

3. Osciladores não senoidais e geradores de pulso

São circuitos que utilizam elementos não lineares e elementos reativos (C, L) para obtenção de sinais alternados a partir de fontes de tensão DC.

3.1. Conceitos gerais

A grande maioria dos osciladores e geradores de pulsos que operam em baixas e médias frequências (0 a 10 MHz) utilizam circuitos RC associados a amplificadores (ou comparadores de tensão) operando na região de saturação.

3.1.1 Revisão de circuitos RC em regime transitório

A configuração mais usual do circuito RC usado em osciladores é a de um filtro passa-baixas como mostrado na figura 3.1.

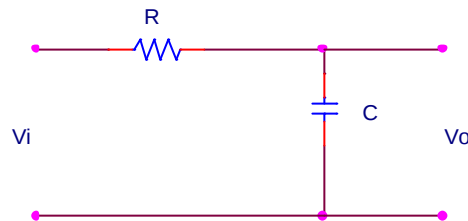


Figura 3.1: circuito RC na configuração de filtro passa-baixas .

Onde V_i = excitação $\Rightarrow$ – degrau de corrente;
– degrau de tensão;
– rampa de tensão.

V_o = resposta $\Rightarrow$ tensão no capacitor.

O tipo de excitação depende do tipo de oscilador, sendo que na prática o mais usual é o degrau de tensão. A seguir serão analisados os três casos citados, sendo que a excitação v_i é substituída por uma fonte de tensão ou corrente independente, como mostrado na figura 3.2.

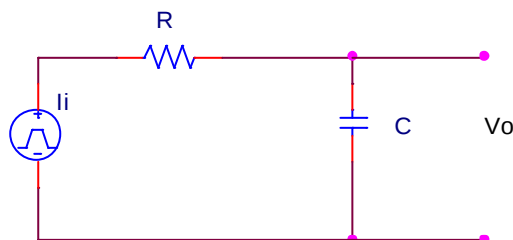


Figura 3.2: circuito RC com excitação de entrada.

- i. 1º. Caso: degrau de corrente.

Tensão no capacitor v_o :

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

$$\int_{t_0}^{t_1} i dt = \int_{t_0}^{t_1} C dv_o$$

$$i(t) = cte = I$$

$$v_o(t) = \frac{I(t_1 - t_0)}{C} + V_{co}$$

V_{co} = tensão no capacitor.

$$p/ t_0 = 0 \text{ e } t_1 = t$$

$$v_o(t) = \frac{It}{C} + V_{co}$$

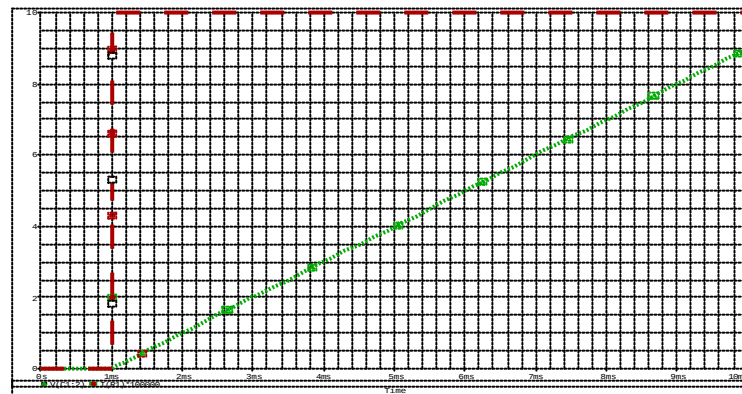


Figura 3.3: Resposta do circuito RC a um degrau de corrente.

Obs.: na prática a tensão é limitada pela máxima tensão fornecida pela fonte de corrente.

- ii. 2º. Caso: degrau de tensão.

