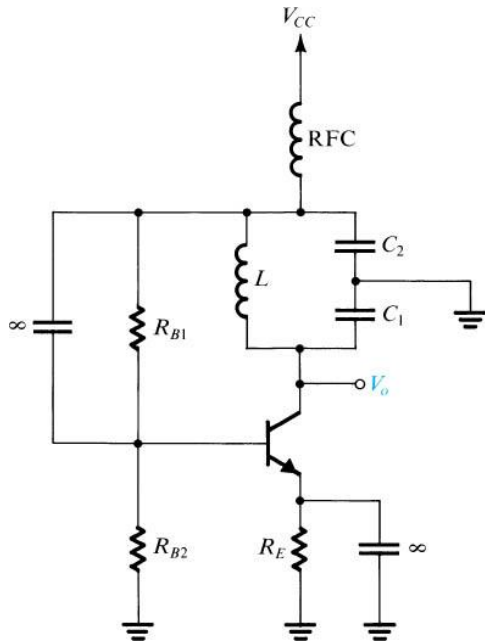
Parte real = 0

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L\left(\frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}\right)}}$$

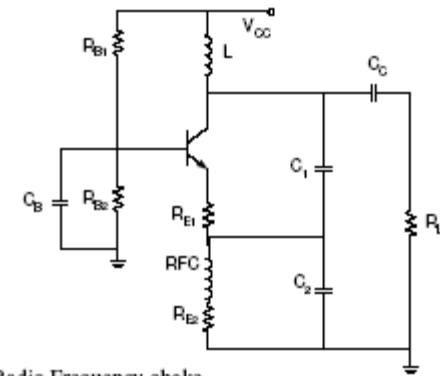
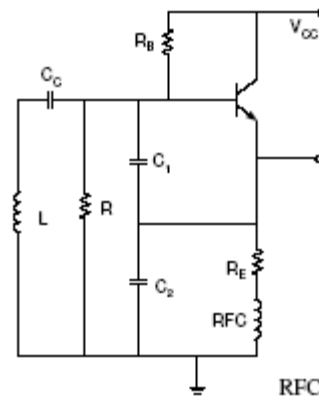
$$g_mR > \frac{C_1}{C_2}$$

Oscilador de Colpitts (cont.)

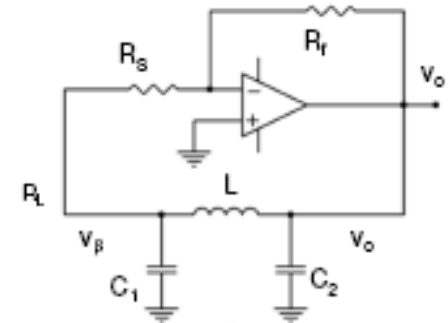
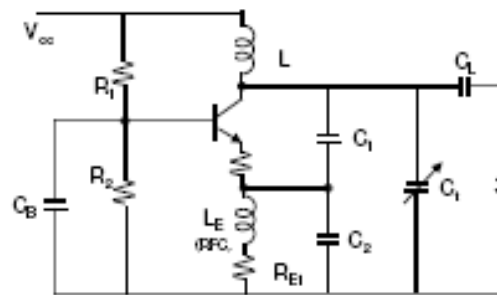
Circuito Completo



Outros Exemplos



RFC – Radio Frequency choke

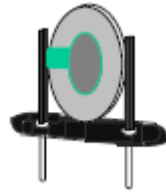




EG - Osciladores

Oscilador a Cristal

São realizados depositando um filme condutor sobre faces opostas de um cristal de quartzo (efeito piezoelétrico). E depois encapsulados



