

## Circuito Integrador e Circuito Diferenciador

### Introdução

Um circuito usando amplificador operacional é caracterizado como um circuito linear quando o mesmo opera de forma que o sinal que for introduzido na entrada do circuito não sofre alteração em suas características. Por exemplo, se na entrada do circuito for introduzida uma onda senoidal, este sinal será processado segundo a finalidade que se propõe o circuito mas não haverá a possibilidade de que o sinal na saída do circuito seja alterado.

Circuitos que não são capazes de alterar forma de onda são caracterizados como circuitos lineares. Isto é dito por que há uma série de circuitos que são modificadores de forma de onda e, portanto, são tratados como circuitos não lineares. O circuito integrador e o circuito diferenciador são modificadores de forma de onda e, portanto, podem ser caracterizados como circuitos não lineares.

### Circuito Integrador

Um integrador é um circuito que realiza a operação matemática da integração porque ele produz uma tensão de saída proporcional à integral do sinal de entrada. Uma aplicação comum é usar uma tensão de entrada constante para produzir uma rampa de tensão de saída (uma rampa é uma tensão linearmente crescente ou decrescente). Por exemplo, se o amplificador operacional 741 for alimentado com uma tensão em degrau, a saída do circuito integrador inclina-se a uma taxa de  $0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$ . Isto significa que a tensão de saída varia  $0,5 \text{ V}$  durante cada microssegundo. Este é um exemplo de rampa, uma tensão que varia linearmente com o tempo.

A figura 1 mostra o circuito de um integrador. A entrada típica de um integrador é um pulso retangular e a saída, neste caso, é uma rampa como é mostrado na figura 1.

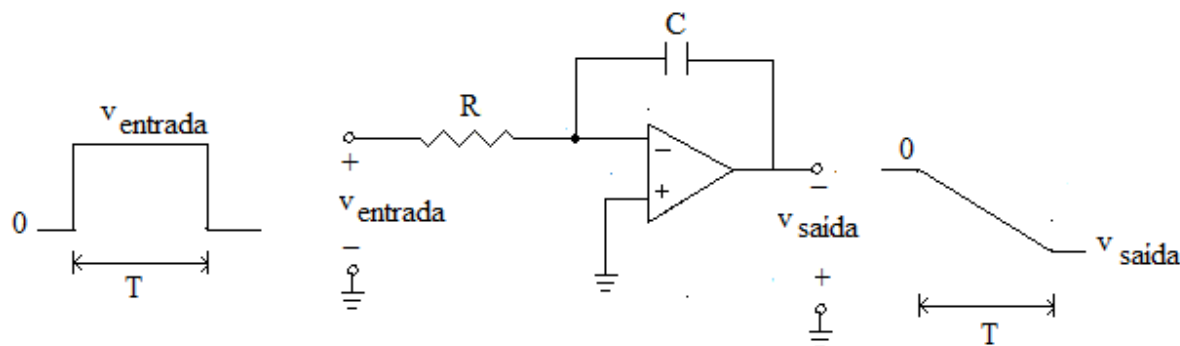


figura 1

Aplicando a lei de Kirchhoff das tensões:

$$v_{\text{entrada}} / R + C (v_{\text{saída}} / dt) = 0$$

A tensão de saída é dada pela expressão:

$$v_{\text{saída}} = - \frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} (v_{\text{entrada}}) dt + v_c(t_0)$$

Se houver uma tensão inicial no capacitor, o seu valor deverá ser somado ao resultado da integração.

Caso o sinal de entrada seja amostrado em vários períodos é preciso levar em consideração a tensão armazenada no capacitor nos instantes anteriores ao período que se está analisando.

Para que o integrador funcione adequadamente deve-se propor, inicialmente, que a constante RC do circuito possa ser igual ao período do sinal de entrada, ou fazer tal constante de tempo bem maior que o período do sinal de entrada.

O circuito do integrador, mostrado na figura 1, precisa de uma ligeira modificação para torná-lo apto a ser usado em qualquer frequência que seja injetado na entrada do circuito. Pelo fato do capacitor se comportar como um circuito aberto para sinais CC, o ganho de tensão de malha fechada é igual ao ganho de tensão de malha aberta para sinal CC. Neste caso, a saída do circuito saturaria positivamente ou negativamente e não teria como reproduzir na saída a integral do sinal de entrada. A solução para este problema é apresentada no circuito mostrado na figura 2 com a introdução de um resistor  $R_s$  em paralelo com o capacitor C.

