

Föreläsning 13

Implementering av analoga filter

Erik Agrell 2017-10-04

Innehåll:

1. Kaskadkopplade filterlänkar
2. Sallen-Key-kopplingen

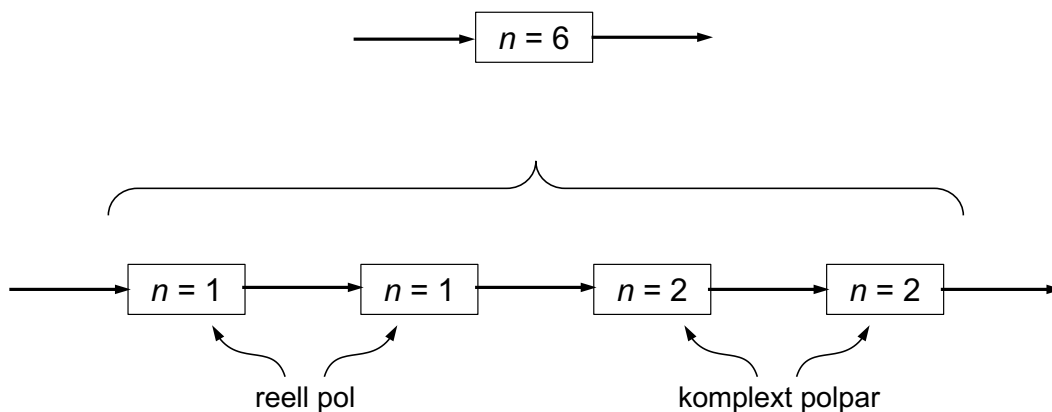


Bilder av Erik Agrell

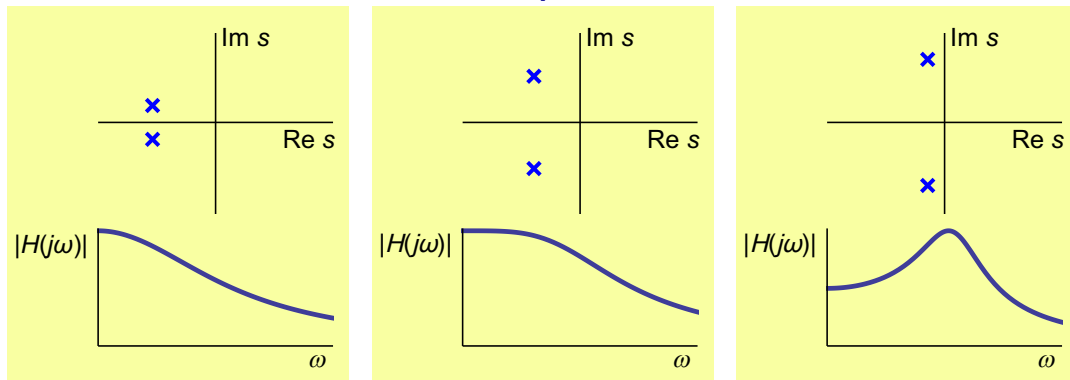
1. Kaskadkopplade filterlänkar

Alla filter kan implementeras genom att kaskadkoppla 1a och 2a ordningens filterlänkar.

Exempel 1:

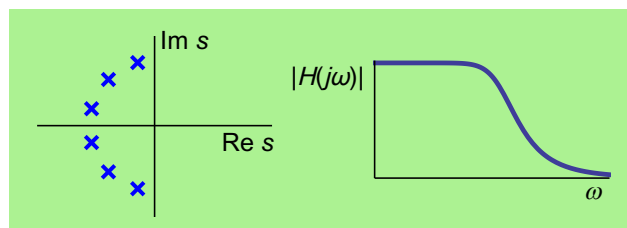


Exempel 2



Tre olika länkar av ordning 2...