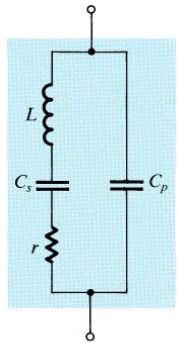
axial

SMD

O símbolo é



Circuito equivalente



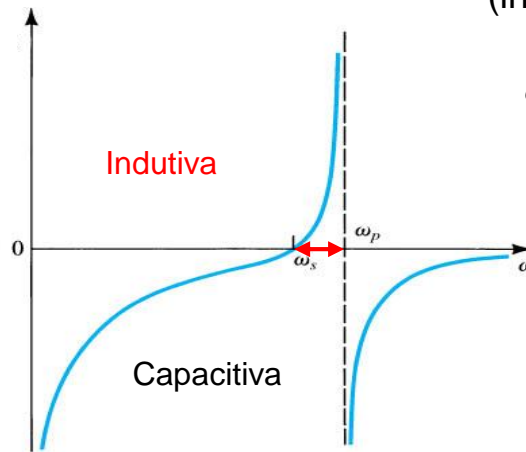
$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC_s}}$$

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L \left(\frac{C_s C_p}{C_s + C_p} \right)}}$$

$$z(s) = \frac{1}{sC_p + \frac{1}{sL + \frac{1}{sC_s}}}$$

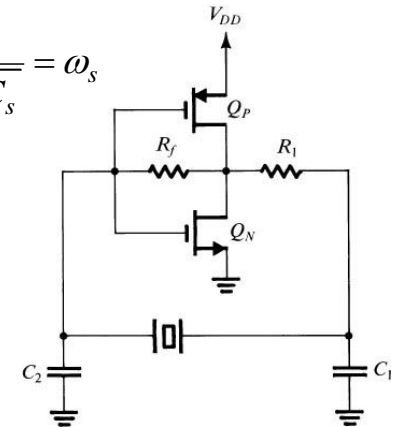
Desprezando r

Reactância (desprezando r)



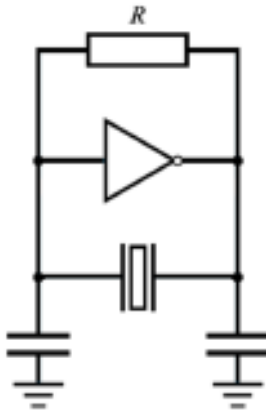
Oscilador de Pierce
(inversor CMOS como amplificador)

$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC_s}} = \omega_s$$

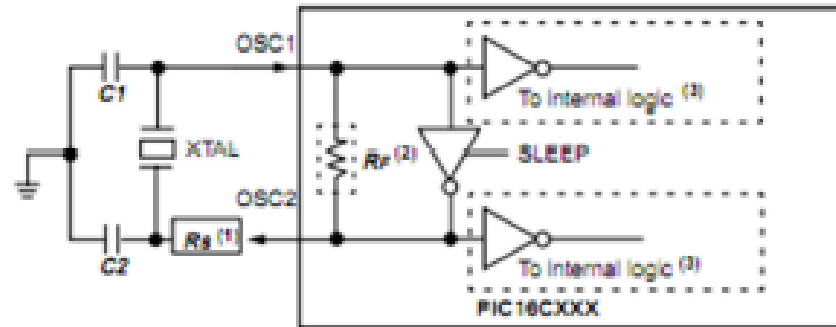


Oscilador a Cristal (cont.)

