

**3º Trabalho Prático:**

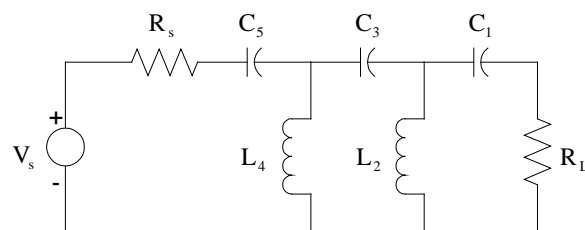
**Projecto e montagem de um Filtro passa-alto de 5ª ordem do tipo Butterworth com Simuladores de Inductâncias**

**Objectivos do trabalho:**

Neste trabalho pretende-se rever o projecto e realizar a implementação de um filtro passa-alto de quinta ordem de tipo Butterworth através de elementos passivos num circuito em cascata, bem como a substituição das inductâncias por redes com elementos activos – simuladores de inductâncias para a respectiva implementação.

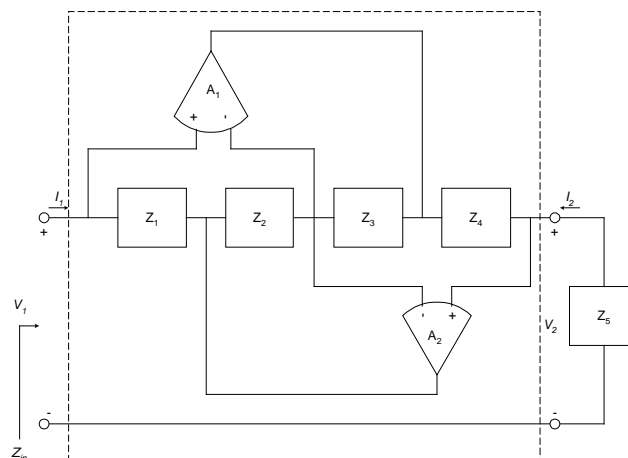
**OPERAÇÕES A EFECTUAR:**

Inicialmente tem de se dimensionar o filtro desejado. Neste caso pretende-se um filtro passa-alto de quinta ordem do tipo Butterworth, com frequência de corte de  $10 \times 10^3$  rad/s ( $\approx 1,6$  kHz) e com resistências de fonte e de carga ( $R_s$  e  $R_L$ , respectivamente) de  $1000\Omega$ . De seguida é necessário calcular os valores dos elementos do filtro que constituem o filtro (resistências, condensadores e inductâncias). Para tal primeiro dimensionam-se esses elementos para o correspondente filtro passa-baixo normalizado recorrendo às tabelas existentes para o efeito e fornecidas em anexo. Depois efectua-se a desnormalização no domínio das frequências bem como a desnormalização para os valores das resistências. A topologia do circuito de um filtro passa-alto de quinta ordem de Butterworth é mostrada na figura 1.



**Figura 1**

Um simulador de inductâncias geral tem a seguinte topologia (Antoniou):



**Figura 2**

em que, sendo  $Z_2$  um condensador e as restantes impedâncias resistências, temos:

$$Z_{in}(s) = \frac{sR_1C_2R_3R_5}{R_4} \qquad L_{eq} = \frac{R_1C_2R_3R_5}{R_4}$$

Deste modo deverá obter-se um circuito com simuladores de indutâncias para o filtro normalizado especificado neste trabalho semelhante ao seguinte:

