

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Electrónica Industrial

MI em Eng. de Telecomunicações e Informática

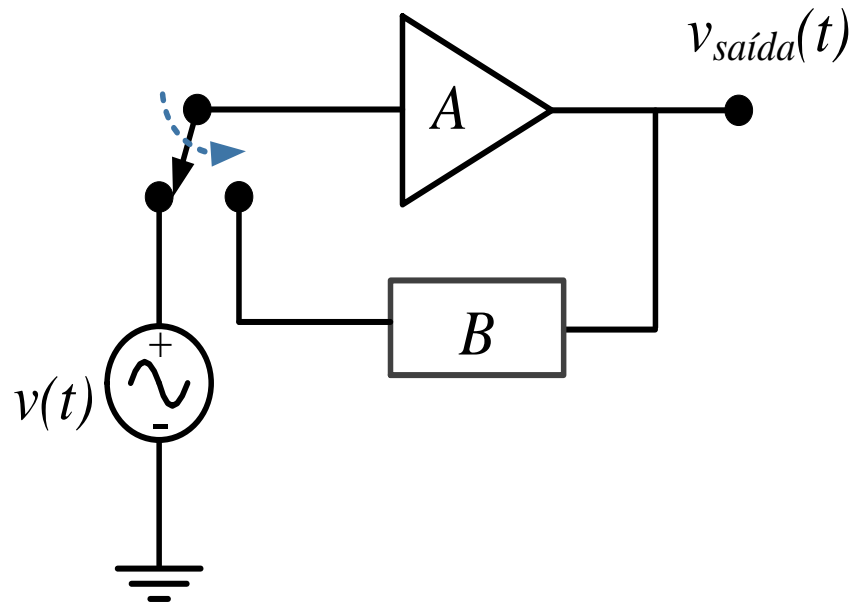
MI em Eng. Eletrónica Industrial e Computadores

UC de Eletrónica II

Departamento de Eletrónica Industrial

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Osciladores



- Quando a fonte $v(t)$ está ligada

$$v_{saída}(t) = A v(t)$$

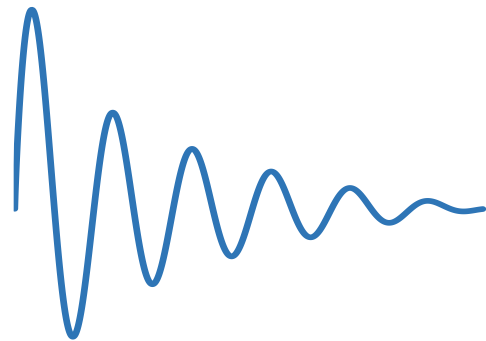
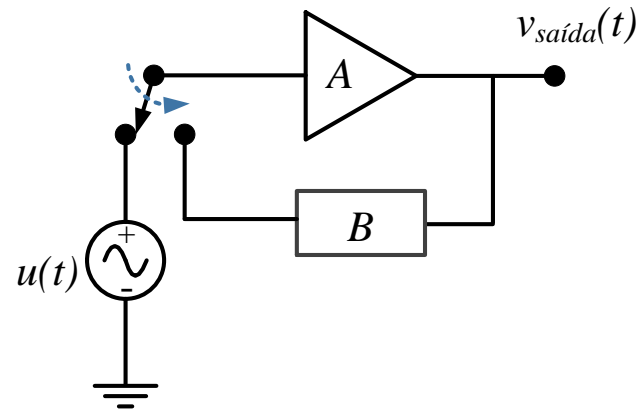
- Quando o interruptor comuta

$$v_{saída}(t) = AB v_{saída}(t)$$

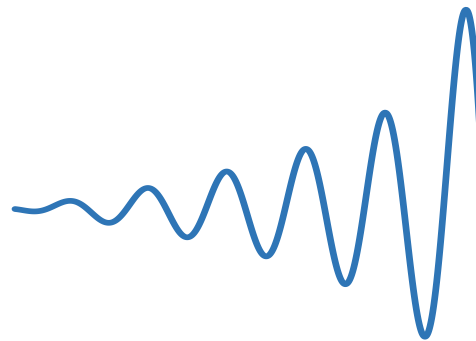
- Se a fase do amplificador A e da realimentação B for 0° , então $v_{saída}(t)$ está em fase com $ABv_{saída}(t)$.

