

Föreläsning 14

Förstärkardimensionering och stabilitet

Erik Agrell 2017-10-10

Innehåll:

1. Icke ideal operationsförstärkare
2. Kaskadkoppling
3. Stabilitet
4. Gästföreläsning

Bilder av Bengt Molin och Erik Agrell

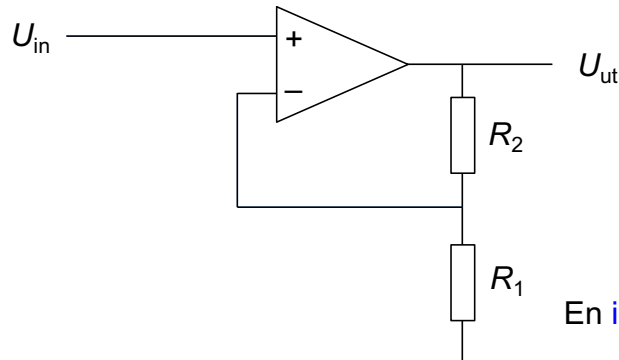
Veckosammanfattning

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

1. Icke ideal operationsförstärkare

Icke inverterande förstärkare:



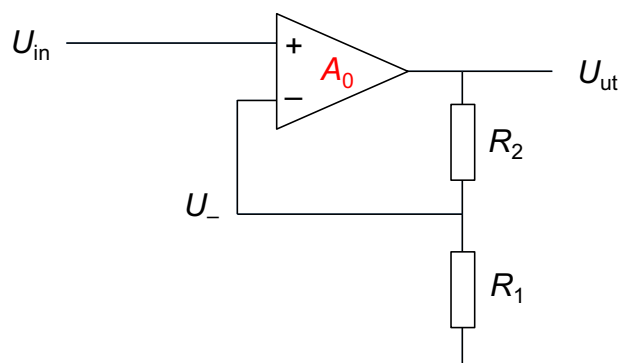
$$A = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

... om OPn är ideal

En **ideal** OP har:

- oändlig råförstärkning
- oändlig bandbredd
- oändlig inimpedans
- utimpedans 0

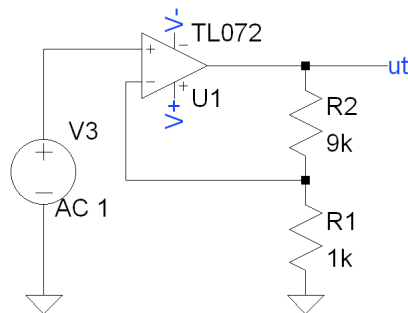
En verklig op har ändlig råförstärkning



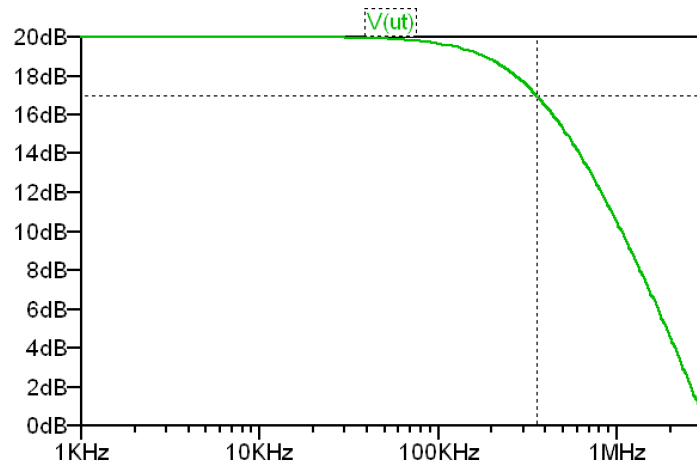
$$A = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{A_0}{1 + \beta A_0} \quad \text{där motkopplingsfaktorn } \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Gränsvärde (ideal OP): Om $A_0 \rightarrow \infty$, så är $A = \frac{1}{\beta} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$ **OK!**

