

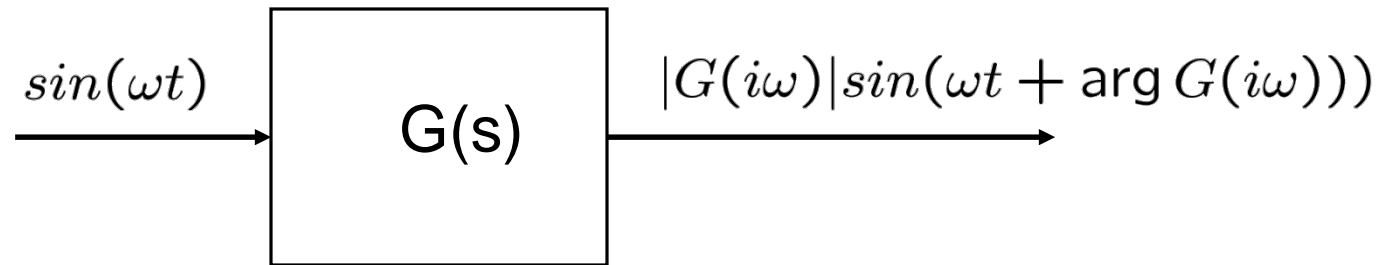
Välkomna till TSRT19

Reglerteknik

Föreläsning 6

- Sammanfattning av föreläsning 5
- Lite mer om Bodediagram
- Stabilitetsanalys m.h.a Bodediagram