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

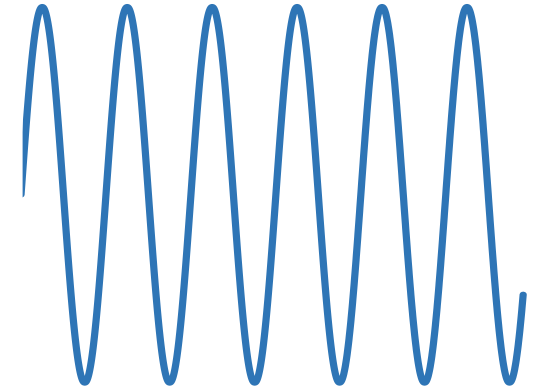
■ Osciladores



Se $AB < 1$



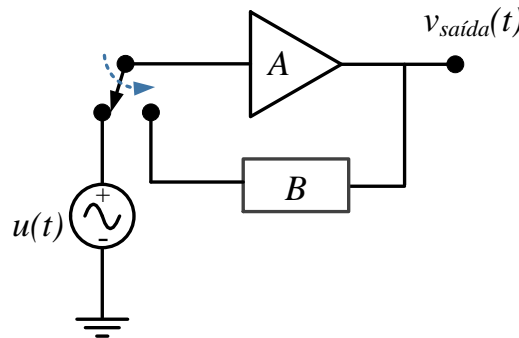
Se $AB > 1$



Se $AB = 1$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Osciladores

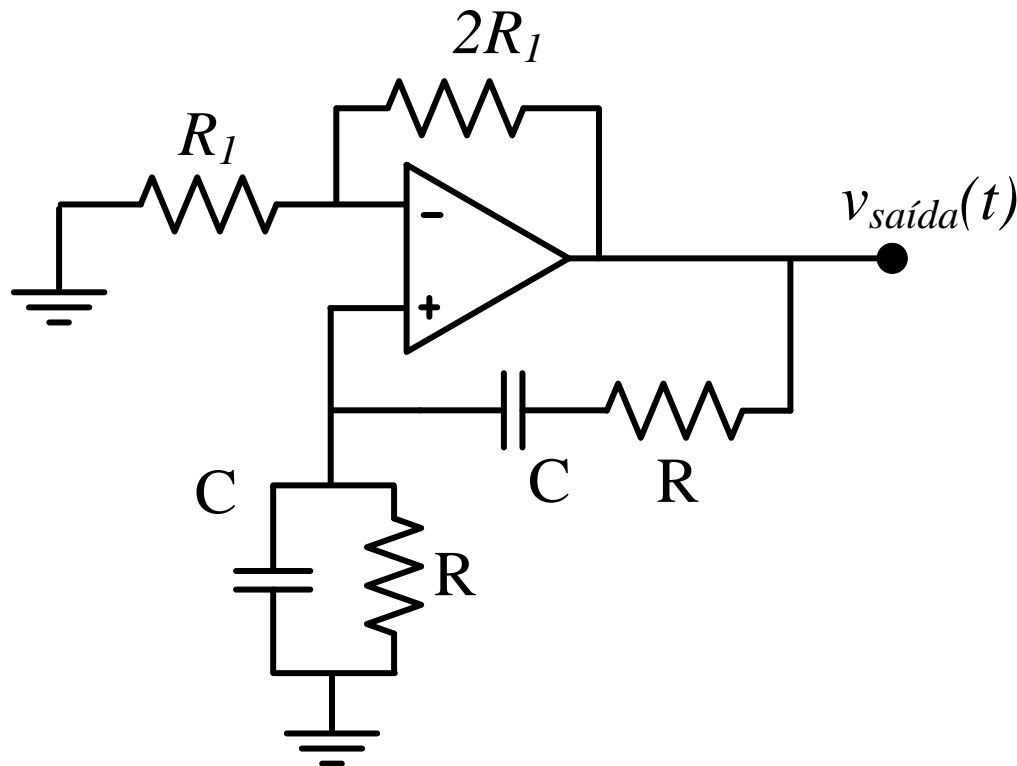


- Na realimentação, utiliza-se um circuito com uma frequência de ressonância na frequência de oscilação pretendida.
- Durante o arranque do oscilador, o ruído térmico dos componentes (das resistências) na altura em que se alimenta o circuito, é amplificado e realimentado com fase 0° na frequência de ressonância. Isto é suficiente para arrancar as oscilações.
- Inicialmente o ganho AB têm de ser maior que 1 à frequência que tem fase 0° . Depois o ganho AB têm de ser reduzido para 1, reduzindo A ou B , para manter a amplitude da tensão de saída.

Amplificador Operacional

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

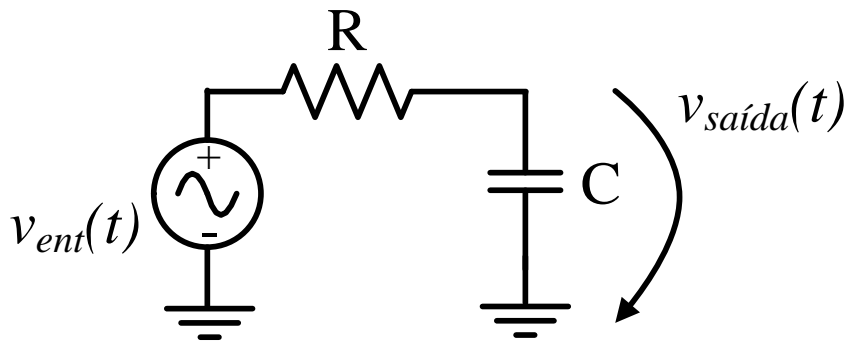
- Oscilador em ponte de Wien
 - Permite gerar sinais sinusoidais entre 5 Hz e 1 MHz



■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

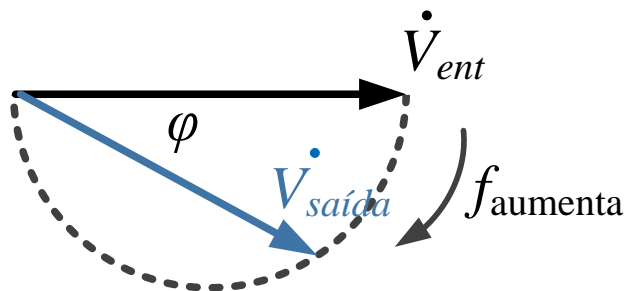
■ Oscilador em ponte de Wien

■ Circuito atraso:



Ganho em tensão:

$$\frac{V_{saída}(t)}{V_{ent}(t)} = \frac{X_C}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$



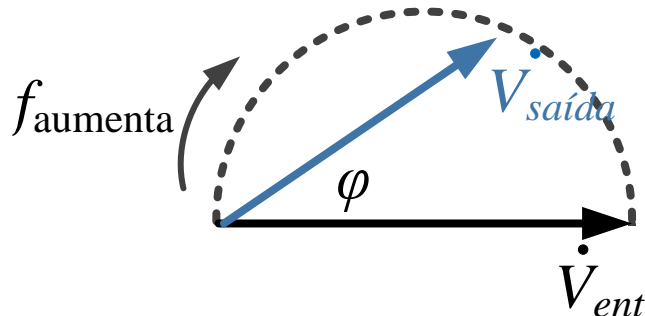
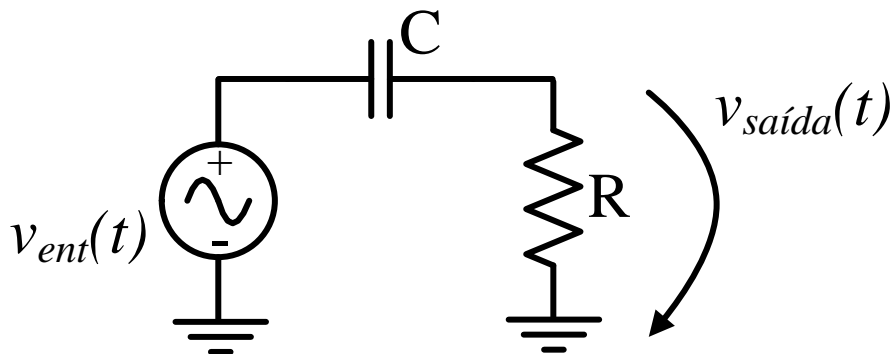
Ângulo de fase:

$$\varphi = -90^\circ - \operatorname{tg}^{-1} \frac{-X_C}{R} = -90^\circ + \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_C}{R}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador em ponte de Wien

■ Circuito avanço:



Ganho em tensão:

$$\frac{V_{saída}(t)}{V_{ent}(t)} = \frac{R}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

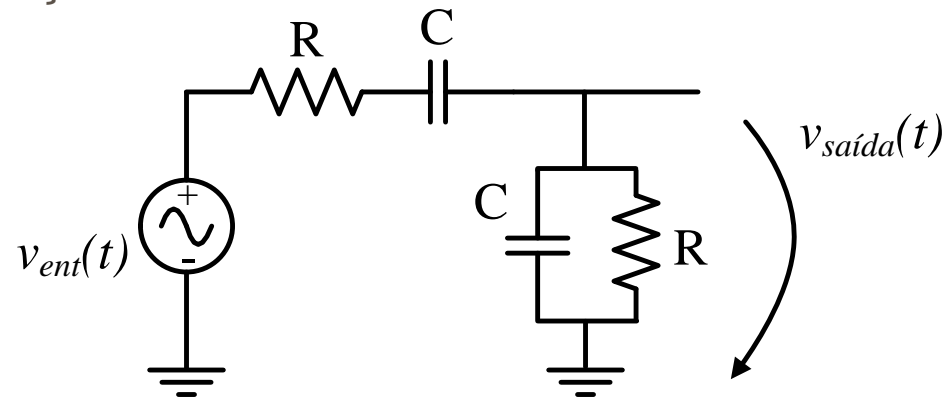
Ângulo de fase:

$$\varphi = 0^\circ - \operatorname{tg}^{-1} \frac{-X_C}{R} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_C}{R}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador em ponte de Wien

■ Circuito de avanço-atraso:

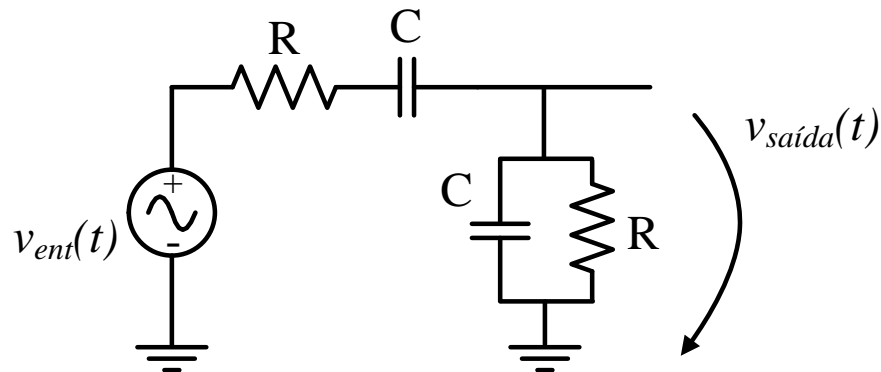


- Para frequências muito baixas o condensador em série comporta-se como um circuito aberto e a tensão de saída é nula.
- Para frequências muito altas o condensador em paralelo comporta-se como um curto-circuito e a tensão de saída é nula.
- Entre estes extremos, a tensão de saída atinge um valor máximo à frequência de ressonância f_0 .