Outros Exemplos



Com Inversor



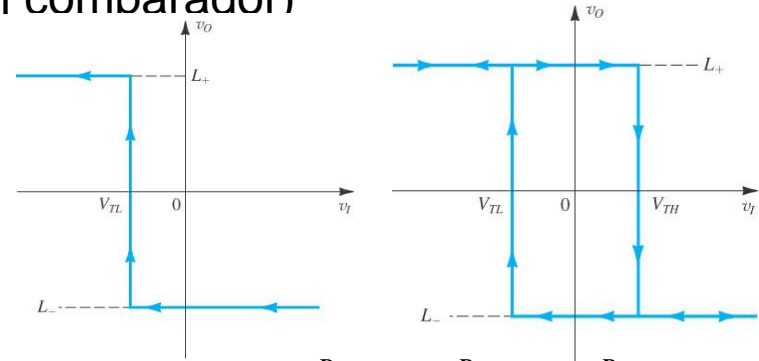
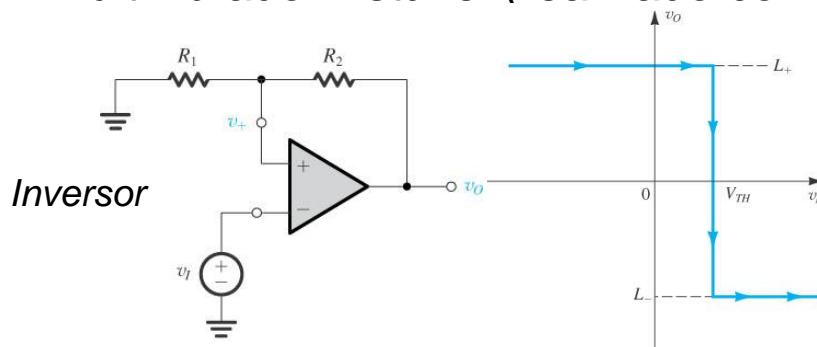
Dos PIC16CXXX (PIC – Peripheral Interface Controller Microchip)



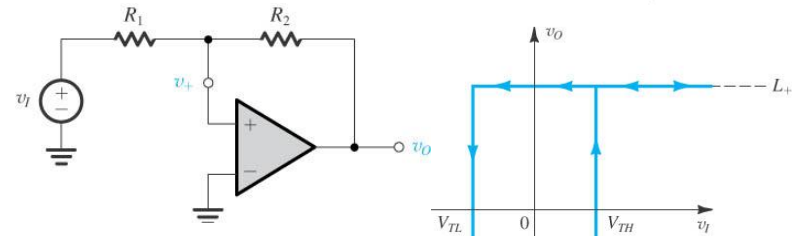
EG - Osciladores

Osciladores de Relaxação

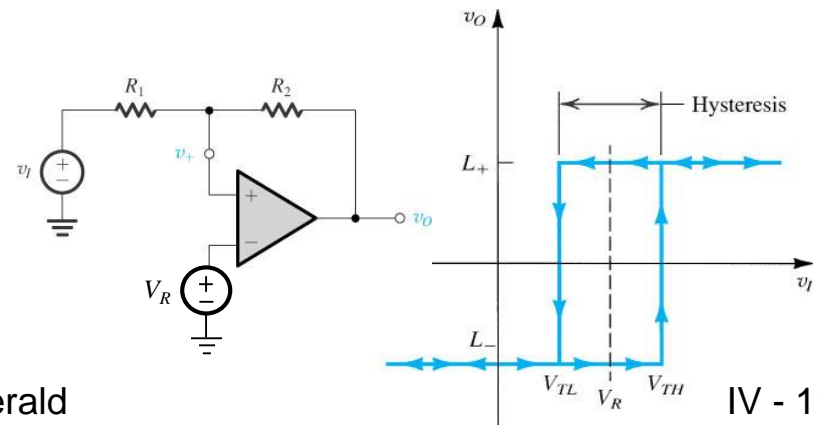
Multivibrador Astável (realizado com um comparador)



$$v_{TH} - v_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} L_+ - \frac{R_1}{R_1 + R_2} L_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (L_+ - L_-)$$



Não Inversor com Referência



Não Inversor

$$v_+ = v_I \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_O \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