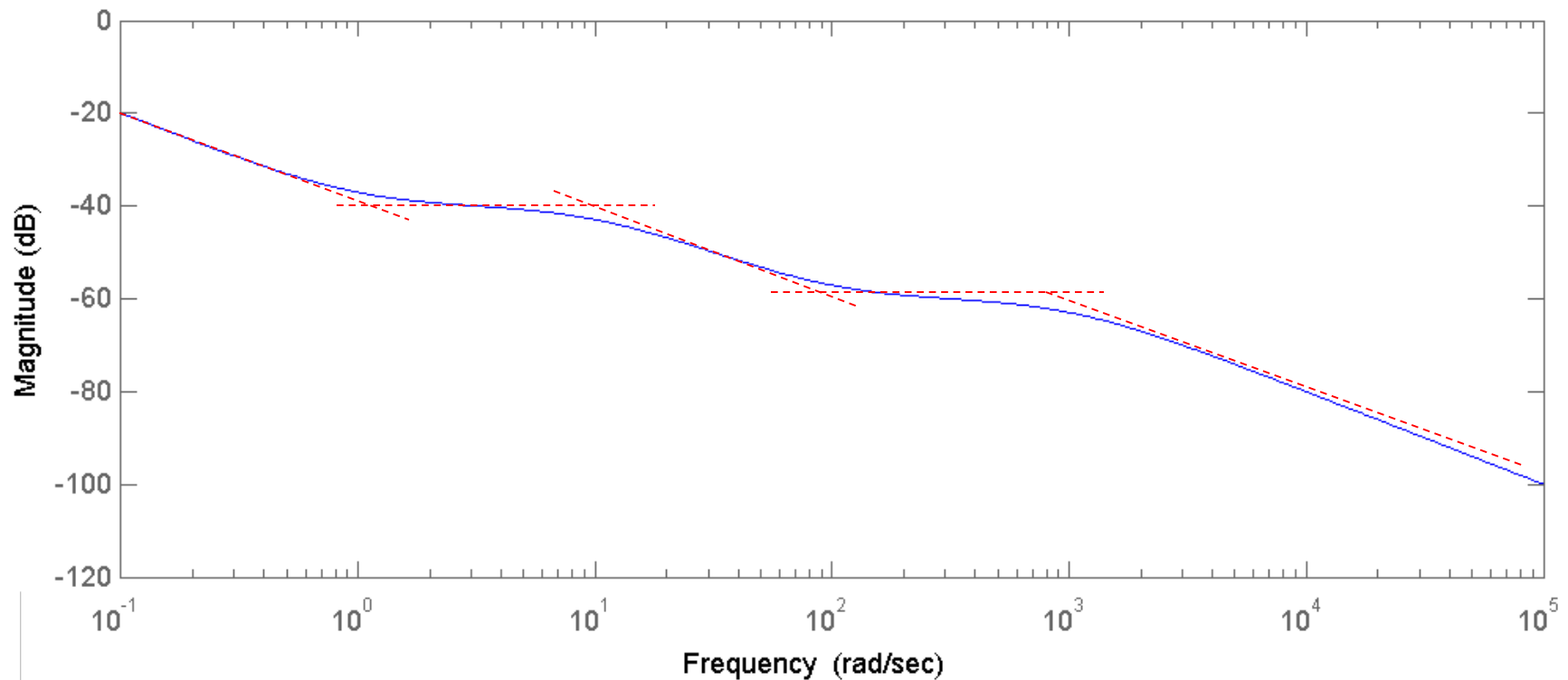
Sammanfattning av förra föreläsningen



”**Sinus in** (i stabilt system) ger **sinus ut** (asymptotiskt)”

Sammanfattning av förra föreläsningen

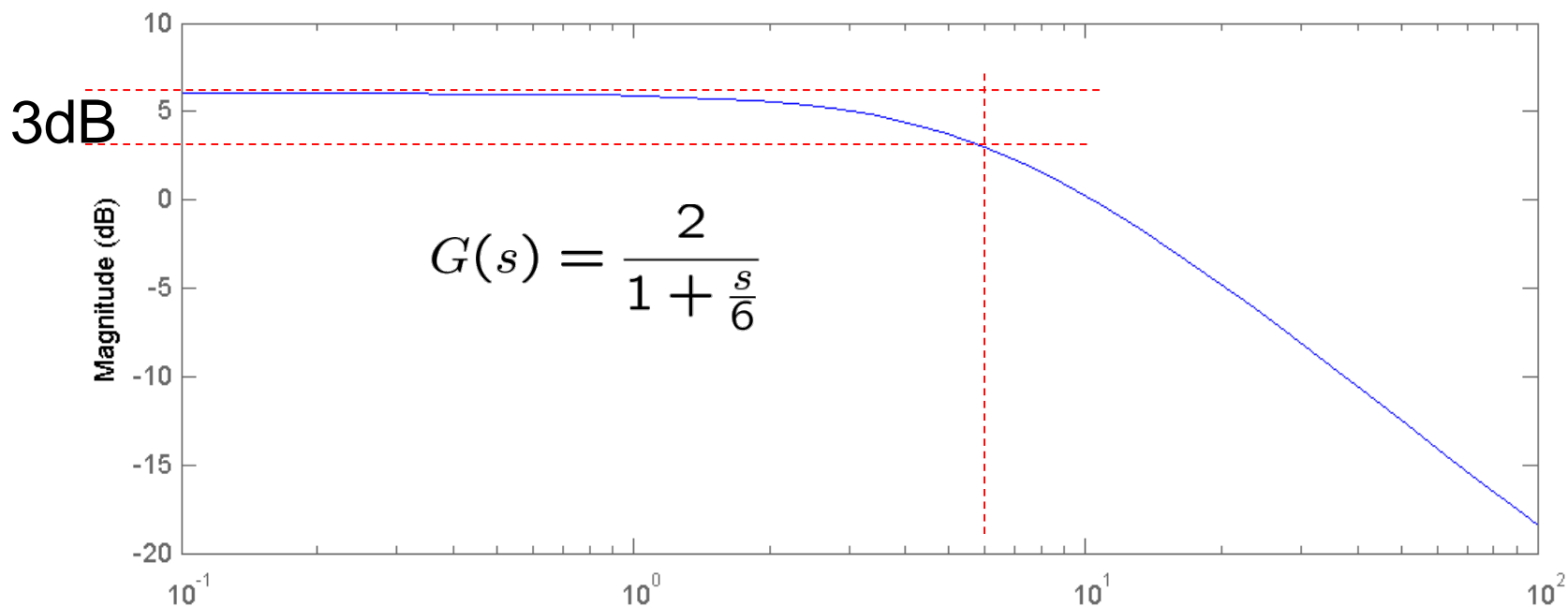
$$G(s) = 0.01 \frac{(1 + \frac{s}{1})(1 + \frac{s}{100})}{s(1 + \frac{s}{10})(1 + \frac{s}{1000})}$$



Lite mer om Bodediagram

$G(0)$ kallas statisk förstärkning.