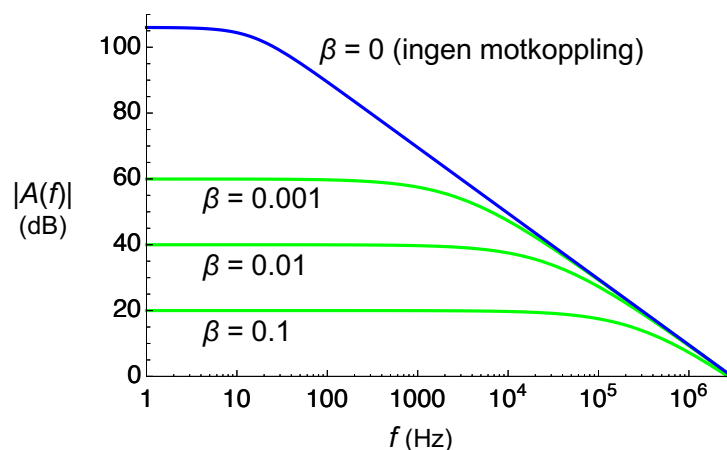
En verklig op har ändlig bandbredd också




Spice demo



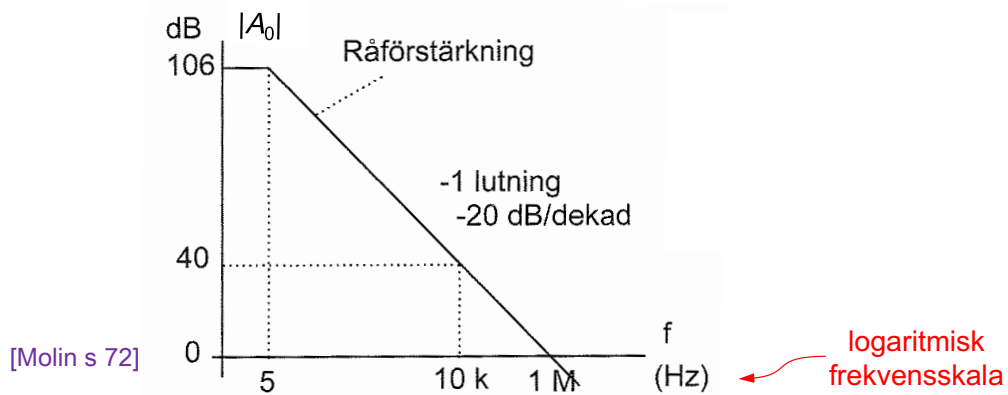
Förstärkningens frekvensberoende



En **verklig** OP har:

- ändlig råförstärkning $A_{\max}$ (typiskt 10^5 – 10^6 gånger vid DC)
- låg bandbredd f_o (typiskt **1–20** Hz!!)

Råförstärkningen (utan motkoppling)



- En OP har avsiktligt mycket låg gränshfrekvens
- Metoden kallas **intern frekvenskompensering** och ger
 - god **stabilitet** vid motkoppling
 - men låg bandbredd utan motkoppling

Låga och höga frekvenser

Från bild 3:

$$A(f) = \frac{A_0(f)}{1 + \beta A_0(f)}$$

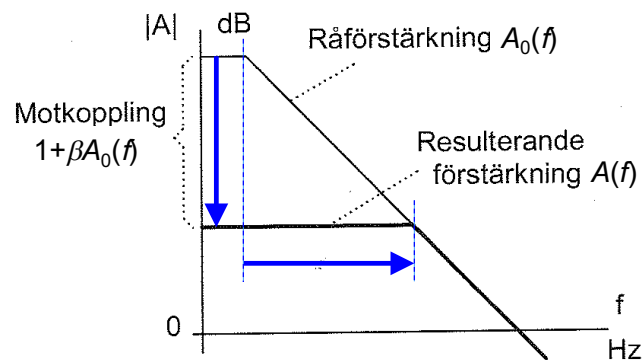
- Låga frekvenser:

$$A(f) \approx \frac{1}{\beta}$$

- Höga frekvenser:

$$A(f) \approx A_0(f)$$

- oberoende av f
- oberoende av A_0
- okänslig för icke linjär råförstärkning
- oberoende av β



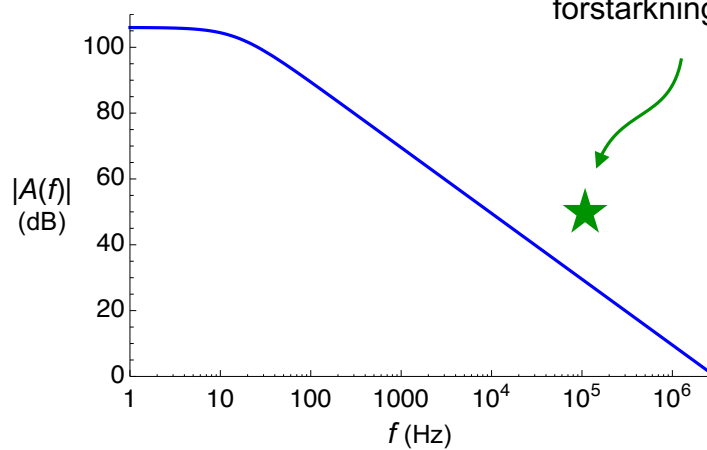
[Molin s 131]