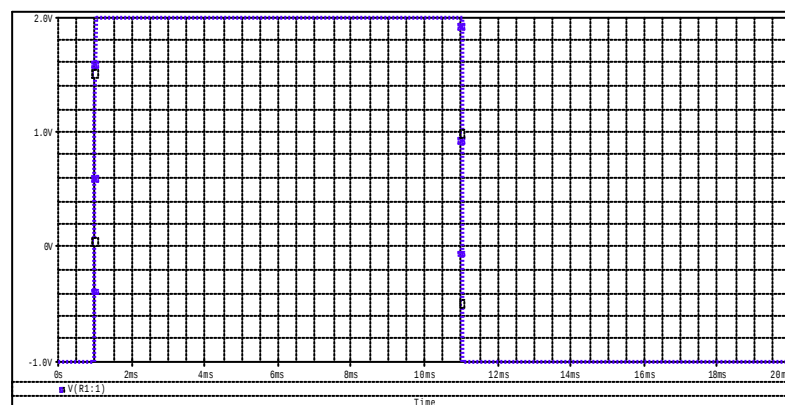


Figura 3.4: gráfico do degrau de tensão x tempo.

Por Laplace:

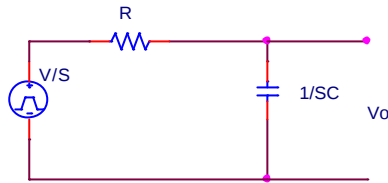


Figura 3.5: circuito RC no domínio da frequência.

$$v_o(s) = \frac{V}{s} \frac{\frac{1}{sC}}{\frac{1}{sC} + R} = \frac{V}{s} \frac{1}{(sCR + 1)}$$

Fazendo a transformada inversa:

$$v_o(t) = V - \left[(V - V_{co}) e^{\frac{-t}{RC}} \right]$$

V: valor do degrau de tensão.

V_{co}: tensão inicial do capacitor.

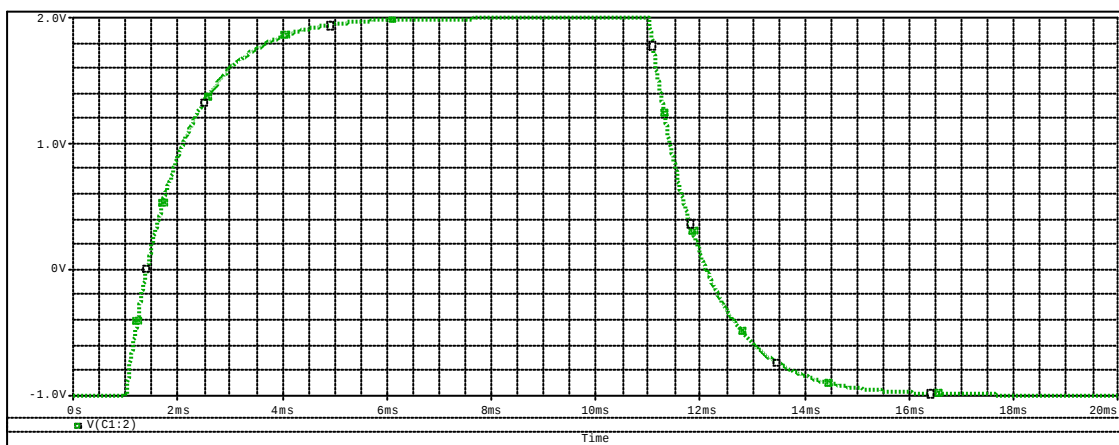


Figura 3.6: gráfico da tensão v_o no capacitor x tempo.

Obs.: – caso a resistência interna da fonte v_i não seja $R_i \ll R$, deve ser considerada no cálculo do R total;

– o tempo de transição do degrau deve ser desprezível em relação à RC $t_t \ll RC$;

– na prática quando:

- $t_t \leq \frac{RC}{50} \Rightarrow$ considerar aproximação degrau
- $t_t > \frac{RC}{50} \Rightarrow$ considerar aproximação rampa

iii. 3º. Caso: rampa de tensão.

