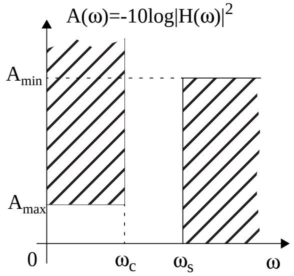
Lösningsförslag

Uppgift 1.22

Passband: $0 < f < 3.5\,\text{kHz}$ och $A_{max} = 1\,\text{dB}$

Spärrband $f > 10\,\text{kHz}$ och $A_{min} = 20\,\text{dB}$



Passivt butterworthfilter, gradtal fås ur tabell: $N = 3$.

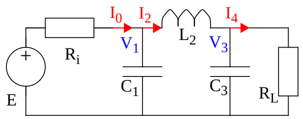
Välj ett spänningsmatat π-nät med reflektionsfaktorn $r = 1$, (lämpligt val för symmetrins skull) välj lämpliga resistansstorlekar $R_i = R_L = R_0 = 1k\Omega$.

Komponenterna fås ur tabell: $C_{3n} = 1$, $L_{2n} = 2$ och $C_{1n} = 1$. Dessa värden skall avnormeras enligt tabell till:

$$C = \frac{C_n}{\omega_0 R_0},\ L = \frac{R_0 L_n}{\omega_0},\ \text{där } \omega_0 = \omega_c \varepsilon^{-1/N} = \omega_c\left[\sqrt{10^{0.1A_{max}} - 1}\right]^{-1/N} \approx 27.55\,\text{krad/s}.$$

Därmed fås att:

$$C_1 = C_2 = 36.3nF \text{ och } L_2 = 72.6mH$$



Ett antal filterkomponenter har hittats. Skapa ett signalflödesschema för nätet, betrakta först strömmar och spänningar i kretsen. Inför strömmar för “seriella” element och spänningar för “parallella” element. (Observera omnumreringen av kondensatorerna).

Detta ger sambanden:

$$I_0 = \frac{E - V_1}{R_i}$$

$$V_1 = \frac{1}{sC_1}(I_0 - I_2)$$

$$I_2 = \frac{V_1 - V_3}{sL_2}$$

$$V_3 = \frac{1}{sC_3}(I_2 - I_4)$$

$$I_4 = \frac{V_3}{R_L}$$

Normerade med ett R:

$$RI_0 = \frac{R}{R_i}(E - V_1)$$

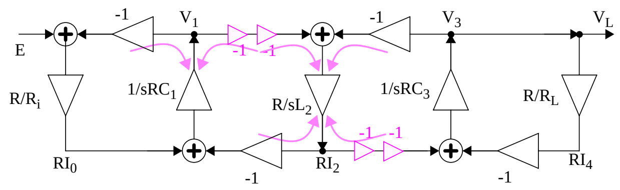
$$V_1 = \frac{1}{sC_1R}(RI_0 - RI_2)$$

$$RI_2 = \frac{R}{sL_2}(V_1 - V_3)$$

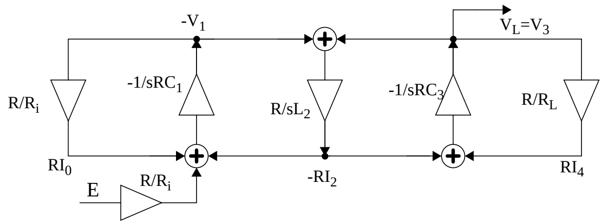
$$V_3 = \frac{1}{sRC_3}(RI_2 - RI_4)$$

$$RI_4 = \frac{R}{R_L}V_3$$

Ur dessa ekvationer kan vi därefter skissera ett signalflödesschema:



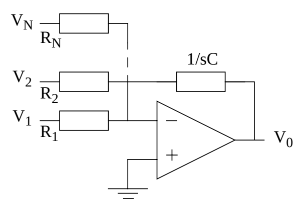
Nätet modifieras genom att dra -1 genom nätet och istället notera negativa spänningar:



Det ses att varje förstärkning från summerarna är en integrator, $K\frac{1}{s}$. Ingången till integratorn är dessutom summan av ett antal signaler.