... ger tillsammans ett bra filter av ordning 6:



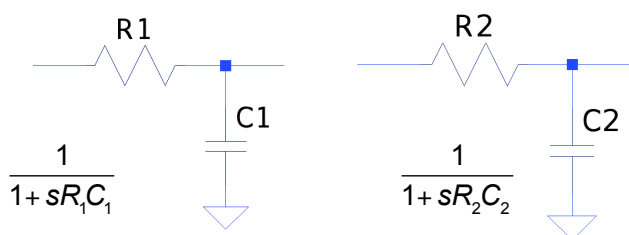
Exempel 3

Vi vill implementera

$$H(s) = \frac{1}{(1-s/p_1)(1-s/p_2)}$$

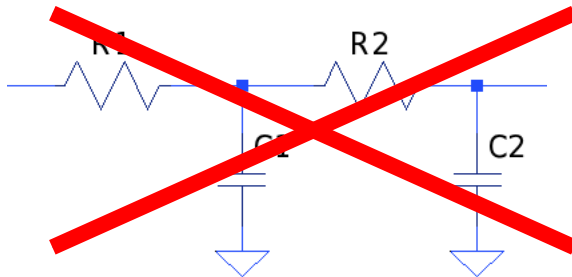
med två reella, negativa poler p_1 och p_2 .

1. Skapa två LP-länkar enligt nedan, där $R_1C_1 = -1/p_1$ och $R_2C_2 = -1/p_2$



2. Kombinera länkarna...

Försök 1:

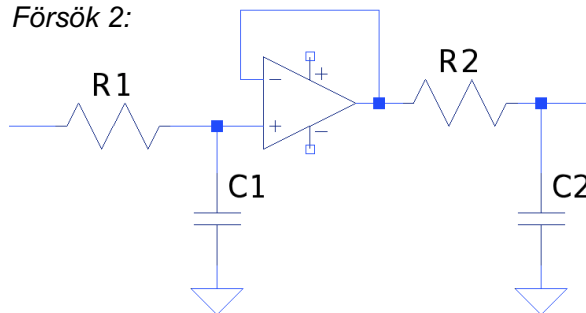


$$H(s) = \frac{1}{(1 + sR_1C_1)(1 + sR_2C_2) + sR_1C_2}$$

??

Länk 2 påverkar länk 1!

Försök 2:



$$H(s) = \frac{1}{(1 + sR_1C_1)(1 + sR_2C_2)}$$

OK!

Komponentvärden

Tumregler:

- Motstånd väljs ofta ur E12-serien i intervallet $\sim 100 \Omega - 100 \text{ k}\Omega$
- Kondensatorer väljs ofta ur E6-serien i intervallet $\sim 100 \text{ pF} - 10 \mu\text{F}$

(undantag finns)

$\Rightarrow$ Med R och C i dessa intervall kan man implementera tidskonstanter RC i intervallet $\sim 10^{-8} - 1 \text{ s}$ (frekvenser $\sim 1 - 10^8 \text{ rad/s}$)

E12	E6
10	10
12	
15	15
18	
22	22
27	
33	33
39	
47	47
56	
68	68
82	

Det är bättre att välja C och beräkna R än tvärt om, eftersom tillgängliga R -värden ligger tätare (typiskt E6-serien)

Avrundningsfel

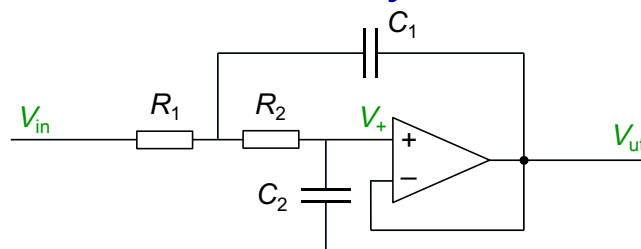
Det blir alltid avrundningsfel när man väljer komponentvärden.
Vad kan man göra åt det?