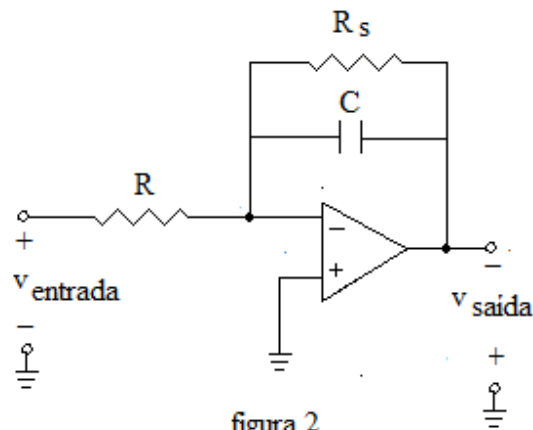


figura 2

Pode-se observar um comportamento dual no circuito, ou seja, em altas frequências o mesmo trabalho como integrador e em baixas frequências como inversor. A frequência limite que separa a atuação do circuito é conhecida como frequência de corte e é dada por:

$$f_c = 1 / (2 \pi R_s C)$$

Seja  $f_{\text{entrada}}$  a frequência do sinal aplicado, tem-se:

Se  $f_{\text{entrada}} \ll f_c$  o circuito atua como amplificador inversor de ganho  $- R_s / R$

Se  $f_{\text{entrada}} \gg f_c$  o circuito atua como um integrador cuja expressão foi apresentada anteriormente.

Há necessidade de se propor que a frequência de entrada seja ou bem menor ou bem maior que a frequência de corte pois nas frequências próximas da frequência de corte a resposta do circuito é híbrida, ou seja, o circuito não se comporta como um inversor típico ou um integrador típico.

Apresenta-se, a seguir, dois circuitos integradores que podem ser úteis em muitas aplicações práticas. A figura 3.1 mostra o chamado integrador de soma e a figura 3.2 é denominado integrador diferencial.

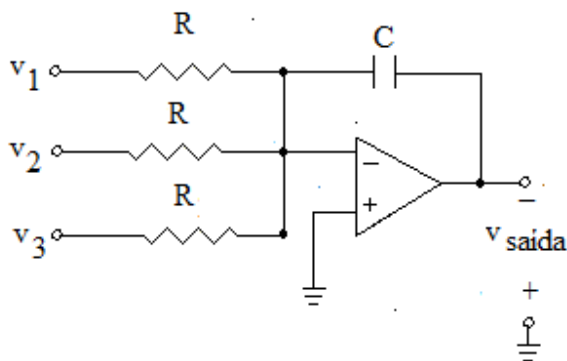


figura 3.1

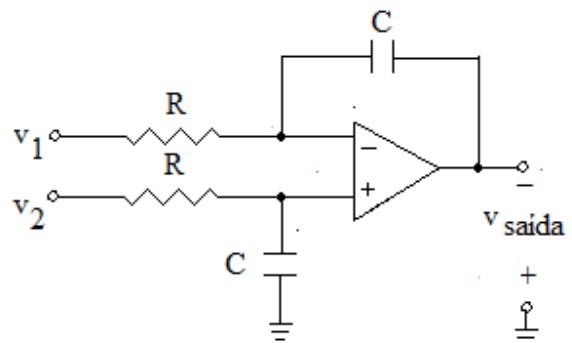


figura 3.2

A equação de saída do circuito da figura 3.1 é dada por:

$$v_{\text{saída}} = - \frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} (v_1 + v_2 + v_3) dt$$

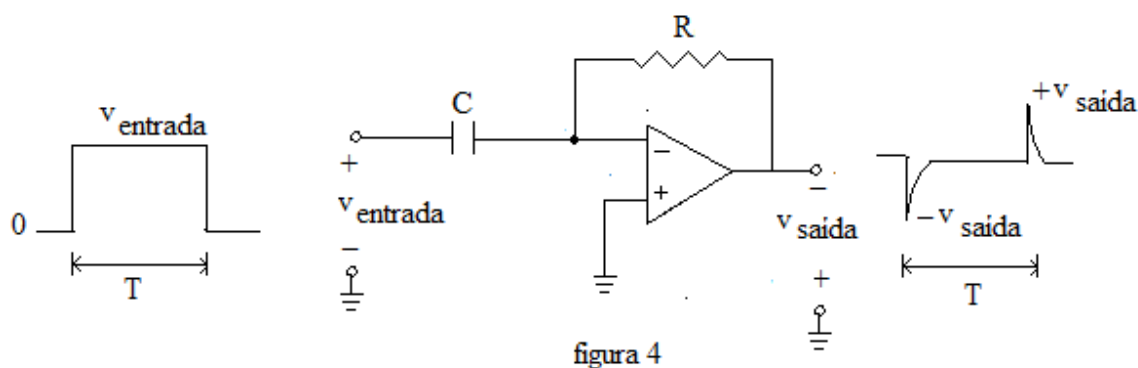
A equação de saída do circuito da figura 3.2 é dada por:

$$v_{\text{saída}} = \frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} (v_2 - v_1) dt$$

## Circuito Diferenciador

Um diferenciador é um circuito que realiza a operação matemática da diferenciação. Ele produz uma tensão de saída proporcional à inclinação da tensão de entrada. As aplicações mais comuns de um diferenciador são a detecção das bordas dianteira e posterior de um pulso retangular, ou a produção de uma saída retangular a partir de uma rampa de entrada.