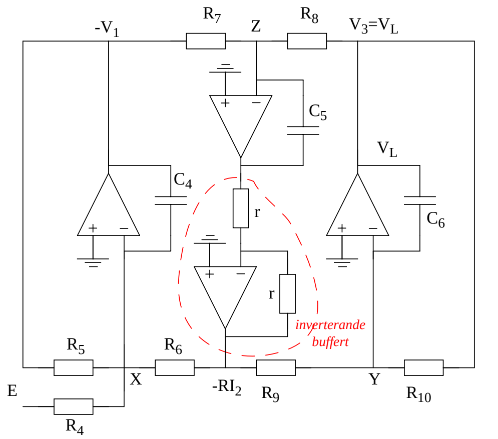
En summerande integrator kan realiseras med aktiva komponenter. Överföringsfunktionen för en summerande integrator blir:

$$V_0 = -\frac{1}{sC}\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_N}{R_N}\right)$$



Observera att det är en inverterande integrator. Därmed måste en inverterande buffer användas för förstärkaren i mitten i signalflödesschemat.

Detta ger en struktur enligt nedan. Det återstår att bestämma komponentvärdena för kretsen. Detta kan göras genom att jämföra signalflödesschemat och leapfrogschemat. Varje term som summeras och integreras jämförs var för sig:



Leapfrog	Signalflödesschema	Resultat
$[-V_1]_E = -\frac{1}{sC_4}\cdot\frac{E}{R_4}$	$[-V_1]_E = \frac{R}{R_i}\cdot -\frac{E}{sRC_1} = -\frac{E}{sR_iC_1}$	$C_4R_4 = C_1R_i$
$[-V_1]_{-V_1} = -\frac{1}{sC_4}\cdot\frac{V_1}{R_5}$	$[-V_1]_{-V_1} = \frac{R}{R_i}\cdot -\frac{-V_1}{sRC_1} = -\frac{-V_1}{sR_iC_1}$	$C_4R_5 = C_1R_i$
$[-V_1]_{-RI_2} = -\frac{1}{sC_4}\frac{-RI_2}{R_6}$	$[-V_1]_{-RI_2} = -\frac{1}{sRC_1}(-RI_2)$	$C_4R_6 = C_1R$
$[-RI_2]_{-V_1} = -\frac{(-1)}{sC_5}\cdot\frac{-V_1}{R_7}$	$[-RI_2]_{-V_1} = \frac{R}{sL_2}(-V_1)$	$C_5R_7 = L_2/R$
$[-RI_2]_{V_3} = -\frac{(-1)}{sC_5}\cdot\frac{V_3}{R_8}$	$[-RI_2]_{V_3} = \frac{R}{sL_2}V_3$	$C_5R_8 = L_2/R$
$[V_3]_{-RI_2} = -\frac{1}{sC_6}\frac{-RI_2}{R_9}$	$[V_3]_{-RI_2} = -\frac{1}{sRC_3}(-RI_2)$	$C_6R_9 = C_3R$
$[V_3]_{V_3} = -\frac{1}{sC_6}\frac{V_3}{R_{10}}$	$[V_3]_{V_3} = -\frac{1}{sRC_3}\frac{R}{R_L}V_3 = -\frac{V_3}{sC_3R_L}$	$C_6R_{10} = C_3R_L$

En bra start för att lösa alla ekvationer är att ansätta att alla kapacitanser skall vara lika stora. Välj till exempel

$$C_4 = C_5 = C_6 = 30nF$$

Dessa värden väljs till ungefär lika med de värden som hittades i stegnätet, detta borde ge rimliga värden på resistanserna (se nedan). Ur ekvationerna kan också ses att

$$R_4 = R_5 = \frac{C_1R_i}{C_4} = \frac{36.3nF\cdot 1k\Omega}{30nF} = 1.21k\Omega \text{ och } R_{10} = \frac{C_3R_L}{C_6} = 1.21k\Omega$$

Man kan också se att

$$R_6 = R_9 = \frac{C_1R}{C_4} \text{ och att } R_7 = R_8 = \frac{L_2}{C_5R}$$

Välj för symmetris skull $R_6 = R_7 = R_8 = R_9$ vilket ger att

$$R^2 = \frac{L_2C_4}{C_1C_5} \Rightarrow R = \sqrt{L_2/C_1} = 1000\sqrt{72.6/36.3} \approx 1.41k\Omega$$

Slutligen fås då att $R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = 1.21\cdot 1.41k\Omega \approx 1.71k\Omega$.

Sista resistansvärdet som inte påverkar några utsignaler är r. Välj r så att den är lika stor som någon av de andra resistanserna, till exempel $r = R_6 = 1.71k\Omega$.

Därmed är alla komponentvärden valda, ett annat alternativ skulle vara att välja kondensatorerna på ett sådan sätt att även $R_4 = R_5 = R_{10} = R$ ($C = 25.7nF$)