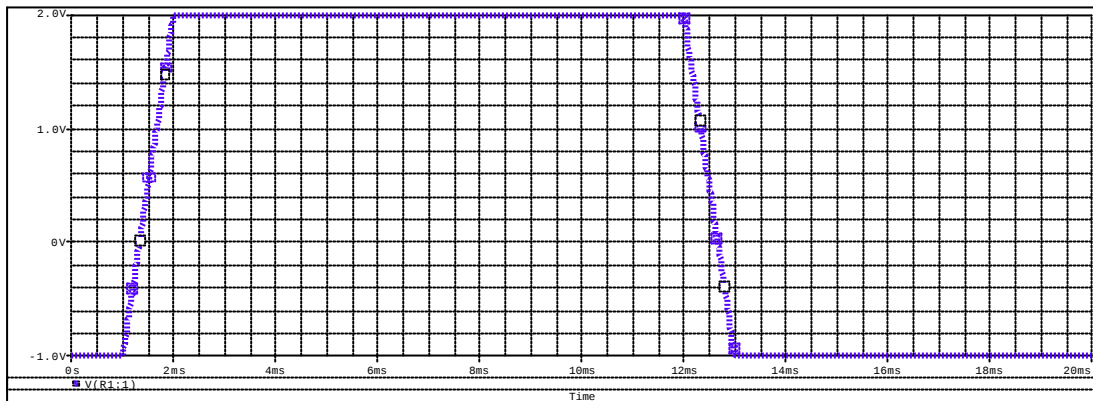


Figura 3.7: gráfico rampa de tensão x tempo.

Por Laplace:

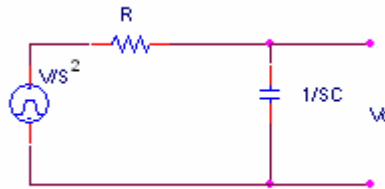


Figura 3.8: circuito RC no domínio da frequência.

Considerando o tempo de duração da rampa t_t , tem-se 2 casos:

a) Para $0 < t < t_t$:

$$v_i(S) = \frac{V}{S^2}$$

$$v_o(S) = \frac{V}{S^2} \frac{\frac{1}{SC}}{\left(R + \frac{1}{SC}\right)}$$

Fazendo a transformada inversa:

$$v_o(t) = V_{co} + \frac{dv_i(t)}{dt} \left(t - RC + RCe^{\frac{-t}{RC}} \right)$$

b) Para $t > t_t$:

Ao final da rampa, a tensão V_o ainda não atingiu a tensão final V , recai no caso do degrau de tensão:

$$v_o(t) = V - \left[(V - V'_{co}) e^{\frac{-(t-t_t)}{RC}} \right]$$

V'_{co} : tensão $v_o(t_t)$ calculada pela expressão da rampa.

t_t : tempo de duração da rampa.

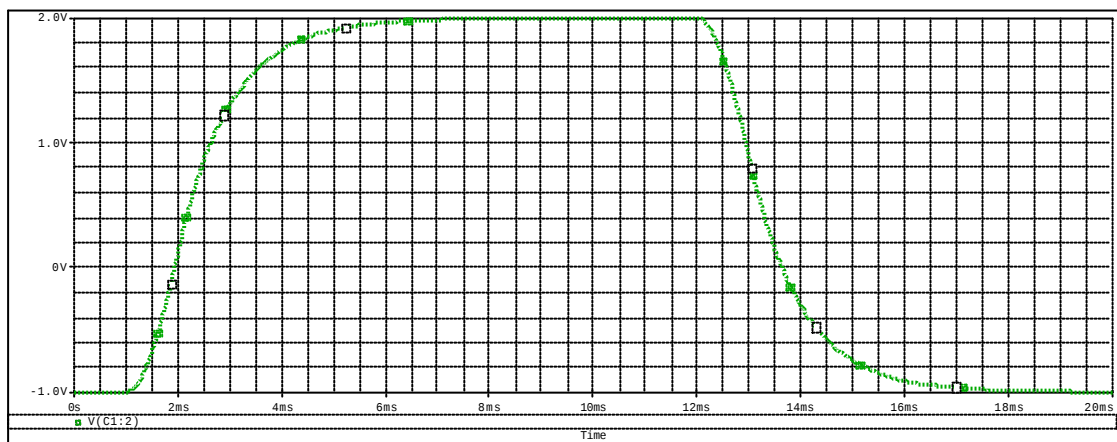


Figura 3.9: gráfico da tensão v_o no capacitor x tempo.

Obs.: Usa-se aproximação rampa quando $t_t > \frac{RC}{50}$.

3.2. Multivibrador Biestável

O multivibrador biestável é um circuito que possui dois estados estáveis de saída. A mudança de um estado para o outro é possível através da imposição temporária de um sinal de entrada adequado. A biestabilidade pode ser obtida através de um amplificador com realimentação positiva. Nessa condição o amplificador operará sempre na região de saturação. A figura 3.10 mostra um AmpOp com realimentação positiva.