Frekvensen där förstärkningen faller under $\frac{|G(0)|}{\sqrt{2}}$ kallas bandbredd (motsvarar förlust av 3dB)



Lite mer om Bodediagram

Notera kopplingarna

Statisk förstärkning är den förstärkning som fås för en oändligt långsam sinussignal, men även den förstärkning som får för ett steg.

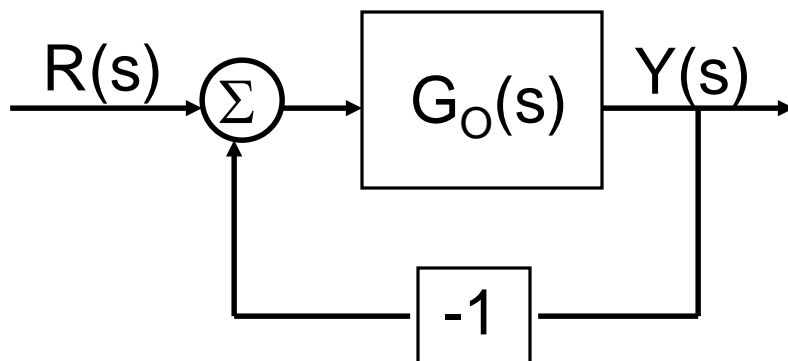
$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) \frac{1}{s} = G(0)$$

Bandbredden kan ofta approximeras med hjälp av den dominerande polen.

$$G(s) \approx \frac{K}{1 + \frac{s}{a}} \Rightarrow |G(ia)| = \frac{|K|}{\sqrt{2}} = \frac{|G(0)|}{\sqrt{2}}$$

Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

Konceptuellt så ser alla återkopplingar ut så här



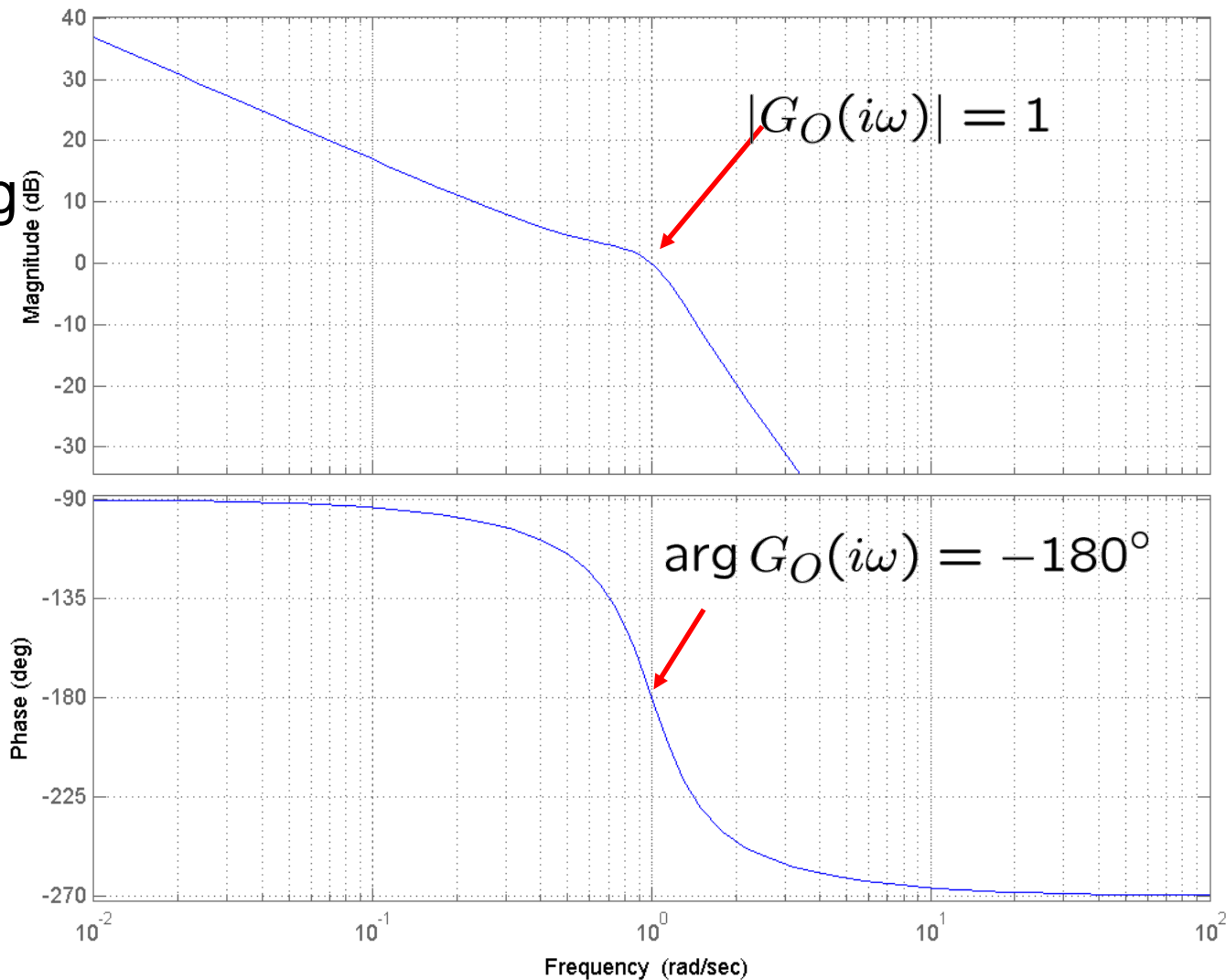
Kretsförstärkningen $G_O(s)$ ges ofta av $F(s)G(s)$

Fråga: Om vi känner Bodediagrammet för öppna systemet, dvs kretsförstärkningen $G_O(s)$ (antaget stabilt), vad kan vi då säga om det slutna systemet?

Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

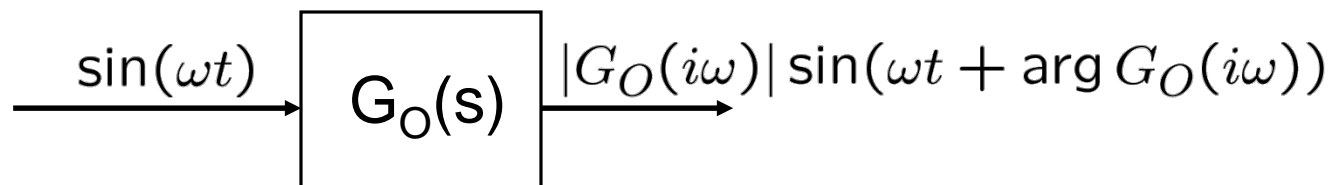
Givet ett
Bodediagram för
en kretsförstärkning

Vad händer om vi
sluter loopen?