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador em ponte de Wien

■ Circuito de avanço-atraso:



Através das equações do circuito:

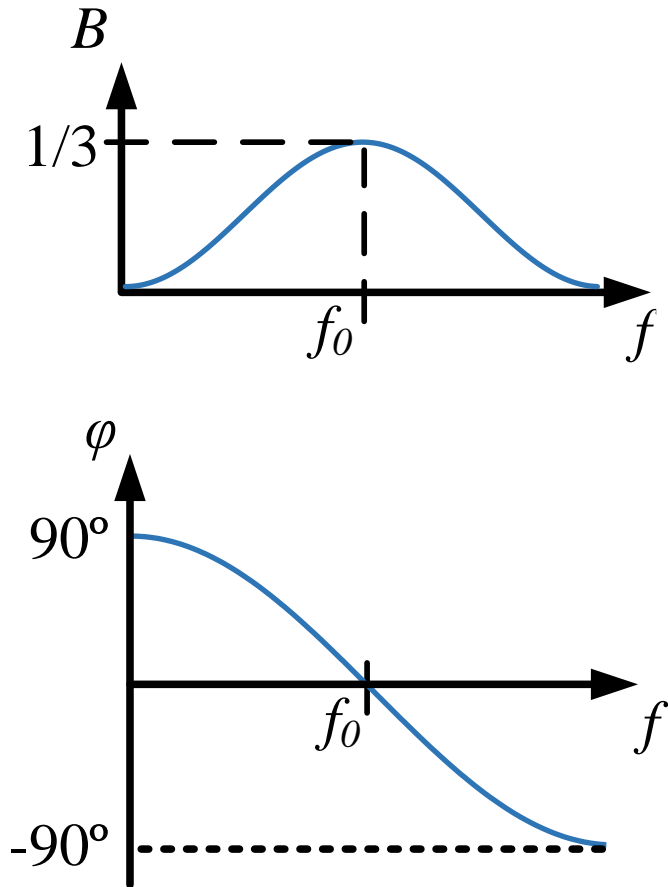
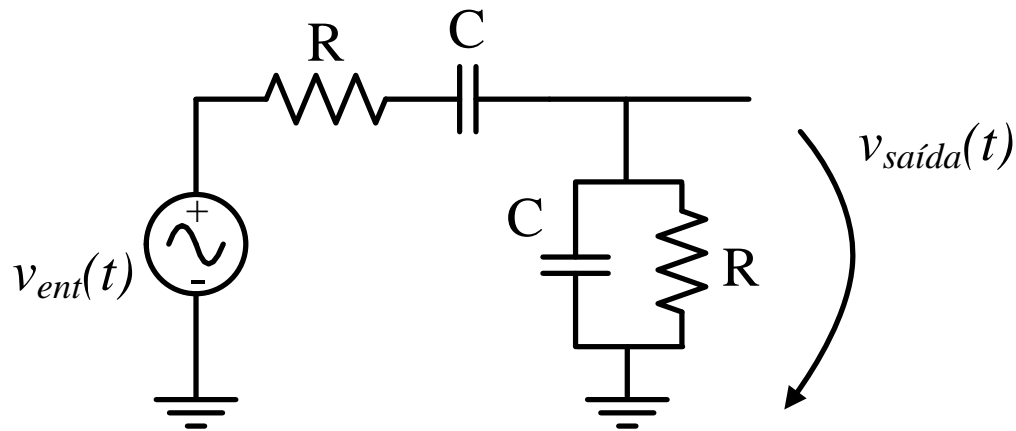
$$\frac{V_{saída}(t)}{V_{ent}(t)} = \frac{1}{\sqrt{9 - \left(\frac{X_C}{R} - \frac{R}{X_C} \right)^2}}$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{X_C}{R} - \frac{R}{X_C}}{3}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador em ponte de Wien

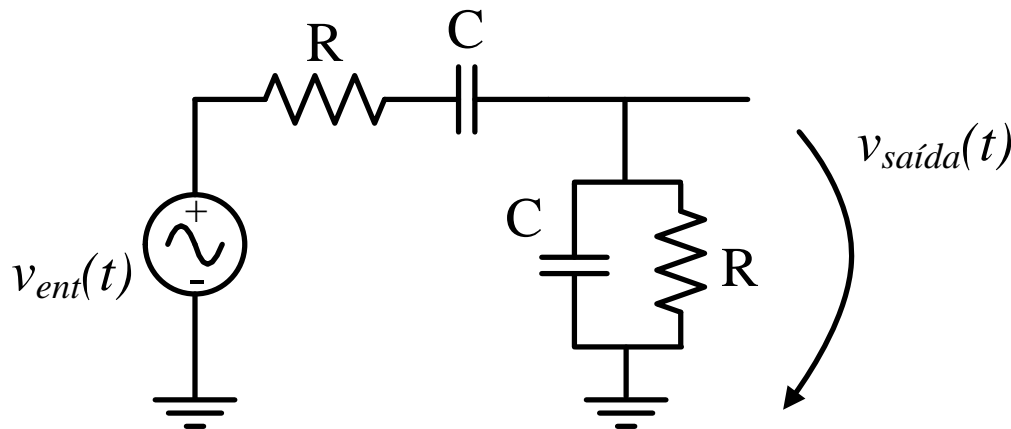
■ Circuito de avanço-atraso:



■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

- Oscilador em ponte de Wien
 - Circuito de avanço-atraso:

Na frequência de ressonância $R=X_C$:

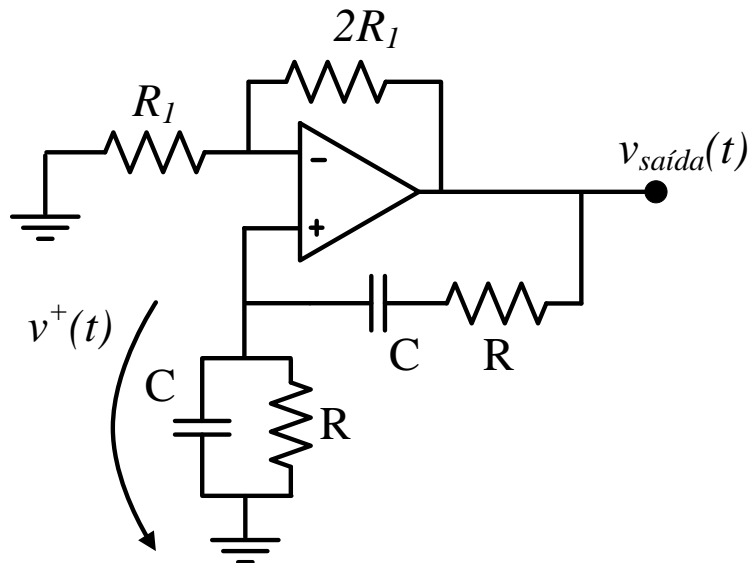


$$R = \frac{1}{2 \pi f_0 C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi R C}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