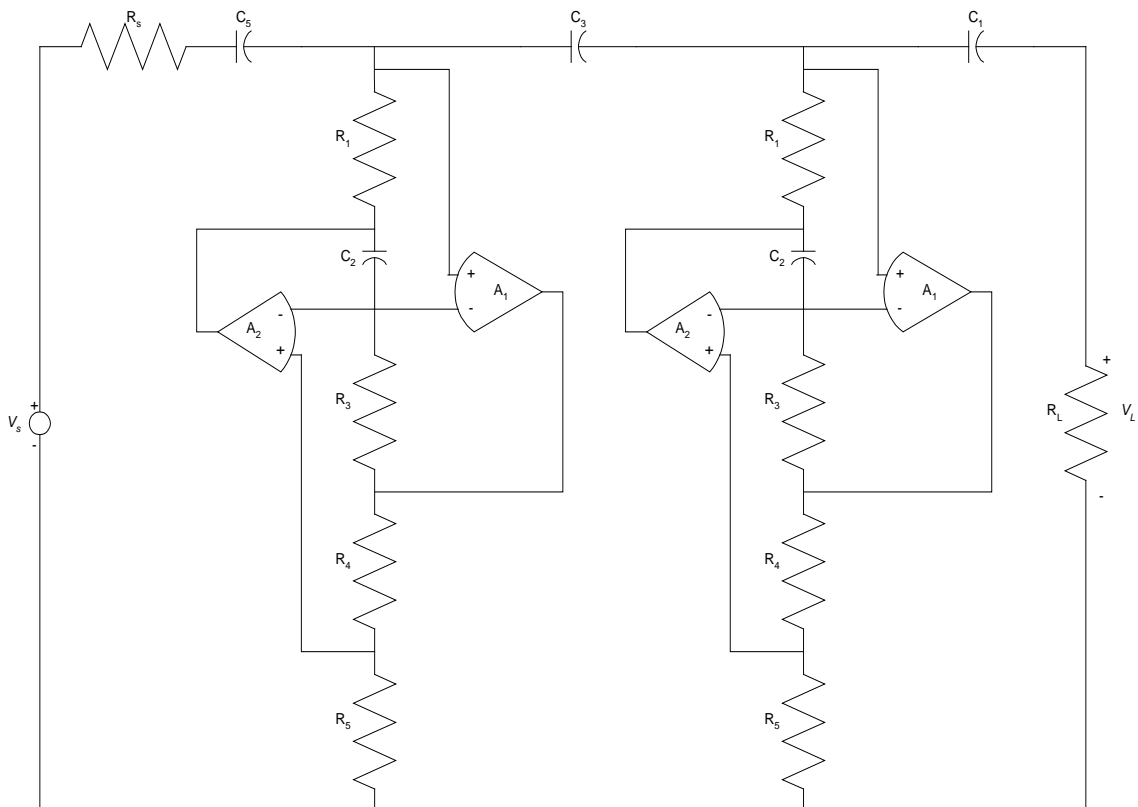


Figura 3

Os AmpOps a utilizar serão os do tipo TL082.

Com base no que foi acima descrito, execute, então, os seguintes passos:

- 1- calcule os valores para os componentes a utilizar no caso do uso de indutâncias e depois no caso do uso dos simuladores, atendendo à desnormalização necessária;
- 2- construa o circuito com simuladores numa placa de montagem e verificar o seu bom funcionamento básico;
- 3- faça as medições da razão em amplitude  $\|V_o/V_i\|$ , bem como da fase entre  $V_i$  e  $V_o$ , para um número de frequências que permita caracterizar bem o comportamento selectivo do filtro e identificar as bandas de corte, de transição e de passagem, assim como os respectivos limites. De seguida trace o gráfico logarítmico da função de transferência do filtro para a amplitude e para a fase (gráficos de Bode). Examine os aspectos assintóticos da função de transferência do filtro, bem como a frequência de corte a  $-3$  dB a partir do gráfico, para confirmar o bom desempenho do circuito, comparativamente com a função de transferência teórica que também traçar para o efeito.

- 4- Finalmente, teste a resposta do circuito ao degrau e ao impulso rectangular estreito, registando essas respostas e tire conclusões sobre o tempo de estabelecimento e tempo de subida;
- 5- Elabore um relatório em que apresente os cálculos realizados e os resultados das medições, assim como comentários sobre os mesmos e a respectiva qualidade.

**Nota:**

Os valores que se obtêm para o circuito da Figura 1 são:

$R_s=1 \Omega$ ;  $C_1=C_5=1.618 \text{ F}$ ;  $C_3=0.5 \text{ F}$ ;  $L_2=L_4=0.618 \text{ H}$ .

Para a Figura 3 os valores deverão ser (valores reais):

$R_s=1 \text{ k}\Omega$ ;  $C_1=C_5=161.5 \text{ nF}$ ;  $C_3=50 \text{ nF}$ ;  $R_1= R_3= R_4=1 \text{ k}\Omega$ ;  $R_5=616 \Omega$ ;  $C_2=100 \text{ nF}$ ;  
 $R_L=1 \text{ k}\Omega$ .

**ANEXOS:**