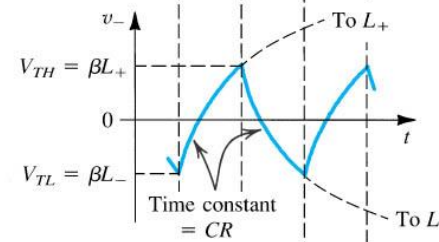
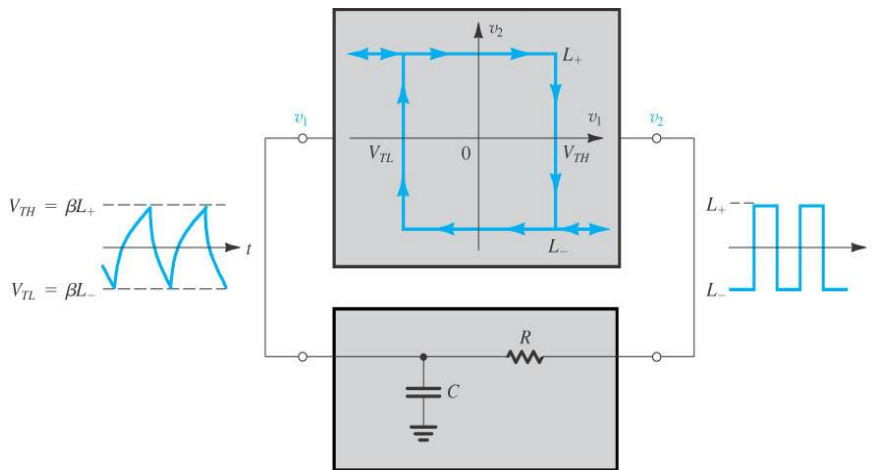
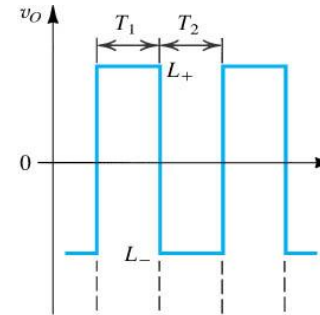
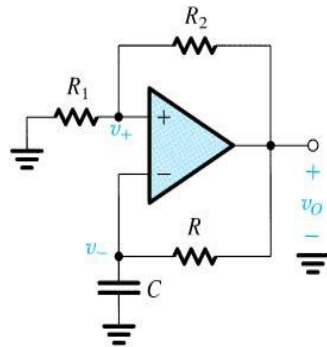
$$v_{TL} = -L_+ (R_1 / R_2)$$

$$v_{TH} = -L_- (R_1 / R_2)$$



$$v_{TH} - v_{TL} = (R_1 / R_2) (L_+ - L_-)$$

Multivibrador Astável (cont.)