- Oscilador em ponte de Wien
 - Utiliza um circuito de avanço-atraso na realimentação



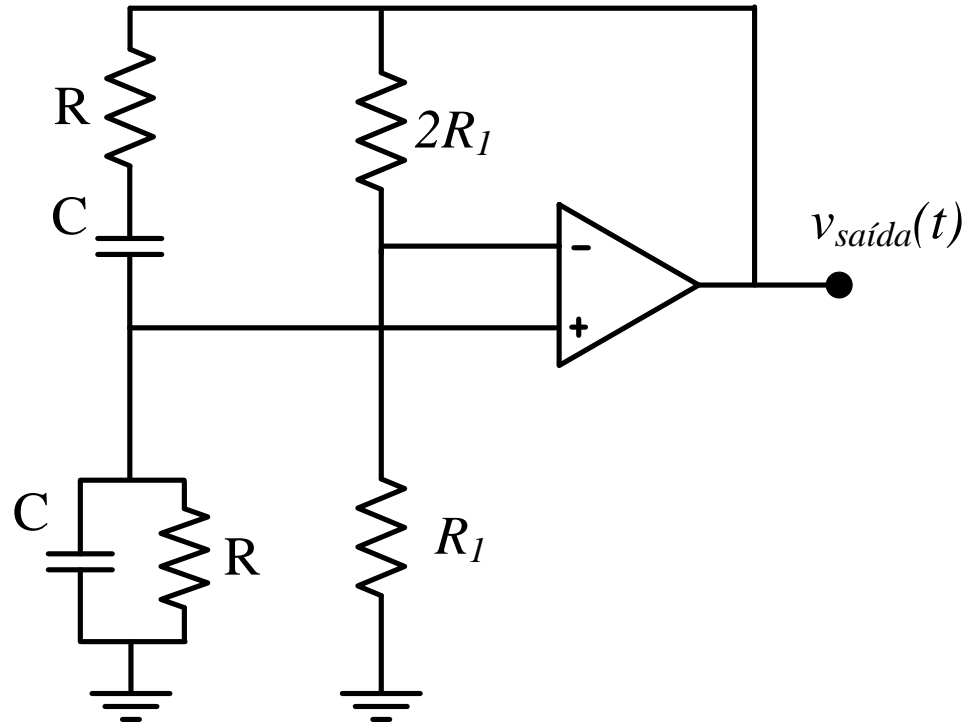
Existe uma realimentação negativa. O circuito comporta-se com um amplificador não inversor com ganho 3, em que a tensão de entrada $v^+(t)$ é 1/3 da tensão de saída.

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi R C}$$

Para R_1 pode ser usada uma lâmpada de tungsténio cujo a resistência a frio é pequena e aumenta com a temperatura. Assim, quando o circuito é ligado o ganho do amplificador inversor é grande. À medida que as oscilações aumentam, a resistência R_1 aumenta e o circuito estabiliza quando o ganho for igual a 3, ou seja $AB=1$.

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

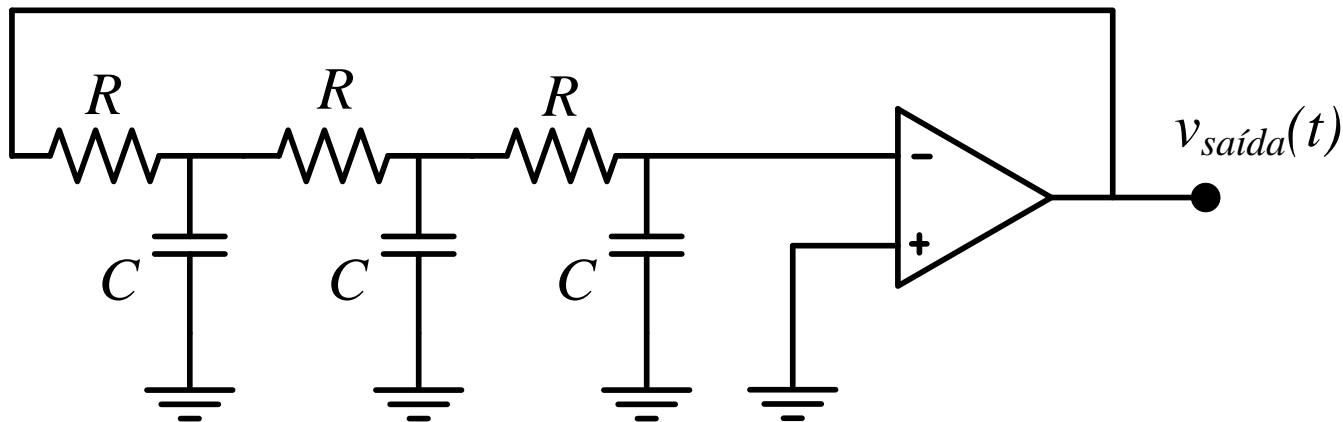
- Oscilador em ponte de Wien
- Representação alternativa



$$f_0 = \frac{1}{2 \pi R C}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

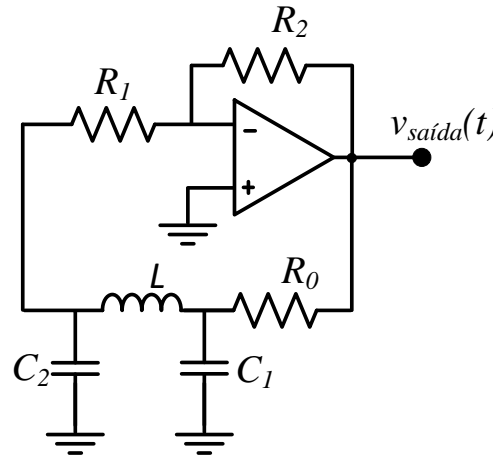
■ Oscilador de Desfasamento



- Os 3 circuitos de atraso permitem gerar um atraso entre 0° e -270° em função da frequência.
- O circuito entra em ressonância quando o desfasamento é -180° (-60° em cada circuito de atraso). O amplificador inversor gera os outros -180° de desfasamento para ficar com fase 0° .
- É necessário que $AB=1$ para manter as oscilações.

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador Colpitts



- Neste oscilador a malha de realimentação é constituída por um circuito LC ressonante.
- A frequência de oscilação é definida pela frequência de ressonância da malha LC , que corresponde à frequência cujo o desvio de fase é -180° . O amplificador inversor provoca os restantes -180° .