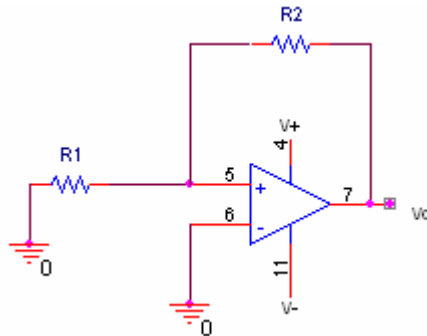


Figura 3.10: amplificador com realimentação positiva.

Obs.: – não há condição de “terra virtual” $v_i^+ \neq v_i^-$;

$$\text{– condição inicial } \begin{cases} v_i^+ > 0 \Rightarrow v_o = V_{sat}^+ \therefore 1 \\ v_i^+ < 0 \Rightarrow v_o = V_{sat}^- \therefore 2 \end{cases}$$

Situação final:

$$v_i^+ = v_o \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$1. \therefore v_i^+ = V_{sat}^+ \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_{TH}$$

$$2. \therefore v_i^+ = V_{sat}^- \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_{TL}$$

Obs.: O estado inicial do biestável é de difícil previsão, pois depende de vários fatores como tensão de “off-set” do AMPOP, sequência de alimentação, ruídos.

Este circuito é também chamado de comparador de tensões com histerese ou disparador de schmitt (*schmitt-trigger*).

Tanto a entrada inversora como a não inversora (através do resistor R1) podem ser usadas para aplicação de um sinal de entrada v_i . Os dois casos serão analisados a seguir.

a) v_i na entrada inversora:

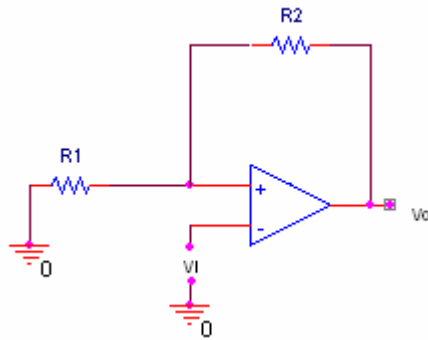


Figura 3.11: circuito RC com v_i na entrada inversora.

Condição inicial: $v_o = V_{sat}^+$

Variando-se a tensão v_i dentro dos limites da tensão de alimentação, tem-se a tensão de saída v_o variando entre V_{sat}^+ e V_{sat}^- , e a tensão na entrada não inversora v^+ variando entre V_{TH} e V_{TL} , como mostrado na figura 3.12.

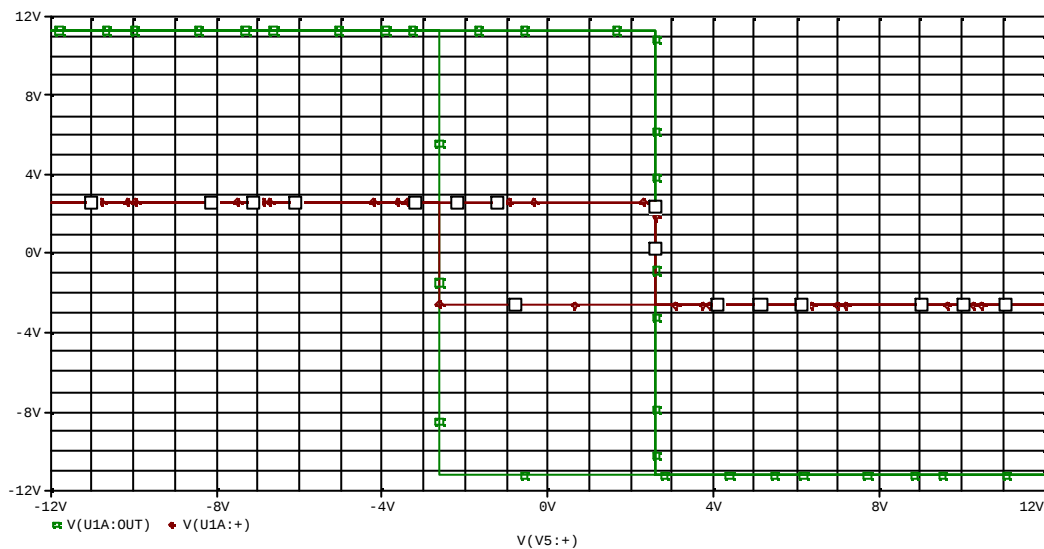


Figura 3.12: gráfico da curva de transferência $v_o \times v_i$ e $v^+ \times v_i$.

b) v_i no resistor R_1 (entrada não inversora).

