

# COE713 - FILTROS ANALÓGICOS

2ª LISTA DE EXERCÍCIOS – 2021/3

Programa de Engenharia Elétrica – COPPE/UFRJ

Data de Entrega: 25/02/2022

## [1ª Questão]

Projete um filtro analógico passa baixas de 3ª ordem, usando a aproximação de Chebyshev, com banda passante até 10 MHz, atenuação máxima de 3 dB na banda passante e atenuação mínima de 40 dB na banda de rejeição. Considere que este projeto será construído usando um processo de fabricação CMOS onde as tensões de alimentação adotadas são  $V_{DD} = +1,5$  V e  $V_{SS} = -1,5$  V, e onde os transistores de canal N apresentam parâmetros  $k_N = 170 \mu\text{A}/\text{V}^2$  e  $V_{th} = 0,8$  V.

- (a) Usando o software ELETSIM, obtenha a rede *ladder* LC duplamente terminada que realiza o filtro acima, com frequência de corte normalizada em 1,0 rad/s.
- (b) Implemente o filtro desejado usando a técnica MOSFET-C totalmente diferencial que simula as equações de estado do protótipo passivo em rede *ladder* LC obtido no item (a). Nessa implementação, escale os componentes do circuito de modo que o maior capacitor apresente uma capacitância de 5,0 pF e de modo que os transistores apresentem um comprimento mínimo de 1,0  $\mu\text{m}$  e uma largura mínima de 0,5  $\mu\text{m}$ . Em seu projeto, considere uma tensão de controle nominal  $V_{ctrl} = 1,2$  V nos MOSFET's.
- (c) Simule o filtro MOSFET-C obtido no item (b), com amplificadores operacionais ideais, de modo a obter a sua resposta em frequência entre 1,0 kHz e 1,0 GHz. Obtenha também as respostas em frequências desse mesmo filtro para os casos em que a tensão de sintonia  $V_{ctrl} = 0,9, 1,0, 1,1, 1,3, 1,4$  e 1,5 V.

**OBSERVAÇÃO:** Nas simulações do item (c), você deve usar a biblioteca de MOSFET's disponível no site da disciplina: [http://www.pads.ufrj.br/~cfts/index\\_arquivos/FiltrosAnalogicos.html](http://www.pads.ufrj.br/~cfts/index_arquivos/FiltrosAnalogicos.html).

## [2ª Questão]

Projete um filtro analógico passa faixa de 4ª ordem, usando aproximação de Butterworth, com banda passante entre 1,0 e 5,0 MHz, ganho máximo de 0 dB, atenuação máxima de 3 dB na banda passante e atenuação mínima de 40 dB na banda de rejeição.

- (a) Obtenha o protótipo passivo em rede *ladder* LC duplamente terminada que realiza o filtro passa faixa de quarta ordem, com os limites da banda passante normalizados nas frequências 1,0 e 5,0 rad/s.
- (b) Obtenha o filtro OTA-C a partir da substituição de componentes no protótipo passivo obtido no item (a) e construa-o usando uma topologia totalmente diferencial. Escale os componentes do circuito de modo que os maiores capacitores devem apresentar uma capacitância máxima de 10 pF.

- (c) Simule o circuito projetado no item (b), usando amplificadores operacionais de transcondutância ideais, de modo a obter a resposta em frequência do filtro entre 10 kHz e 100 MHz. Mostre, através da sua simulação, como a resposta em frequência do filtro pode ser ajustada através da variação da transcondutância dos OTA's.

### **[3ª Questão]**

Projete um filtro analógico passa baixas de 4ª ordem, usando a aproximação Elíptica, com banda passante até 20 kHz, atenuação máxima de 3 dB na banda passante e atenuação mínima de 40 dB na banda de rejeição.

- (a) Realize o filtro usando a técnica de capacitores chaveados, com uma frequência de chaveamento de 500 kHz. Para a implementação do circuito, use uma cascata de Biquads de Fleischer e Laker.
- (b) Simule o filtro projetado com o software de simulação AZIS, usando amplificadores operacionais e chaves ideais, de modo a obter a sua resposta em frequência.