A figura 4 mostra o circuito de um diferenciador. O sinal de entrada do circuito é um pulso de período T e na saída se mostra a resposta a tal sinal. A saída só terá valor diferente de zero nos instantes de transição do sinal, ou seja, no instante em que o sinal de entrada muda de zero para  $+v_{\text{saída}}$  e no instante em que o sinal de entrada muda de  $+v_{\text{saída}}$  para 0 novamente. O sinal mostrado na saída do circuito é conhecido como espículas. Quanto menor a constante de tempo RC do circuito, mais agudas as espículas.



Aplicando a lei de Kirchhoff das tensões:

$$C (v_{\text{entrada}} / dt) + v_{\text{saída}} / R = 0$$

$$v_{\text{saída}} = - RC (v_{\text{entrada}} / dt)$$

Uma das aplicações comuns do diferenciador é produzir espículas muito estreitas. Quando a tensão de entrada varia de zero a  $v_{\text{entrada}}$ , o capacitor começa a se carregar exponencialmente. Depois de aproximadamente cinco constantes de tempo, a tensão do capacitor está já próxima de zero. Na borda posterior do pulso, a tensão de entrada forma um degrau negativo e tudo se repete gerando uma espícula positiva.

Uma entrada que é frequentemente usada com diferenciadores é uma rampa como mostra a figura 5. Devido ao terra virtual, toda a tensão de entrada aparece através do capacitor. A rampa de tensão implica que a tensão do capacitor seja constante. Como toda esta corrente constante flui através do resistor de realimentação, se obtém um pulso negativo na saída do circuito.

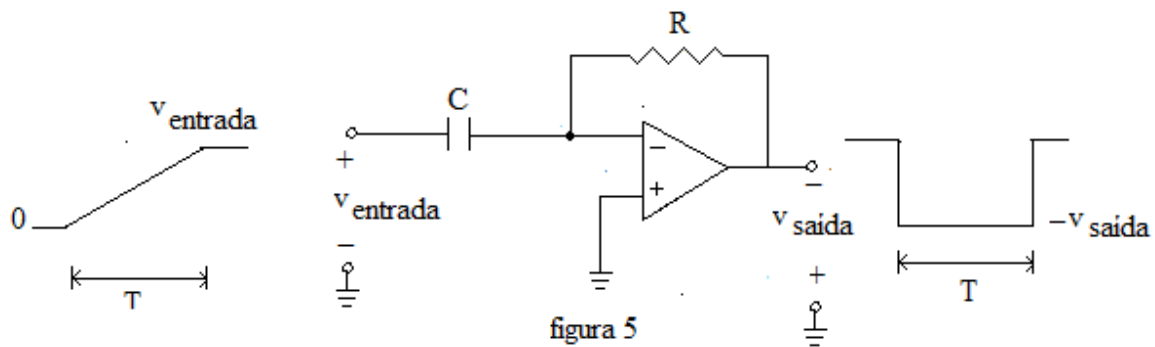


figura 5

A medida que o sinal de entrada aumenta de frequência o circuito diferenciador terá problema de instabilidade, sensibilidade a ruídos e processo de saturação muito rápido. A figura 6 mostra o que deverá ser feito no diferenciador para ele se manter estável em todas as frequências.

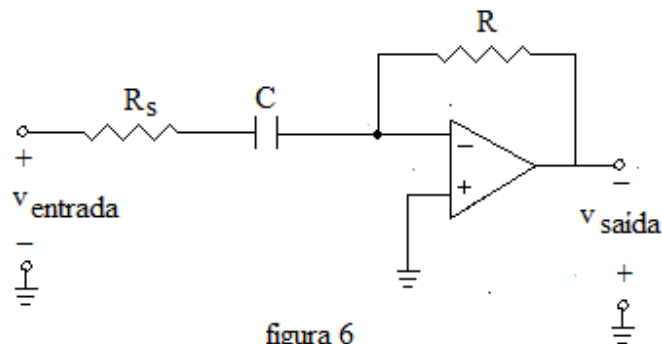


figura 6

Pode-se observar um comportamento dual no circuito, ou seja, em altas frequências o mesmo trabalho como inversor e em baixas frequências como diferenciador. A frequência limite que separa a atuação do circuito é conhecida como frequência de corte e é dada por:

$$f_c = 1 / (2 \pi R_s C)$$

Seja  $f_{\text{entrada}}$  a frequência do sinal aplicado, tem-se:

Se  $f_{\text{entrada}} \ll f_c$  o circuito atua como um diferenciador com  $v_{\text{saída}} = -RC (v_{\text{entrada}} / dt)$

Se  $f_{\text{entrada}} \gg f_c$  o circuito atua como um amplificador inversor de ganho  $-R / R_s$

Há necessidade de se propor que a frequência de entrada seja ou bem menor ou bem maior que a frequência de corte pois nas frequências próximas da frequência de corte a resposta do circuito é híbrida, ou seja, o circuito não se comporta como um inversor típico ou um diferenciador típico.