- Motkoppling minskar förstärkningen
- Motkoppling ökar bandbredden

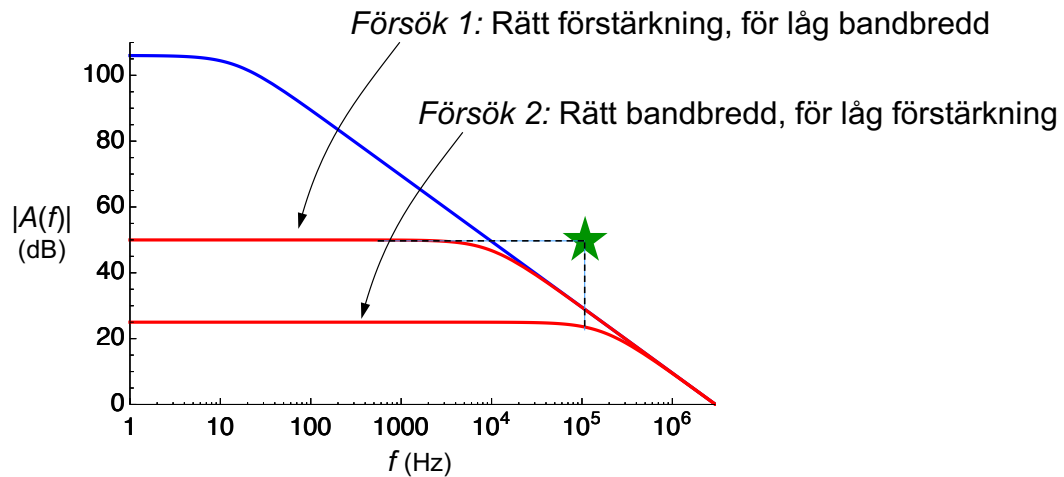
Produkten förstärkning $\times$ bandbredd är konstant

Dagens gåta

Hur konstruerar man förstärkare med prestanda utanför förstärknings-bandbredds-linjen?

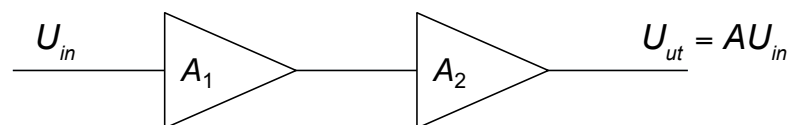


Två misslyckade försök



...bättre svar om en stund...

2. Kaskadkoppling



$$A = A_1 \cdot A_2$$

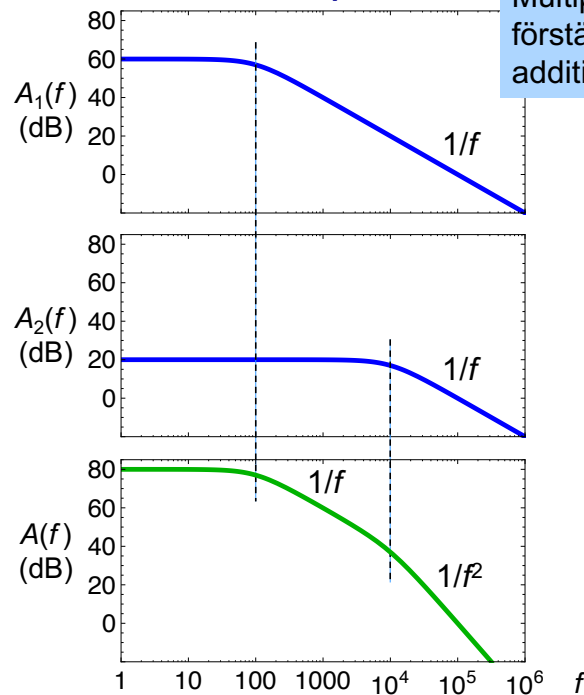
eller om förstärkningarna är frekvensberoende

$$A(f) = A_1(f) \cdot A_2(f)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow 20 \log A(f) &= 20 \log A_1(f) A_2(f) \\ &= \underbrace{20 \log A_1(f)}_{\text{dB}} + \underbrace{20 \log A_2(f)}_{\text{dB}} \end{aligned}$$