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador Colpitts

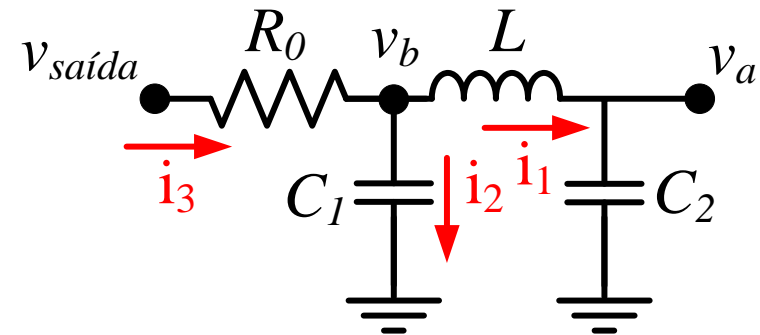
■ Análise da malha de realimentação:

$$i_1 = \frac{V_a}{-j X_{C2}}$$

$$V_b = V_a + jX_L i_1 = V_a - \frac{V_a X_L}{X_{C2}}$$

$$i_2 = \frac{V_b}{-jX_{C1}} = \frac{j \left(V_a - \frac{V_a X_L}{X_{C2}} \right)}{X_{C1}}$$

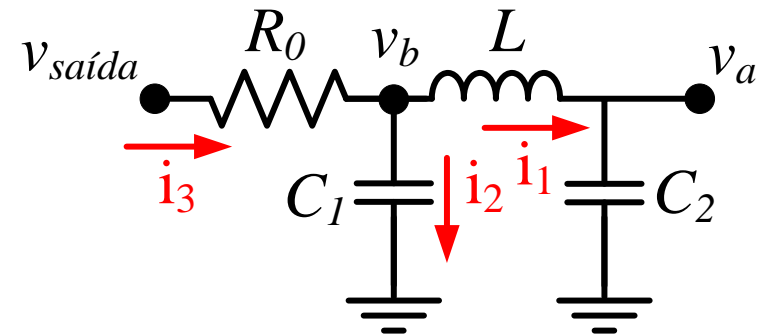
$$i_3 = i_1 + i_2 = \frac{jV_a (X_{C1} + X_{C2} - X_L)}{X_{C1} + X_{C2}}$$



■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador Colpitts

■ Análise da malha de realimentação:



$$V_{saída} = V_b + R_0 i_3 = \frac{V_a \left[X_{C1} (X_{C2} - X_L) \right] + jR_0 (X_{C1} + X_{C2} - X_L)}{X_{C1} X_{C2}}$$

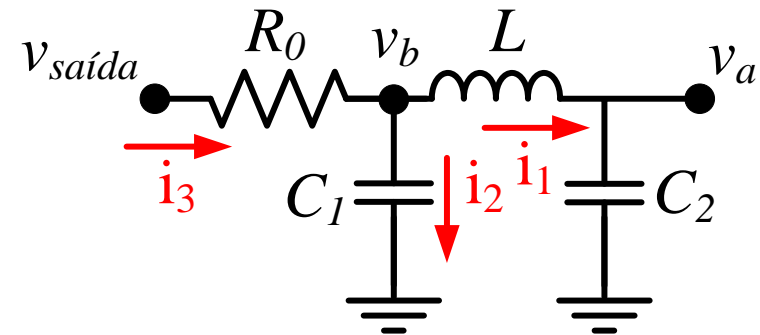
A realimentação B pode ser obtida por:

$$B = \frac{V_a}{V_{saída}} = \frac{X_{C1} X_{C2}}{X_{C1} (X_{C2} - X_L) + jR_0 (X_{C1} + X_{C2} - X_L)}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador Colpitts

■ Análise da malha de realimentação:



Para que o oscilador funcione o desfasamento da malha de realimentação tem de ser 180° , ou seja, a parte imaginária tem de ser 0.

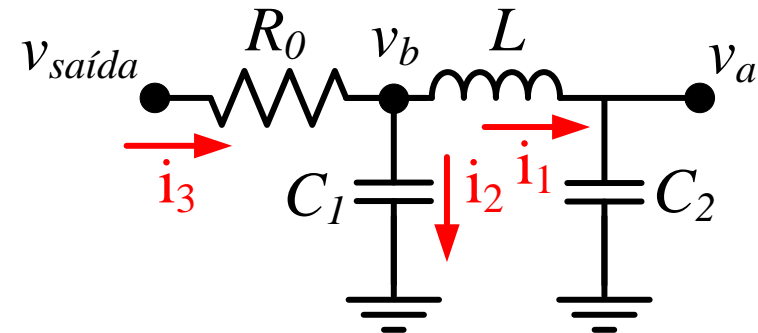
$$X_{C_1} + X_{C_2} - X_L = 0 \Leftrightarrow X_L = X_{C_1} + X_{C_2} \qquad C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC_1} + \frac{1}{2\pi fC_2} \Leftrightarrow 2\pi f = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \frac{1}{L}} \Leftrightarrow f = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_T L}}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

■ Oscilador Colpitts

■ Análise da malha de realimentação:



O ganho da malha de realimentação na frequência de oscilação (parte imaginária 0):

$$B = \frac{X_{C1} X_{C2}}{X_{C1} (X_{C2} - X_L)} \quad \text{como} \quad X_L = X_{C1} + X_{C2} \quad \text{fica} \quad B = -\frac{X_{C2}}{X_{C1}} = -\frac{C_2}{C_1}$$

Para Manter as oscilações $AB=1$

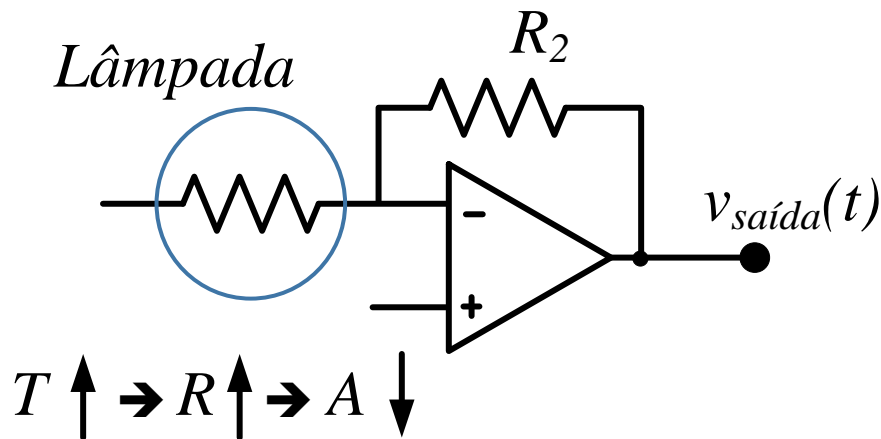
Se $C_1=C_2=C$ e $R_1=R_2=R$, então $A = B = -1$:

$$A = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{B} = -\frac{C_1}{C_2}$$

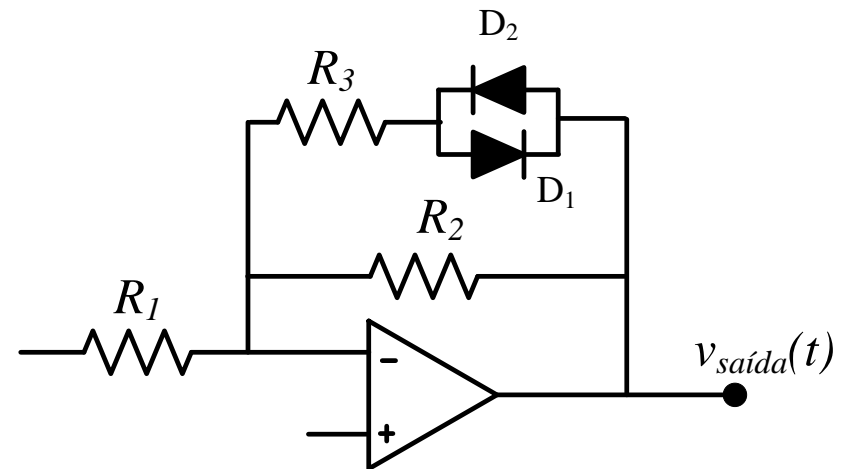
$$C_T = \frac{C}{2} \Leftrightarrow f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{LC}{2}}}$$

■ Amplificador operacional – aplicações não-lineares

- Circuitos de arranque de osciladores:
 - No Inicio $AB > 1$ para as oscilações arrancarem
 - Depois $AB = 1$ para manter a amplitude da oscilação