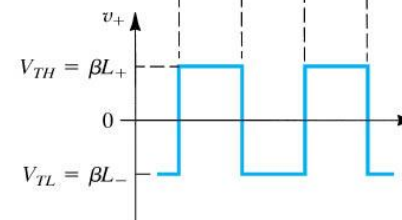


$$T_1 = RC \ln \frac{1 - \beta \left(\frac{L_-}{L_+} \right)}{1 - \beta}$$

$$T_2 = RC \ln \frac{1 - \beta \left(\frac{L_+}{L_-} \right)}{1 - \beta}$$

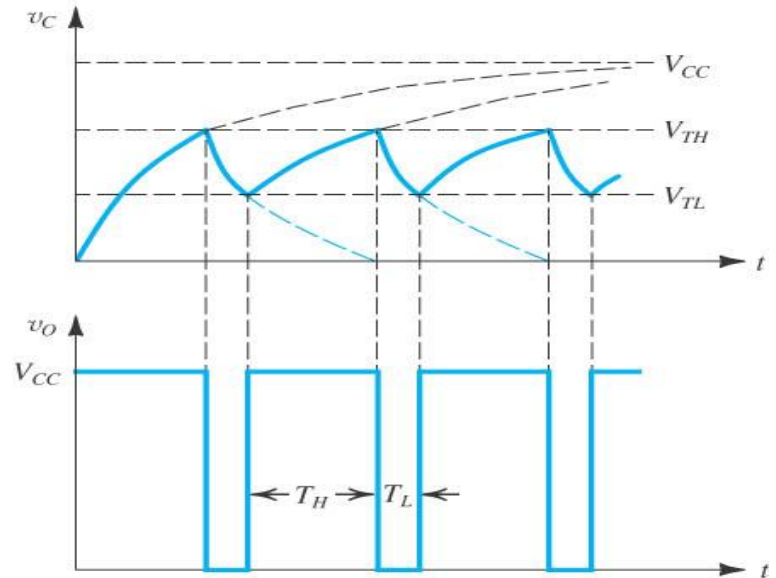
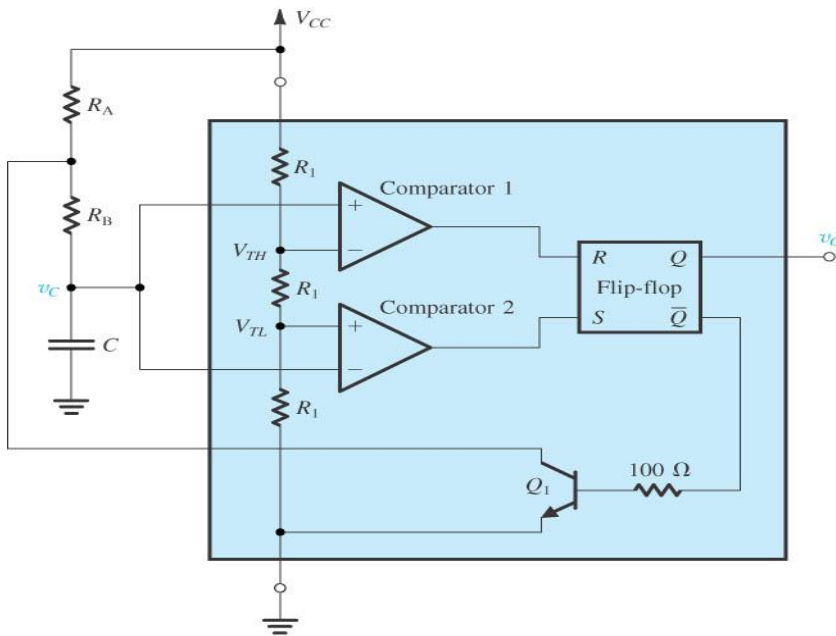
Se $L_- = -L_+$

$$T = 2RC \ln \frac{1 + \beta}{1 - \beta}$$





CI 555 - Timer



Na descarga:

$$v_C = V_{TH} e^{-\frac{t}{R_B C}}$$

$$\frac{V_{CC}}{3} = V_{TH} e^{-\frac{t}{R_B C}} \Rightarrow T_L = CR_B \ln 2 \approx 0.69 CR_B$$

2020-2021

Na carga:

$$v_C = V_{CC} - (V_{CC} - V_{TL}) e^{-\frac{t}{(R_A + R_B)C}}$$

$$\frac{2V_{CC}}{3} = V_{CC} - (V_{CC} - V_{TL}) e^{-\frac{t}{(R_A + R_B)C}} \Rightarrow T_H = C(R_A + R_B) \ln 2 \approx 0.69 C(R_A + R_B)$$