Det finns åtminstone tre möjliga strategier:

1. Använd parallell- eller seriekoppling för att skapa värden mellan E12-nivåerna
2. Prova andra värden på C tills avrundningsfelen i R blir små
3. Simulera och kolla om avrundningsfelen spelar någon roll

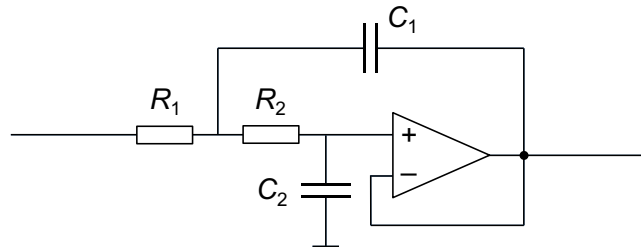
2. Sallen-Key-filtret



Vilken typ av filter? HP, LP eller något annat?

- Spänningsföljare $\Rightarrow V_{ut} = V_+$
- Låga frekvenser
 $\Rightarrow$ kondensatorer spärrar
 $\Rightarrow V_+ = V_{in}$
 $\Rightarrow H(0) = 1$
- Höga frekvenser
 $\Rightarrow$ kondensatorer leder
 $\Rightarrow V_+ = 0$
 $\Rightarrow H(\infty) = 0$

Svar: Lågpas!



Vilken överföringsfunktion?

Svar:
$$H(s) = \frac{1}{1 + s(R_1 + R_2)C_2 + s^2 R_1 R_2 C_1 C_2}$$



Dimensionering av komponentvärden

Med Sallen-Key-kopplingen implementeras

- två reella poler *eller*
- ett komplext polpar

Utimpedans 0 $\Rightarrow$ kan kaskadkopplas

Hur väljer man komponenter?

1. Skriv den önskade överföringsfunktionen som

$$H(s) = \frac{1}{1 + \alpha s + \beta s^2}$$

2. Välj komponenter så att

$$\alpha = (R_1 + R_2)C_2$$

$$\beta = R_1 R_2 C_1 C_2$$

Exempel

Konstruera ett tredje ordningens LP-filter av Butterworth-typ med gränshfrekvens 2 kHz genom att kombinera ett Sallen-Key-filter av ordning 2 och ett passivt första ordningens LP-filter. Motstånd skall tas ur E12-serien och kondensatorer ur E6-serien.

Vi behöver en tabell över Butterworth-polynom, från kursens formelsamling:

Ordning	Polynom $P(a)$
1	$1 + a$
2	$1 + 1.414a + a^2$
3	$1 + 2a + 2a^2 + a^3$ $= (1 + a)(1 + a + a^2)$
4	$1 + 2.613a + 3.414a^2 + 2.613a^3 + a^4$ $= (1 + 0.765a + a^2)(1 + 1.848a + a^2)$



Veckosammanfattning

Efter kursvecka 6 behärskar ni...

- Analoga filter
 - Poler och nollställen
 - Överföringsfunktion och frekvensfunktion
 - Frekvenstransformering
 - Butterworthfilter
 - LP-, HP-, BP- och BS-filter
 - Filterkonstruktion med hjälp av tabell
- Implementation av filter
 - Filterkonstruktion med kaskadkoppling
 - Sallen-Key-länken
 - Val av komponentvärden

Läs & lös

Läs:

- Bengtsson s 419–420 (Sallen-Key-kopplingen)
- Lab-PM, lab 6

Lös:

- Bengtsson uppg 12.17c
- Förberedelseuppgifter lab 6

12.17a I tabell 12.2 är Chebyshev-filtret av ordning 3 skrivet som ett tredjegradspolynom. Separera detta polynom så att du kan skriva filtret som en seriekoppling av ett första och ett andra ordningens filter.

12.17b Använd transformeringsreglerna i avsnitt 12.5 för att transformera filtret till ett låpassfilter med gränshfrekvensen 1 kHz.

12.17c Realisera detta filter med hjälp av en första och en andra ordningens Sallen-Key-länk.

$$\frac{0,2506}{s^3 + 0,5972s^2 + 0,9283s + 0,2506}$$