Circuito com lâmpada de tungsténio

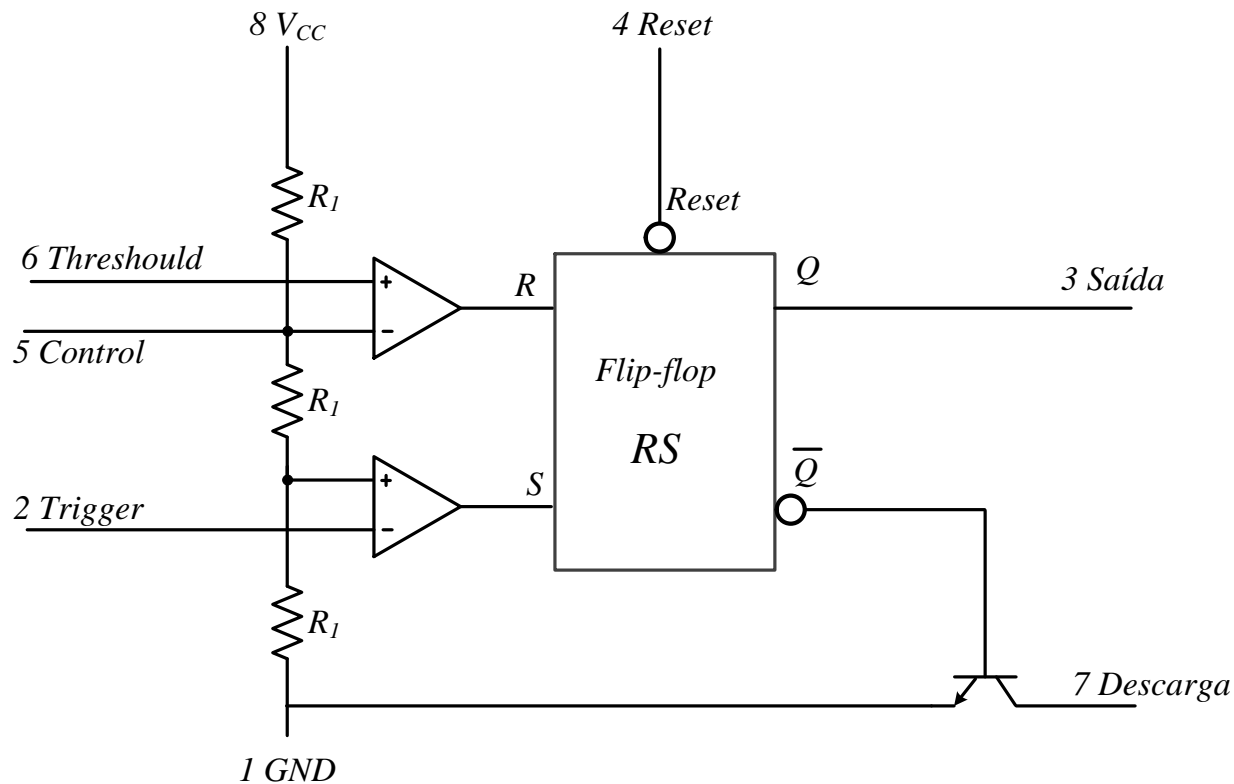


Circuito com díodos

Circuito Integrado NE555 (*Timer*)

■ Diagrama de Blocos

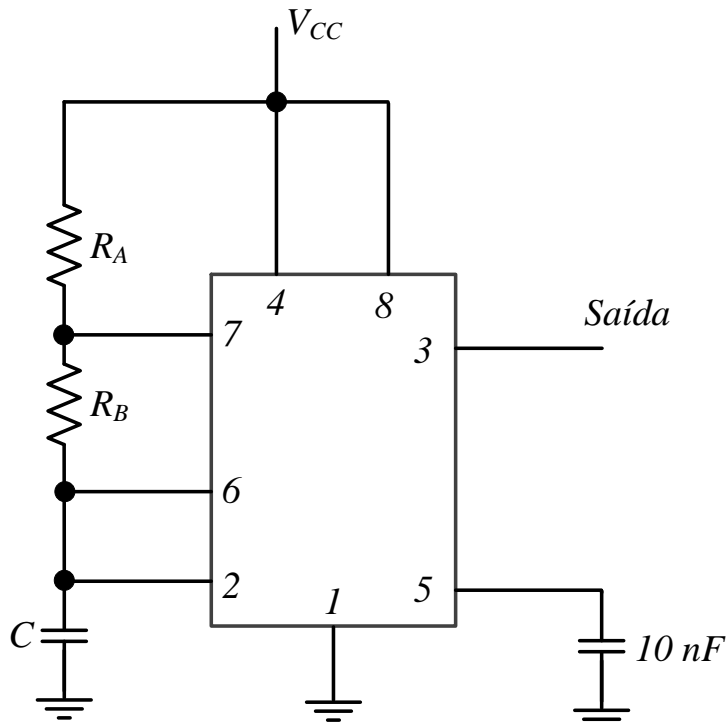
- Circuito integrado com 8 pinos



Circuito Integrado NE555 (*Timer*)