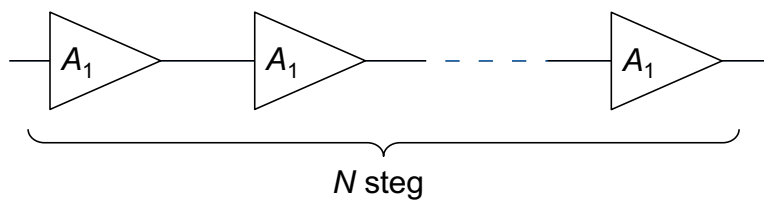
Multiplikation av förstärkning
motsvarar addition i dB-skala

Exempel



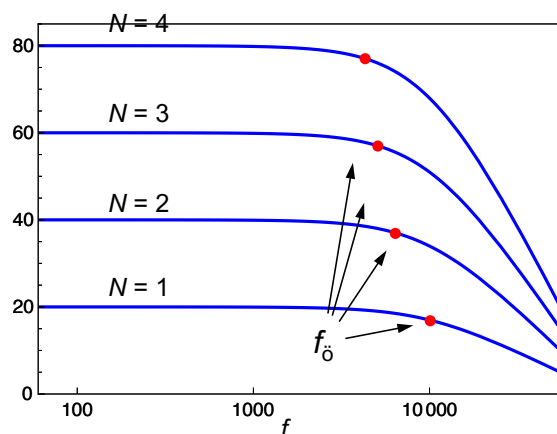
Multiplikation av förstärkning motsvarar addition i dB-skala

Kaskadkopplade lika steg



$$A(f) = A_1(f)^N$$

$$\Rightarrow \underbrace{20 \log A(f)}_{\text{dB}} = N \cdot \underbrace{20 \log A_1(f)}_{\text{dB}}$$



När flera steg kaskadkopplas, så...

- ökar förstärkningen (mycket), $A = A_1^N$
- minskar bandbredden (måttligt)

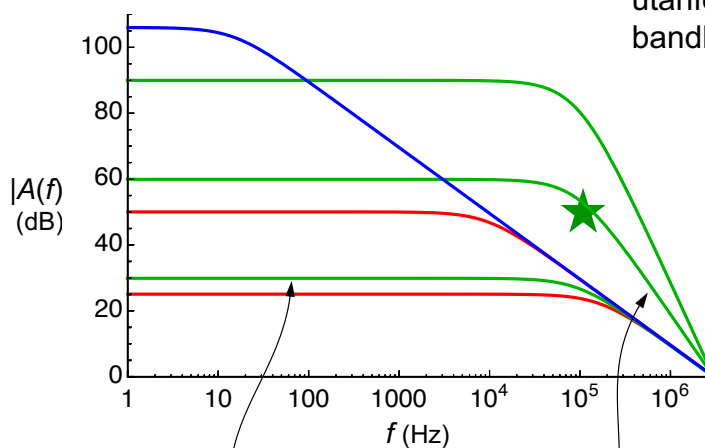
Specialfall: När första ordningens steg kaskadkopplas, så minskar bandbredden som

$$f_o = f_{o1} \sqrt{2^{1/N} - 1}$$

Produkten förstärkning $\times$ bandbredd är **inte** konstant för kaskadkopplade steg

Svar på gåtan (bild 9)

Fråga: Hur konstruerar man förstärkare med prestanda utanför förstärknings-bandbredds-linjen?

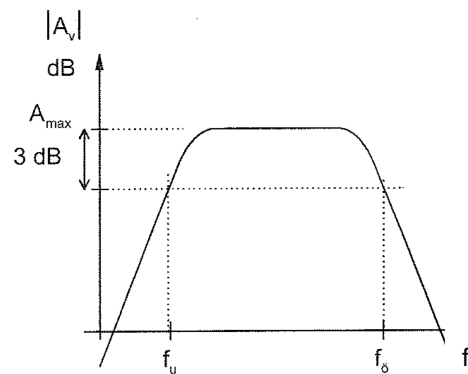


Svar:

1. Börja med ett förstärkarsteg med högre bandbredd än den önskade
2. Kaskadkoppla flera sådana steg tills förstärkningen är tillräcklig

Kaskadkoppling med filtrering

En förstärkare bör förstärka signaler **inom** ett önskat frekvensintervall och dämpa signaler **utanför**



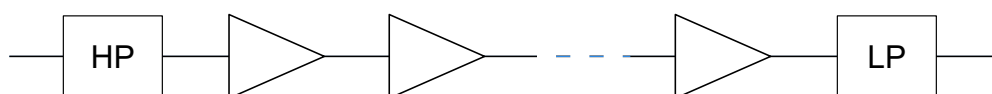
⇒ Praktiska förstärkare kombinerar ofta:

- kaskadkoppling (ger tillräcklig förstärkning)
- HP-länk (ger f_u)
- LP-länk (ger f_o)

I vilken ordning placeras stegen?