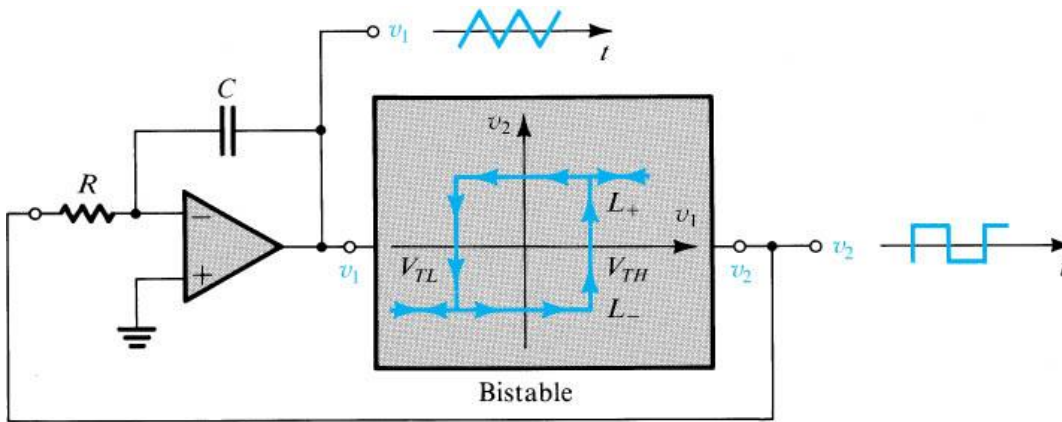
J. Gerald

Período: $T = T_L + T_H = 0.69C(R_A + 2R_B)$

Duty Cycle: $\frac{T_H}{T_L + T_H} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}$

EG - Osciladores

Geração de Onda Triangular e Rectangular



(a)

Durante T_1 tem-se:

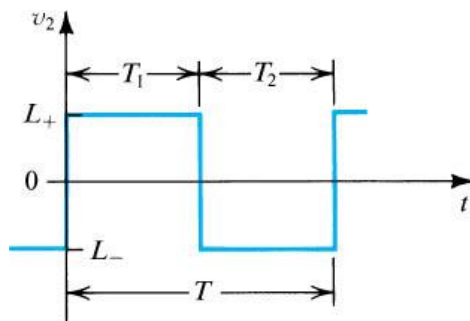
$$\frac{V_{TH} - V_{TL}}{T_1} = \frac{L_+}{CR}$$

$$\Rightarrow T_1 = CR \frac{V_{TH} - V_{TL}}{L_+}$$

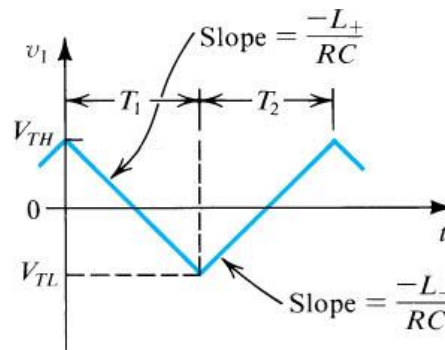
Durante T_2 tem-se:

$$\frac{V_{TH} - V_{TL}}{T_2} = \frac{-L_-}{CR}$$

$$\Rightarrow T_2 = CR \frac{V_{TH} - V_{TL}}{-L_-}$$



(b)

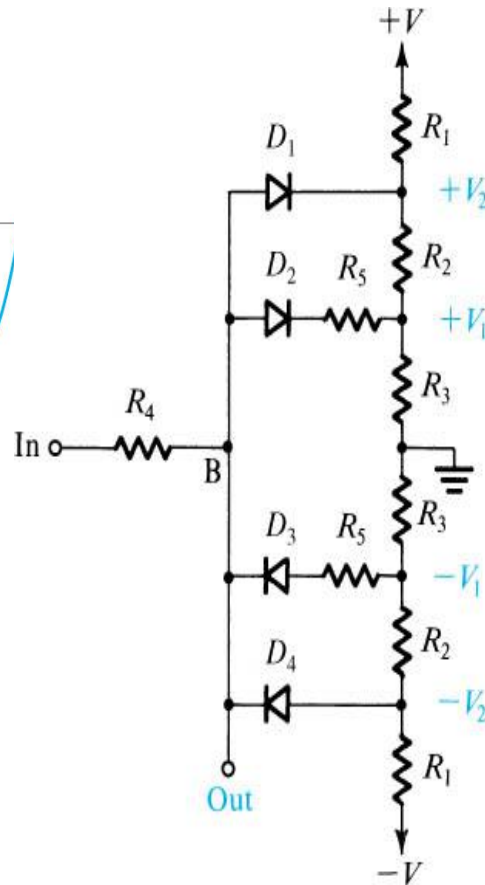
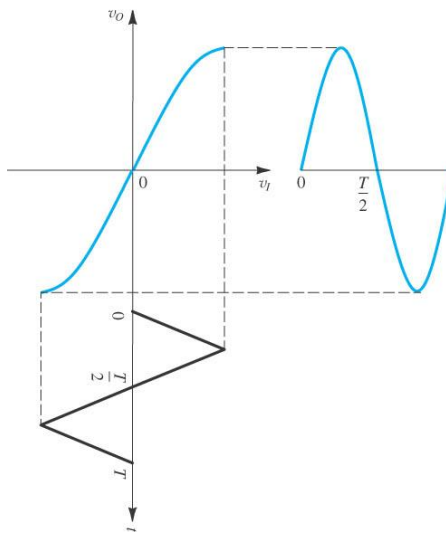