■ Multivibrador Astável

■ Esquema de ligação

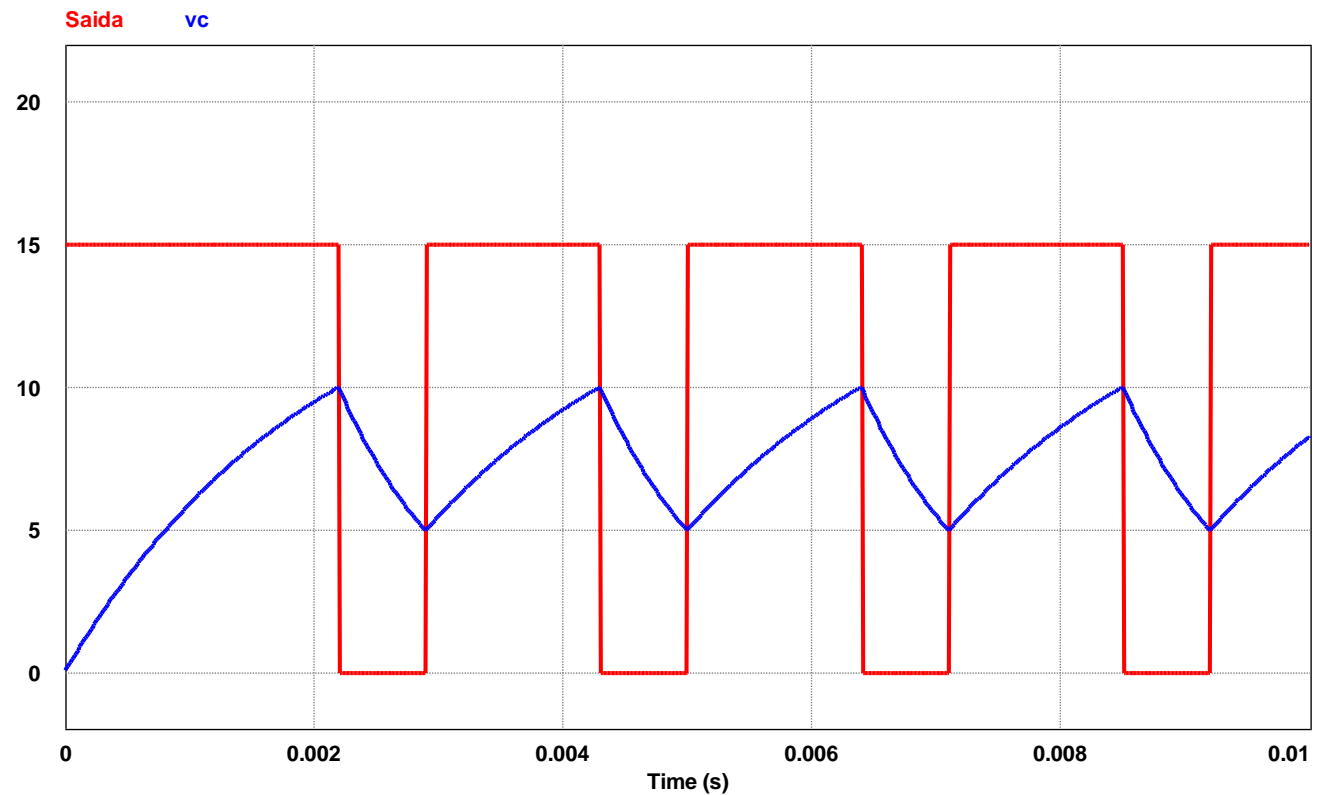
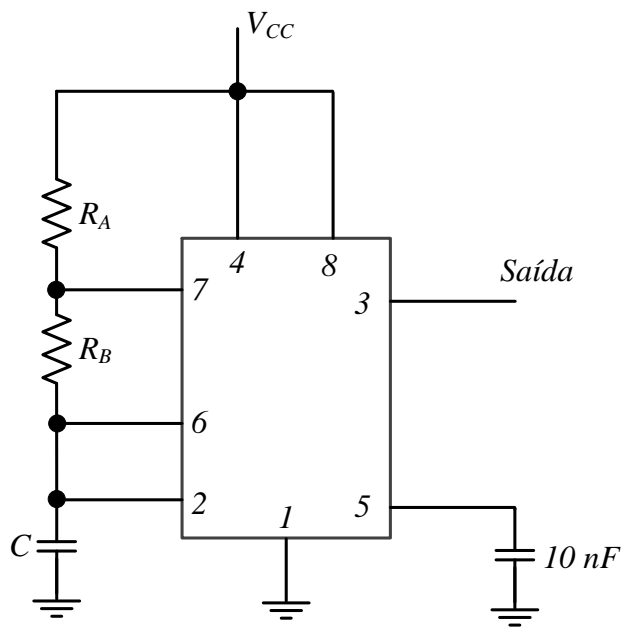


- As 3 resistências R_1 fazem a tensão de entrada nos comparadores $V_{CC}/3$ e $2V_{CC}/3$
- O condensador vai carregar até $2V_{CC}/3$ através das resistências R_A e R_B
 $t_1 = 0,693 (R_A + R_B) C$ (saída=1)
- Quando atinge $2V_{CC}/3$ a saída vai a zero e fecha o transístor, fazendo o condensador descarregar por R_B .
 $t_2 = 0,693 (R_B) C$ (saída=0)
- O condensador vai descarregar até $V_{CC}/3$. Nesse instante, o comparador força a saída a 1 e o transístor abre.
- O condensador vai carregar novamente até $2V_{CC}/3$, e o ciclo repete-se.

Circuito Integrado NE555 (Timer)

■ Multivibrador Astável

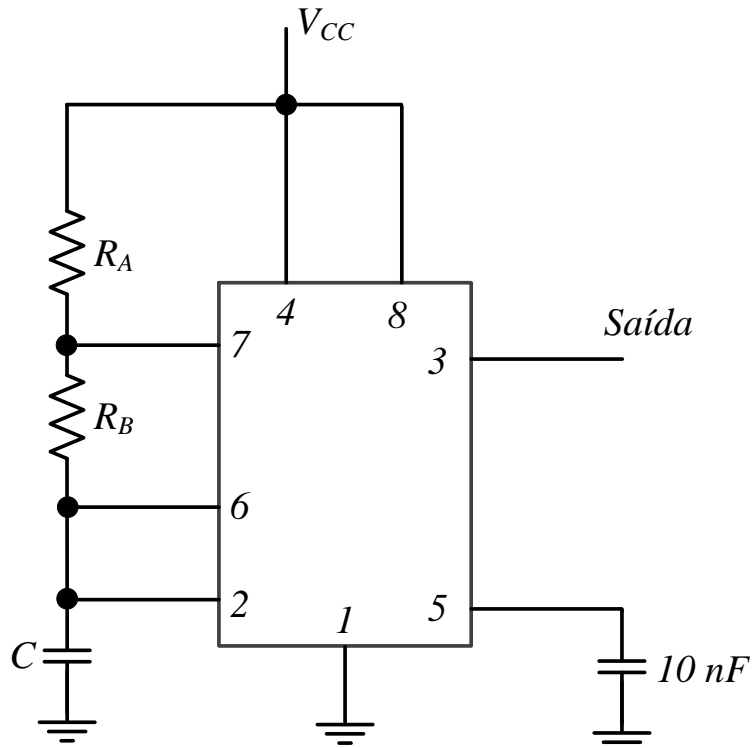
■ Esquema de ligação



Circuito Integrado NE555 (*Timer*)

■ Multivibrador Astável

- Esquema de ligação



Período:

$$T = t_1 + t_2 = 0,693(R_A + 2 R_B)C$$

Frequência:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_A + 2 R_B) C}$$

Duty-cycle:

$$D = 1 - \frac{R_B}{R_A + 2 R_B}$$

Circuito Integrado NE555 (*Timer*)

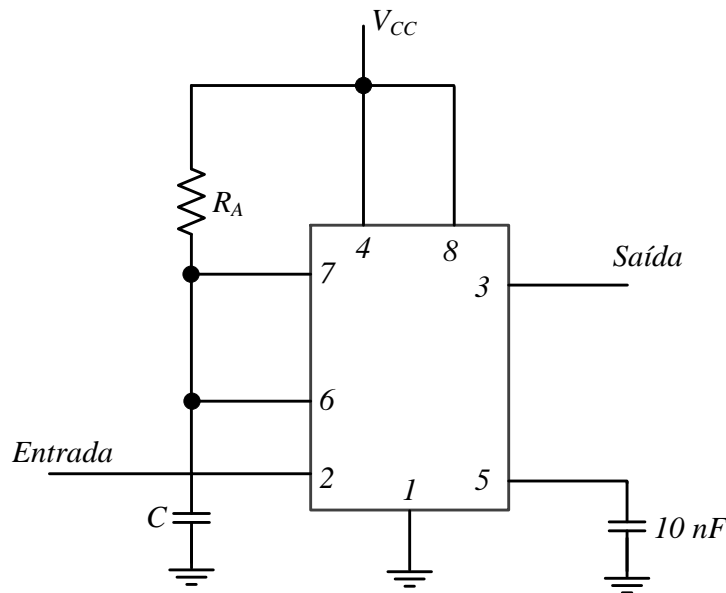
■ Exercício:

- Projetar um circuito multivibrador astável com o NE555 com uma frequência de 10 kHz e um Duty-cycle de 60%.
 - a) Fazer um desenho do circuito.
 - b) Fazer o dimensionamento dos componentes.
 - c) Fazer um esboço das tensões nos pinos 3 e 6 do NE555.