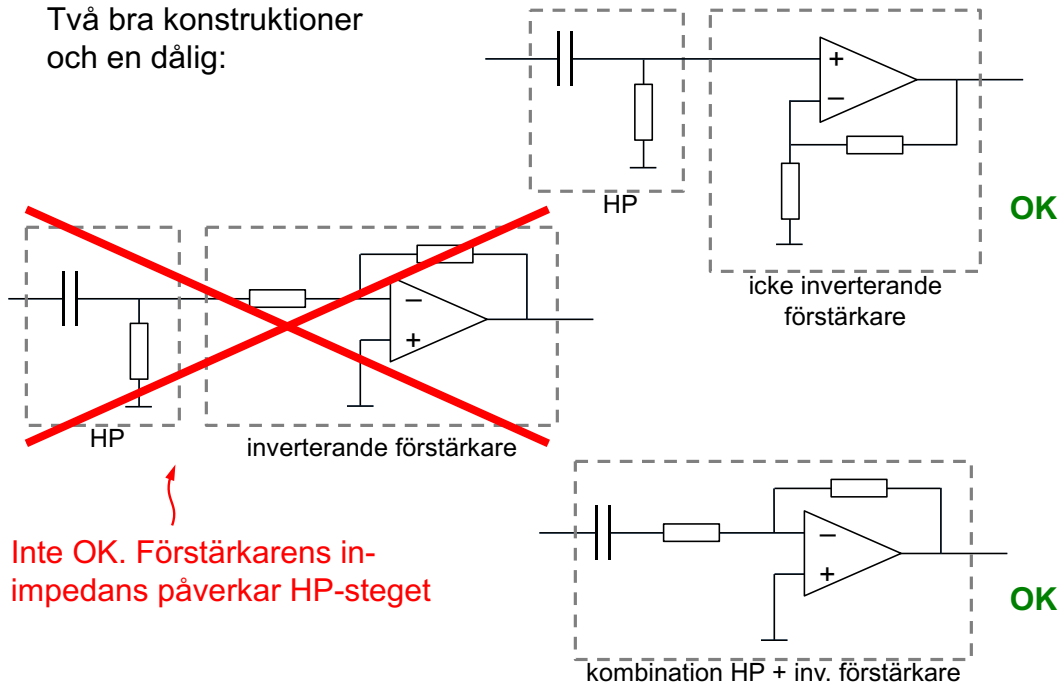
Man brukar lägga HP-steget först, för att slippa DC-nivåer.

Man brukar lägga LP-steget sist, för att reducera eventuella störningar från förstärkarkedjan.