(c)

Para ondas simétricas:

$$L_+ = -L_-$$

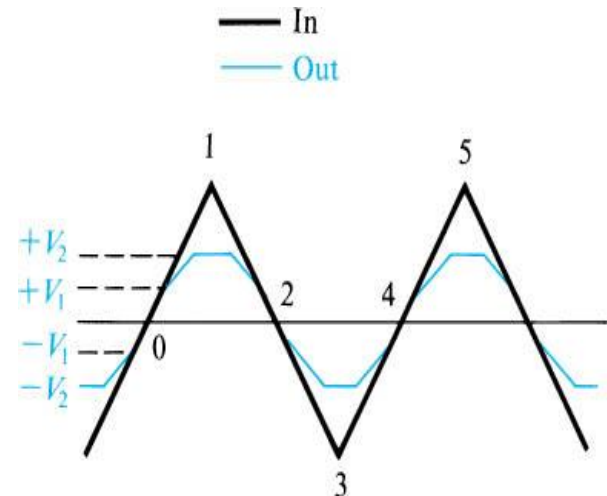
Geração de Sinusóides por Troços



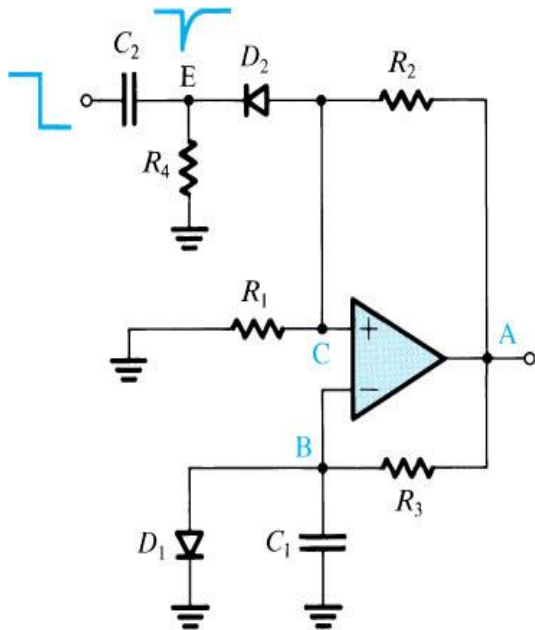
Assumindo os díodos ideais, para $v_I > V_1$ D_2 está ON e:

$$v_o = V_1 + (v_I - V_1) \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

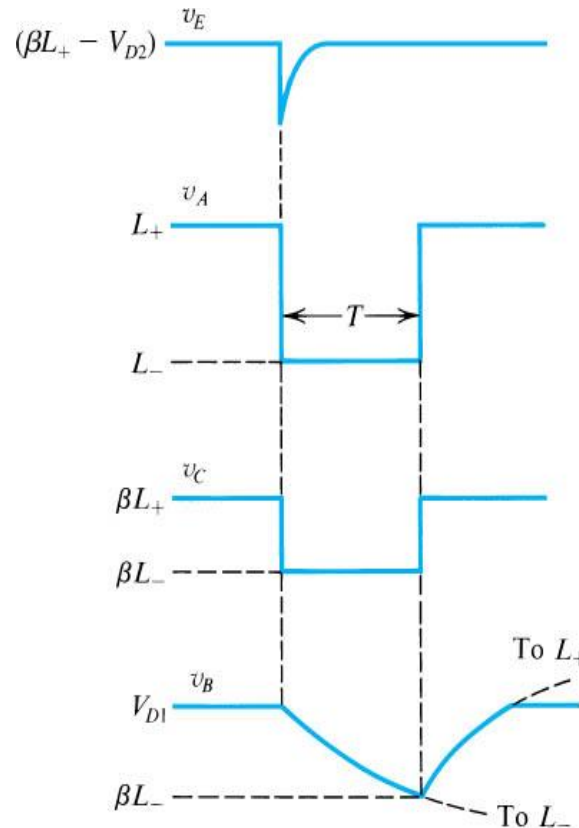
Para $v_o > V_2$ D_1 está ON e $v_o = V_2$



Gerador de Impulsos



(a)



(b)

$$v_B(t) = L_- - (L_- - V_{D1})e^{-\frac{t}{C_1 R_3}}$$

Fazendo $v_B(T) = \beta L_-$:

$$\beta L_- = L_- - (L_- - V_{D1})e^{-\frac{T}{C_1 R_3}}$$

$$\Rightarrow T = C_1 R_3 \ln \left(\frac{V_{D1} - L_-}{\beta L_- - L_-} \right)$$

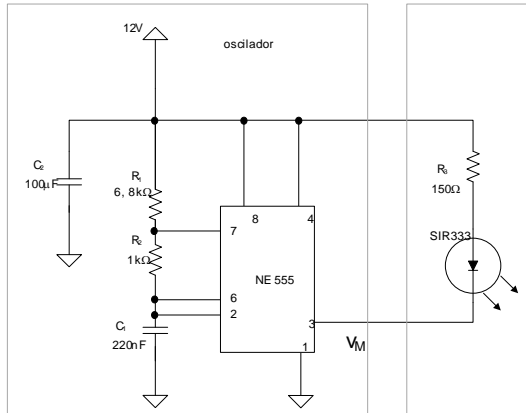
$$T \approx C_1 R_3 \ln \left(\frac{1}{1 - \beta} \right)$$

$$V_{D1} \ll |L_-|$$

Há que respeitar o tempo de recuperação senão o novo impulso será mais curto.

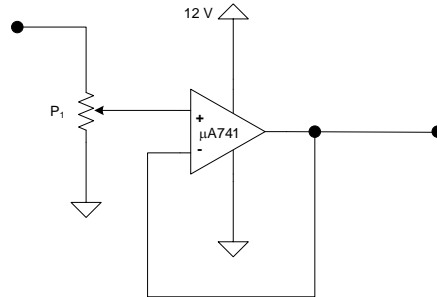
Arquitectura

Emissor de infravermelhos



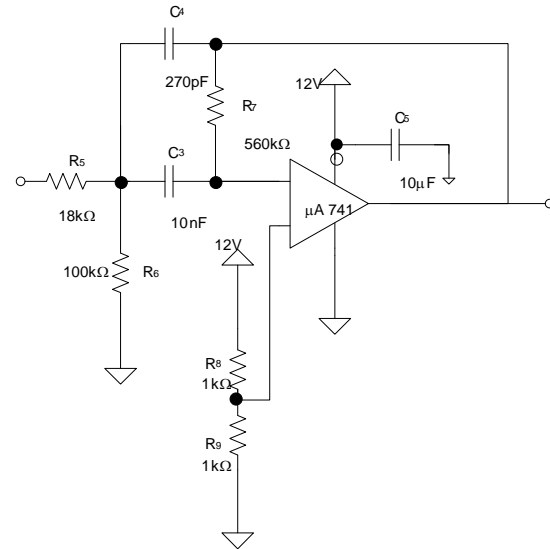
Oscilador

Andar atenuador



Acoplamento

Filtro



Filtro BP