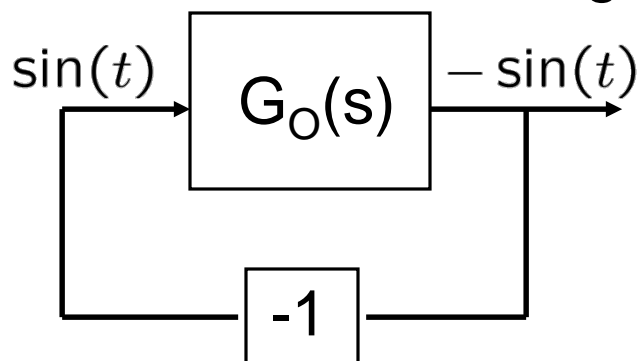
Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

Vi tänker oss att vi först startar upp öppna systemet med en sinussignal. Efter insvängningsförlopp får vi



Om vi använder frekvensen 1 rad/s får vi utsignalen $-\sin(t)$

Vi kopplar snabbt nu bort den externa signalen och kopplar in återkopplingen



Inget händer! Signalen $\sin(t)$ ligger fortfarande på ingången

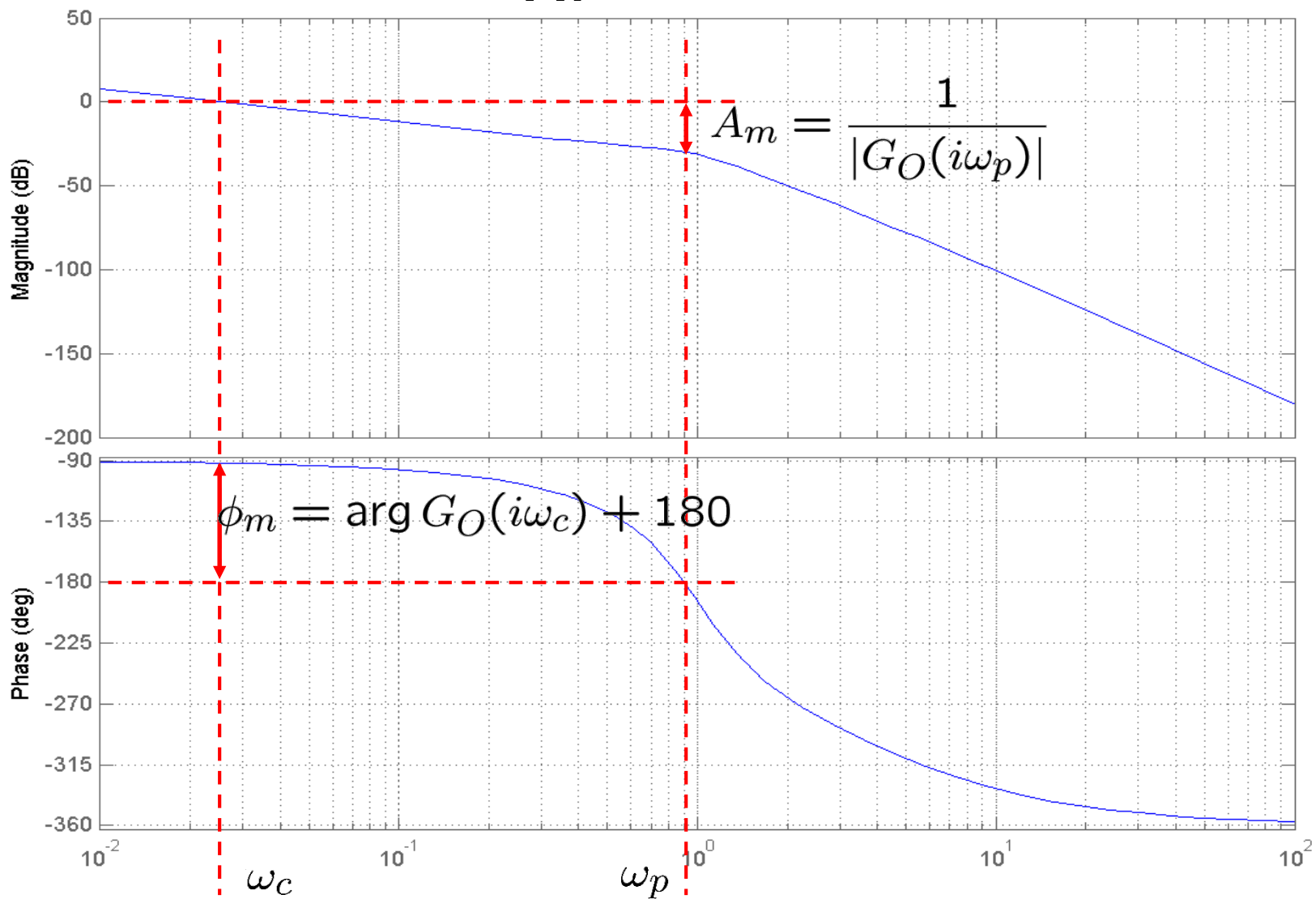
Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