Circuito Integrado NE555 (Timer)

■ Operação Monoestável

■ Esquema de ligação

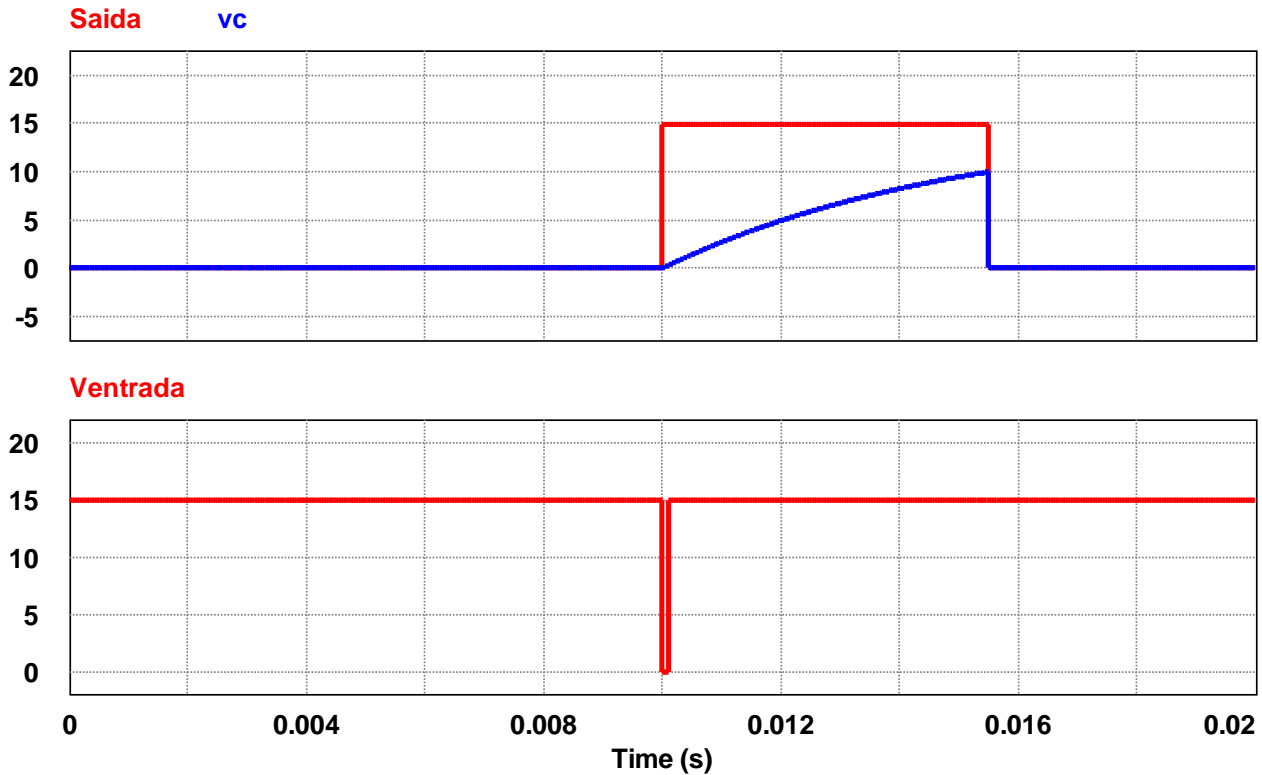
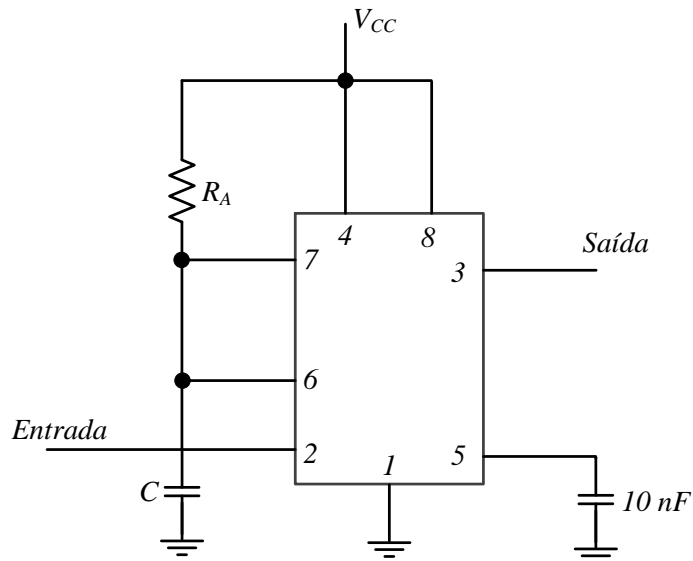


- As 3 resistências R_1 fazem a tensão de entrada nos comparadores $V_{CC}/3$ e $2V_{CC}/3$
- O condensador vai carregar até $2V_{CC}/3$ através das resistência R_A . Depois a saída vai a zero e o condensador é descarregado de forma instantânea pelo transístor.
- Se a entrada atingir um valor inferior $V_{CC}/3$, a saída vai a 1. E o condensador vai carregar até $2V_{CC}/3$.
- Quando atinge $2V_{CC}/3$ a saída volta a zero e o condensador descarrega.
- O tempo de carga do condensador é:
 $t_1 = 1,1 R_A C$ (saída=1)
- Se a entrada não mudar a saída fica sempre a 0.

Circuito Integrado NE555 (Timer)

■ Operação Monoestável

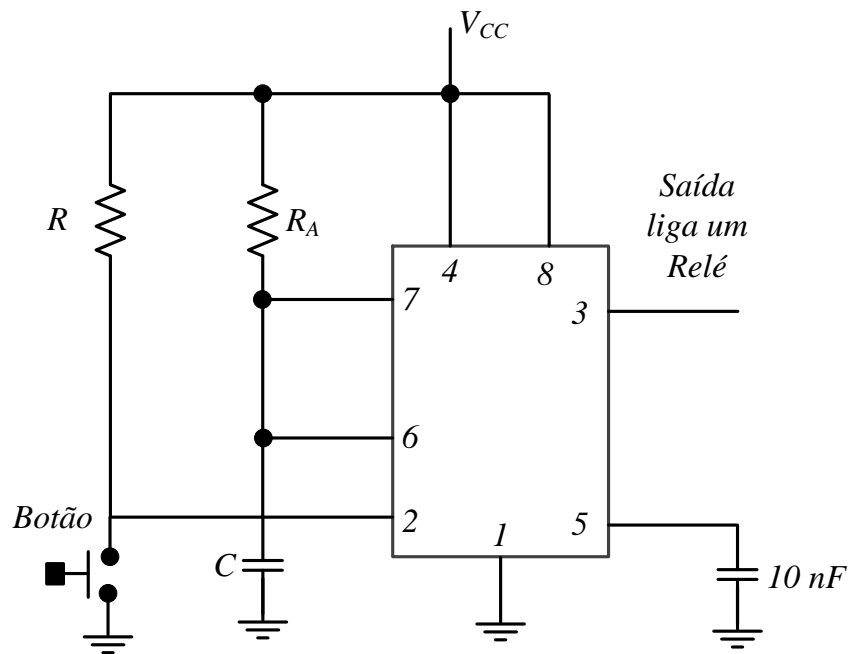
■ Esquema de ligação



Circuito Integrado NE555 (Timer)

■ Operação Monoestável

■ Exemplo de Aplicação



Circuito Integrado NE555 (*Timer*)

■ Exercício:

- Projetar um circuito monoestável com o NE555 para realizar um temporizador de 10 minutos para o ferro de soldar.
 - a) Fazer um desenho do circuito.
 - b) Fazer o dimensionamento dos componentes.
 - c) Fazer um esboço das tensões nos pinos 3 e 6 do NE555.

Fim da Aula