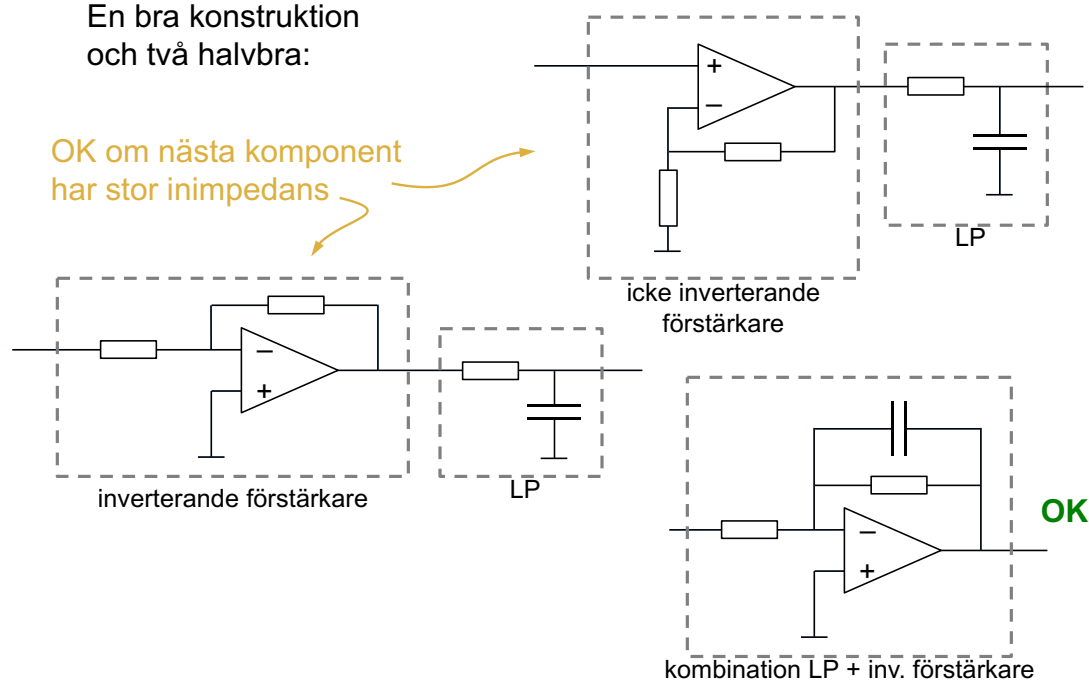
HP-steget

Två bra konstruktioner
och en dålig:



LP-steget

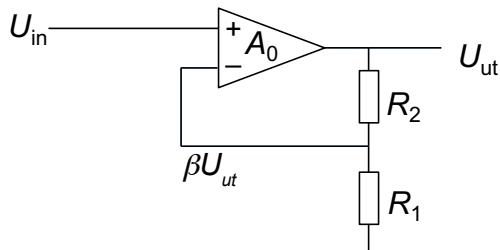
En bra konstruktion
och två halvbra:



3. Stabilitet

Ett motkopplat system är instabilt om $|\beta A_0(f)| > 1$ (d.v.s. 0 dB) vid den frekvens där $\arg \beta A_0(f) = -180^\circ$

Exempel:

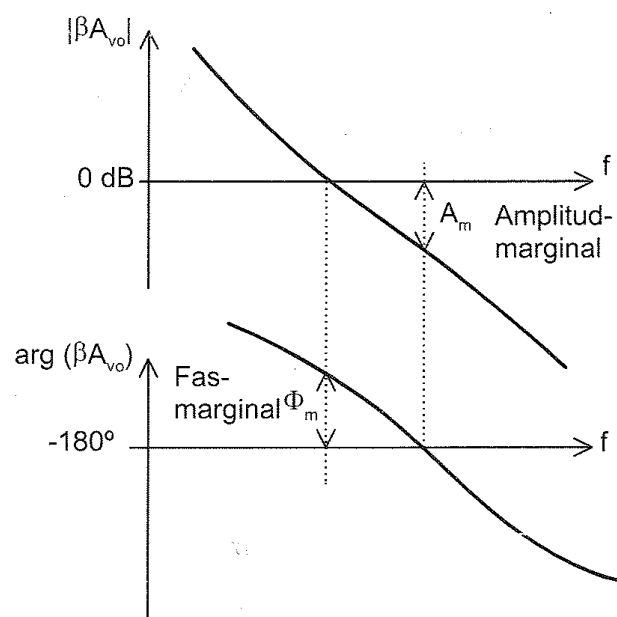


Motkopplingsfaktor $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$



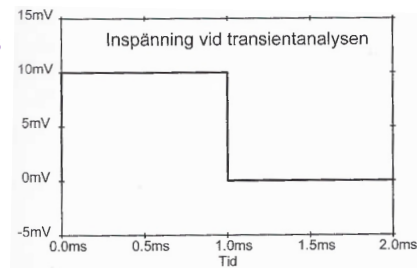
- **Amplitudmarginal** är skillnaden mellan $|\beta A_0(f)|$ i dB och 0 dB vid den frekvens där $\arg \beta A_0(f) = -180^\circ$
- **Fasmarginal** är skillnaden mellan $\arg \beta A_0(f)$ och -180° vid den frekvens där $|\beta A_0(f)| = 0$ dB