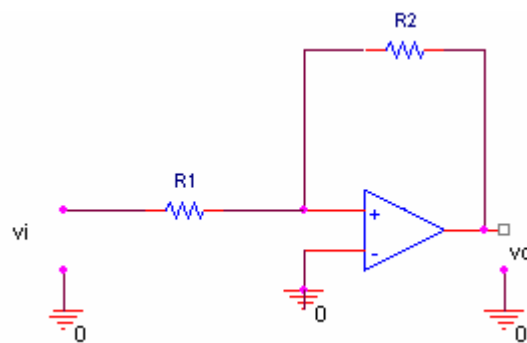


Figura 3.13: circuito RC com v_i na entrada não inversora.

A tensão na entrada inversora é zero. A tensão na entrada não inversora v^+ pode ser analisada por superposição:

$$\text{a) } v_i = 0 \therefore v^+ = v_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{b) } v_0 = 0 \therefore v^+ = v_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{soma: } v^+ = \frac{v_0 R_1 + v_i R_2}{R_1 + R_2}$$

A transição de saída ocorre quando $v^+ = v^- \cong 0$. Analisando-se as duas possibilidades da tensão de saída:

$$1) v_o = V_{sat}^+$$

$$v^+ = \frac{(V_{sat}^+ R_1 + v_i R_2)}{R_1 + R_2} = 0$$

$$V_{sat}^+ R_1 + v_i R_2 = 0 \therefore v_i = -V_{sat}^+ \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_{TL}' = -V_{sat}^+ \frac{R_1}{R_2} \therefore V_{TL}' < 0$$

$$2) v_o = V_{sat}^-$$

$$v^+ = \frac{(V_{sat}^- R_1 + v_i R_2)}{(R_1 + R_2)} = 0$$

$$V_{sat}^- R_1 + v_i R_2 = 0 \therefore v_i = -V_{sat}^- \frac{R_1}{R_2} = V_{TH}' \therefore V_{TH}' > 0$$

A figura 3.14 mostra as tensões v_o e v^+ para uma variação da tensão v_i dentro dos limites da tensão de alimentação.

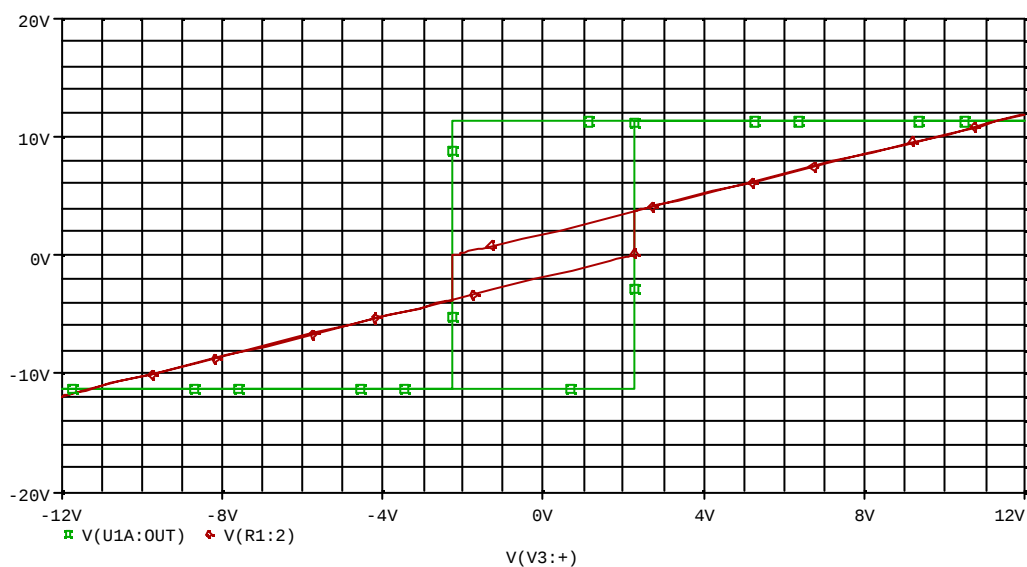


Figura 3.14: gráfico da curva de transferência v_o , $v^+ \times v_i$.