Fallet att **fasen är -180° och förstärkningen 1** ger att vi ligger precis på **stabilitetsmarginalen**. Signalamplituden varken förstärks eller försvagas när den går runt i loopen

Om **fasen är -180° och förstärkningen >1** så skulle signalamplituden växa när den går runt, dvs det skulle tyda på **instabilitet** för det återkopplade systemet

Om **fasen är -180° och förstärkningen <1** så skulle signalamplituden minska när den går runt, dvs det skulle tyda på **stabilitet** för det återkopplade systemet

Kretsförstärkning, Bode och stabilitet



Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

ω_c : **Skärfrekvens**. Frekvens där amplitudförstärkningen är 1.

ω_p : **Fasskärfrekvens**. Frekvens där fasen skär -180° .

A_m : **Amplitudmarginal**. 1 dividerat med amplitudförstärkning i fasskärfrekvensen. Anger hur mycket förstärkningen på kretsförstärkningen kan ökas innan förstärkningen blir 1 i fasskärfrekvensen

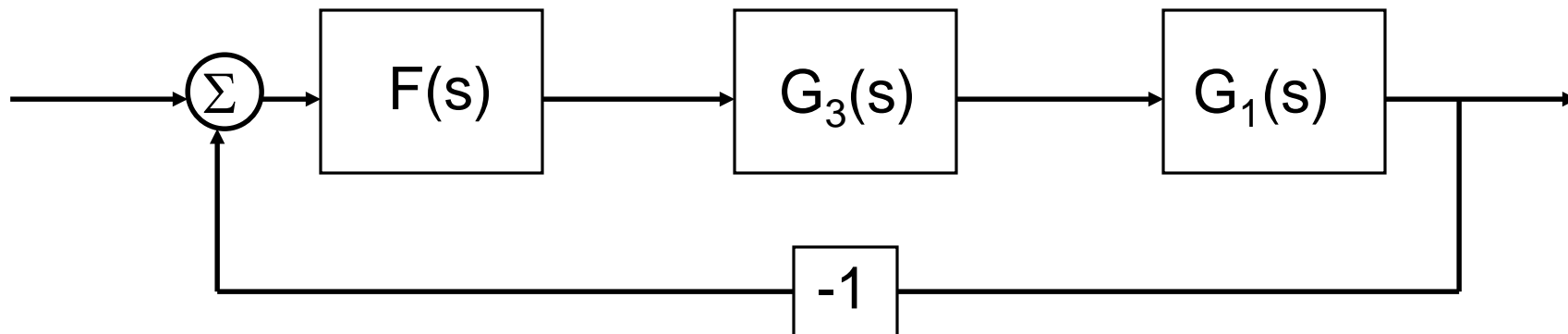
ϕ_m : **Fasmarginal**. Fasens avståndet till -180° grader i skärfrekvensen. Anger hur mycket fasen på kretsförstärkningen kan minskas innan fasen blir -180° i skärfrekvensen

För stabilitet krävs $\phi_m > 0$ och $A_m > 1$

(Nästan sant. Våra argument här är inte fullt matematiskt underbyggda, men dessa krav är tillräckliga för oss)

Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

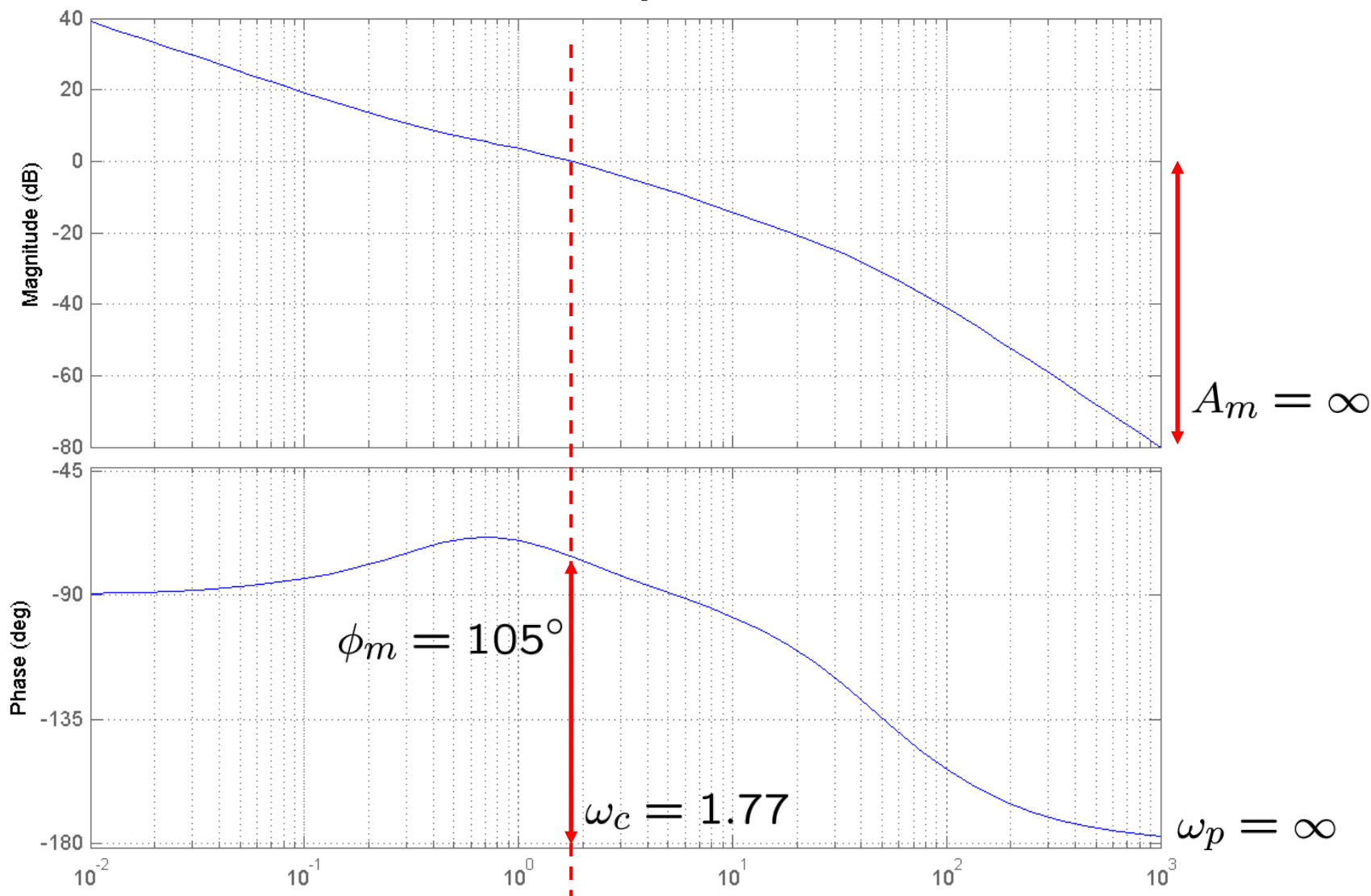
Tillbaka till värmesystemet



Vi studerar Bodediagrammet för kretsförstärkningen
 $G_O(s) = F(s)G_3(s)G_1(s)$

Vi antar $\alpha_1=1$, $\alpha_2=0.1$ och $\alpha_3=50$, samt använder en
PI-regulator med $K_p=2$ och $K_I=1$