Amplitud- och fasmarginal



Exempel: utsignaler vid olika motkoppling

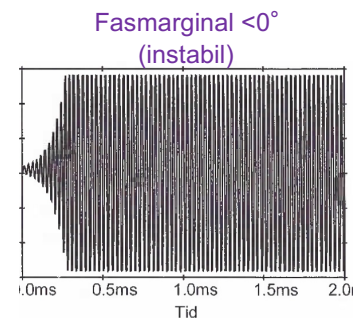
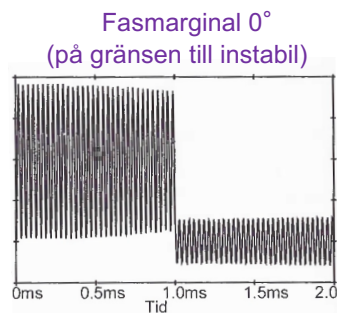
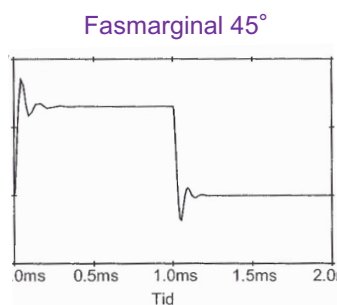
Förstärkarens
insignal:



Tumregler: Sikta på

- minst 6 dB **amplitudmarginal**
- minst 45° **fasmarginal**

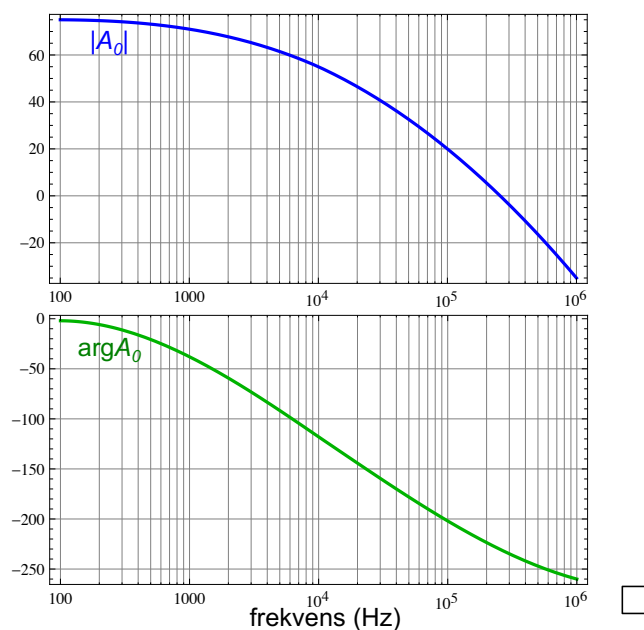
Utsignaler vid olika motkoppling:



Exempel

Kurvorna visar råförstärkningen (belopp och fas) för en förstärkare.

- Vid vilket värde på motkopplingsfaktorn β kommer förstärkaren att självsvänga?
- Bestäm amplitud- och fasmarginal om förstärkaren motkopplas med ett resistivt nät som ger spänningsdelning 1/100
- Vilket är det högsta värdet på β som kan användas om fasmarginalen skall vara åtminstone 45°?



[Molin s 146, modifierad]

Svar: (a) $\beta > -32$ dB, (b) 8 dB resp. 20°, (c) $\beta = 50$ dB

4. Gästföreläsning

Har det vi lär oss i den här kursen något med verkligheten att göra?

Svar i nästa vecka...

Radiolänk: Design och arbetsflöde
av Henrik Boklund och Magnus Wisell

Gästföreläsning i Elektriska system
tisdag 17 okt kl 8:15 i J243



Gästföreläsarna är radiodesigner på Ericsson Lindholmen. De kommer att berätta om hur ingenjörer jobbar på Ericsson för att utveckla nya system för trådlös kommunikation. Föredraget behandlar principerna för radiokommunikationen i moderna mobiltelefonisystem. Utvecklingsprocessen beskrivs också, från kravspecifikation via design och simulering till felsökning och verifiering.

Läs & lös

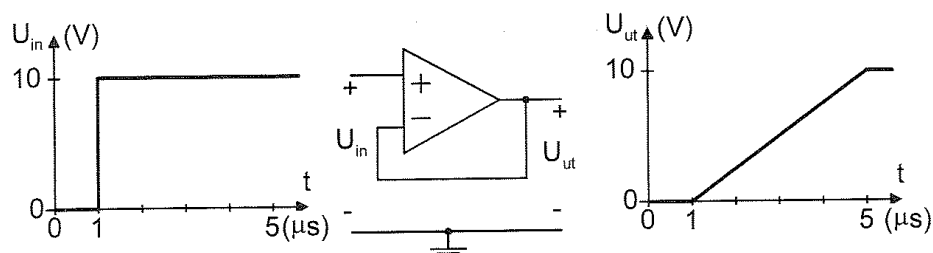
Läs:

- Molin s 71–75 (icke ideal op)
- Molin s 130–137 (motkoppling)
- Molin s 141–147 (stabilitet)

Lös:

- Uppgift (c) på bild 24
- Molin uppgift 3.5, 3.6, 6.4
- Inlämningsuppgift 4

- 3.5 En spänningsföljare matas med en stegspänning. Utspänning enligt figuren nedan erhålls. Hur stor är förstärkarens slew rate?



