4.4 Filtros a capacitor chaveado

Circuitos a capacitor chaveado são também usados na implementação de filtros, tendo em vista a sua resistência equivalente que é variável com a freqüência de chaveamento. Particularmente em circuitos integrados, filtros contínuos (RC) em são de difícil implementação, pois as capacitâncias e resistências necessárias são de valor elevado, o que resulta numa grande área do CI. Além disso, resistores lineares são de difícil implementação em tecnologia tradicional (CMOS). A alternativa mais viável altualmente para implementação de filtros integrados para freqüências inferiores a ~ 1 MHz é pelo uso de capacitores chaveados. Capacitores de baixo valor (pF) e chaves com transistores MOSFET são de fácil implementação e ocupam pequenas áreas do CI. Os transistores MOSFET operam em altas freqüências, apresentam baixas perdas e alta relação R_{OFF}/R_{ON} .

Comparativamente aos filtros RC contínuos, o uso de filtros a capacitor chaveado apresentam as seguintes características:

Vantagens:

- freqüência de corte facilmente ajustada pela freqüência de chaveamento.
- alta estabilidade e confiabilidade na freqüência de corte em função do tempo, temperatura, parâmetros do processo.
- ocupa pequena área do CI (baixo custo)

Desvantagens:

- introdução do ruído de chaveamento no sinal de saída.
- Em certos casos necessita de filtro contínuo para minimizar o ruído.

4.4.1 Filtro passa baixas

O filtro passa baixas a capacitor chaveado é baseado na topologia do filtro contínuo RC, tendo a resistência equivalente como R. A fonte de entrada é o sinal alternado que deseja-se filtrar. Não existe sincronismo entre o sinal de entrada e a freqüência do chaveamento. A figura 4.15 mostra o circuito do filtro chaveado e seu equivalente contínuo RC.

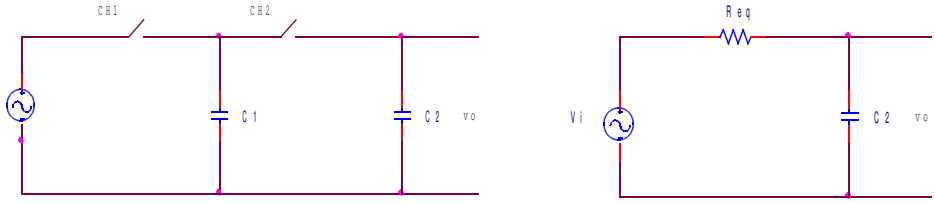

Figura4. 15: Topologia do filtro passa baixas a capacitor chaveado de 1 polo e circuito equivalente RC.

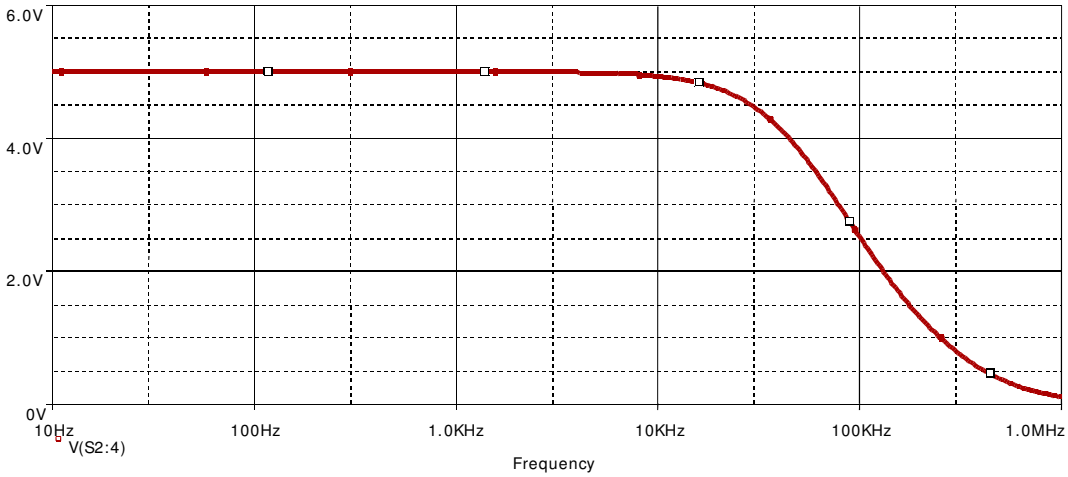

Figura4. 16: Resposta em freqüência do filtro passa baixas

A freqüência de corte do filtro é dada por:

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_2 Req} \qquad R_{eq} = \frac{T_C}{C2.\ln\left[\frac{(C1+C2)}{C2}\right]}$$

$$f_c = f_{ch}\frac{\ln\left[\frac{(C1+C2)}{C2}\right]}{2\pi}$$

f_{ch}: freqüência de chaveamento

4.4.2 Ruído de Chaveamento

O sinal de saída do filtro apresenta uma parcela de ruído devido ao chaveamento, que é proporcional à relação entre C1 e C2 e à freqüência e amplitude do sinal de entrada.

Analisando o ruído de chaveamento para os dois extremos de freqüência no filtro passa baixas em regime permanente, tem-se:

a) sendo v_i uma tensão DC (f_i=0 Hz), o ruído é nulo pois uma vez passado o transitório inicial a tensão de saída se mantém constante e igual à de entrada.

b) para v_i um sinal senoidal com freqüência igual à do chaveamento, a tensão de pico do ruído v_n é:

$$v_{np} = \frac{C1}{(C1+C2)} V_p$$

Generalizando, tem-se que:

$$v_n(t) = \frac{C1}{(C1+C2)} \frac{1}{2\pi f_{ch}} \frac{dv_i}{dt}$$

Onde V_p é a tensão de pico do sinal de entrada v_i , f_{ch} a freqüência de chaveamento.

Tomando-se o valor RMS e substituindo-se f_{ch} pela freqüência de corte f_c tem-se:

$$v_{nRMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \frac{C1}{(C1+C2)} \frac{f_i}{f_c} \ln\left(\frac{C1+C2}{C2}\right)$$

O ruído possui componentes harmônicos semelhantes a uma onda quadrada, com freqüência fundamental igual a freqüência de chaveamento, sendo a primeira harmônica a principal.

Relação sinal ruído:

$$SNR = \frac{v_o}{v_n} \qquad SNR_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{v_o}{v_n}\right)$$

onde v_o é a tensão de saída do filtro.

Para redução do ruído de chaveamento:

- faz-se $C_1 << C_2$ e conseqüentemente $f_{ch} >> f_c$
- filtro passa-baixas contínuo (RC) na saída do filtro a capacitor chaveado, com freqüência de corte f_{cc} de modo que: $f_c < f_{cc} < f_{ch}$