- 3.6 En operationsförstärkare 741 som är internt kompenserad har följande data:

Råförstärkning	200 000 ggr
Övre gränshfrekvens	5 Hz
CMRR	90 dB
Slew rate	0,5 V/ μs

Man önskar konstruera en förstärkare med 100 gångers förstärkning som skall kunna förstärka en sinusspänning med 100 mV toppvärde på förstärkarens ingång.

- Vilken högsta frekvens kan användas utan att utspänningen förvrängs på grund av slewrate?
- Vilken övre gränshfrekvens får förstärkaren om operationsförstärkarens frekvenskaraktistik beaktas?
- Är det slew rate eller operationsförstärkarens frekvenskurva som begränsar maximalt användbar frekvens i detta fall?

6.4 En förstärkare med råförstärkningen

$$A_{vo} = 1000 \cdot \frac{1}{1 + j\frac{f}{100}} \cdot \frac{1}{1 + j\frac{f}{1000}}$$

spänning-spänning-motkopplas.

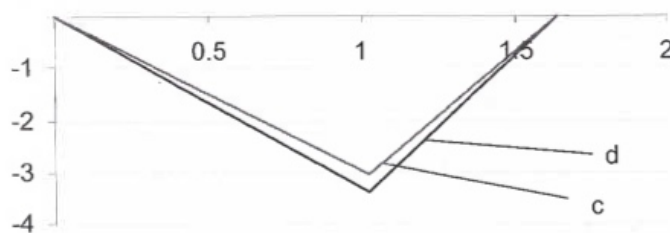
Vilken är den största resistiva motkoppling β och största resulterande förstärkning vid låga frekvenser som kan användas om fasmarginen större än 45 grader önskas.

- Uppskatta $\beta_{\max}$ approximativt med Bodediagram.
- Beräkna $\beta_{\max}$ exakt genom att beräkna fas och belopp för uttrycket A_{vo} .

Svar på vissa uppgifter som rekommenderats på föreläsningar

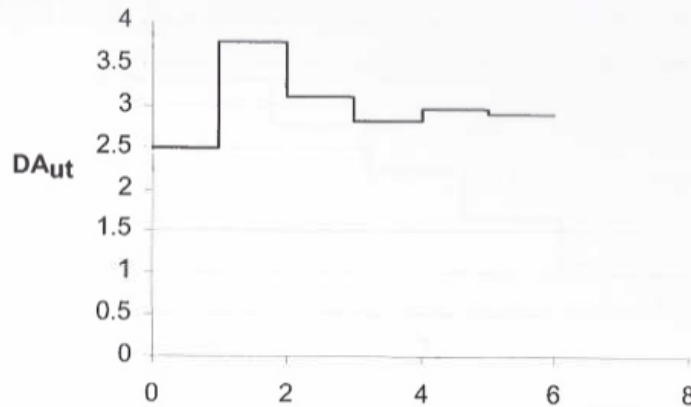
Bengtsson:

4.10a 0- 5 V 4.10b 1,6384 ms 4.10c&d se figur nedan (notera att resultatet blir detsamma i båda fallen).



4.11a Sex jämförelser 4.11c 100100_2 respektive $0,0275 \text{ V}$

4.11b



4.13c $\Delta_1 = 2,5 \text{ V}$, $\Delta_2 = 1,25 \text{ V}$, $\Delta_3 = 0,625 \text{ V}$, $\Delta_4 = 0,3125 \text{ V}$

4.16a 15 stycken b $0,3125 \text{ V}$, fyra bitar c 1110_2 d $3,594 - 3,9062 \text{ V}$

Molin:

3.5: $2.5 \mu\text{s}$

3.6: (a) 8.0 kHz . (b) 10 kHz . (c) Slew rate begränsar.

6.4: (a) $\beta_{\max} \approx 0.01$, förstärkning 100 (20 dB). (b) $\beta_{\max} = 0.018$, förstärkning 18 (25 dB).

8.2: (a) 1.4 V . (b) 0.10 mA .

9.2 (om $\lambda=0$): (a) $15 \text{ k}\Omega$. (b) $\pm 150 \text{ mV}$.