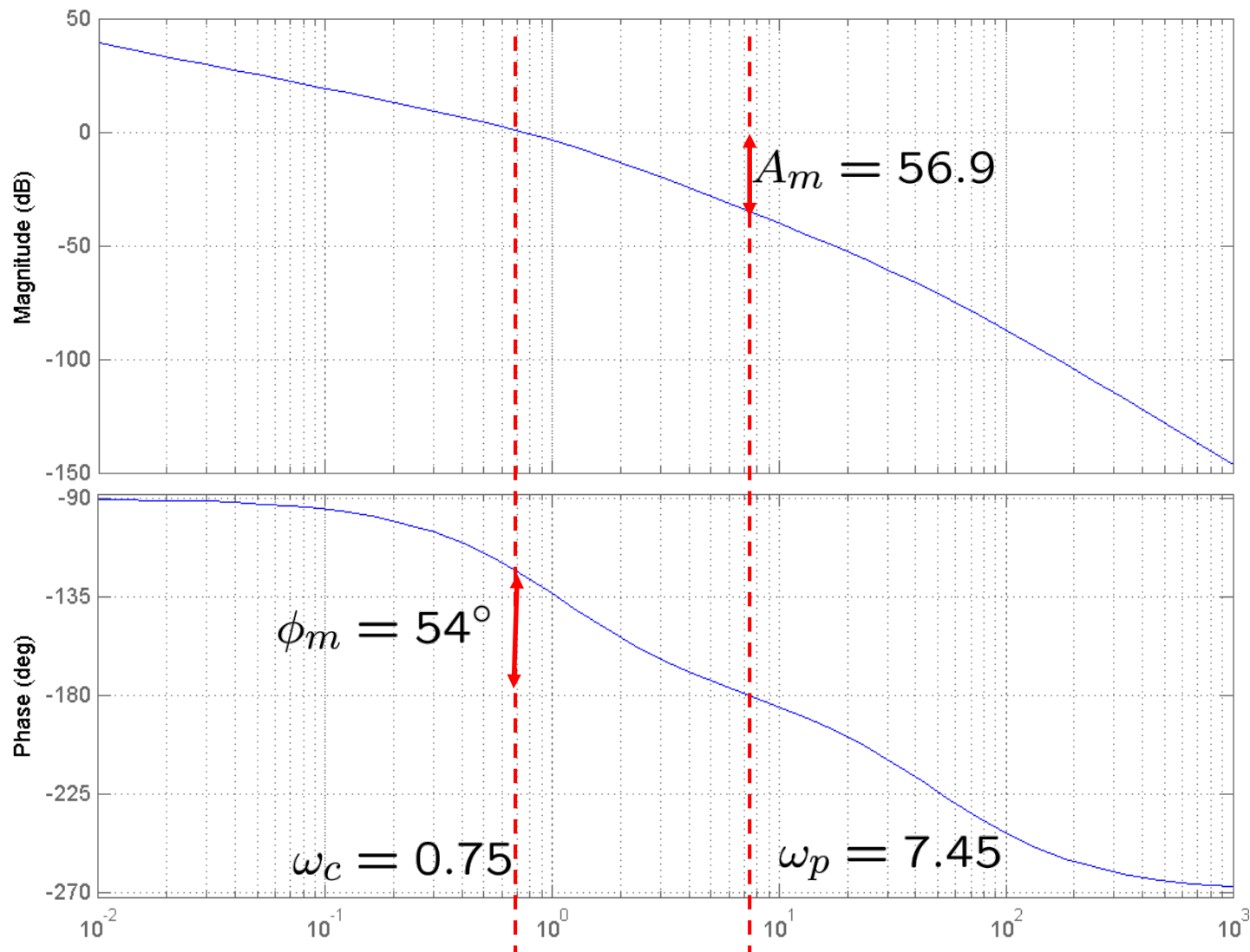
Kretsförstärkning, Bode och stabilitet



Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

Vi testar en I-regulator med $K_I=1$

Kretsförstärkning, Bode och stabilitet



Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

Vi testar en I-regulator med $K_I=56.9$

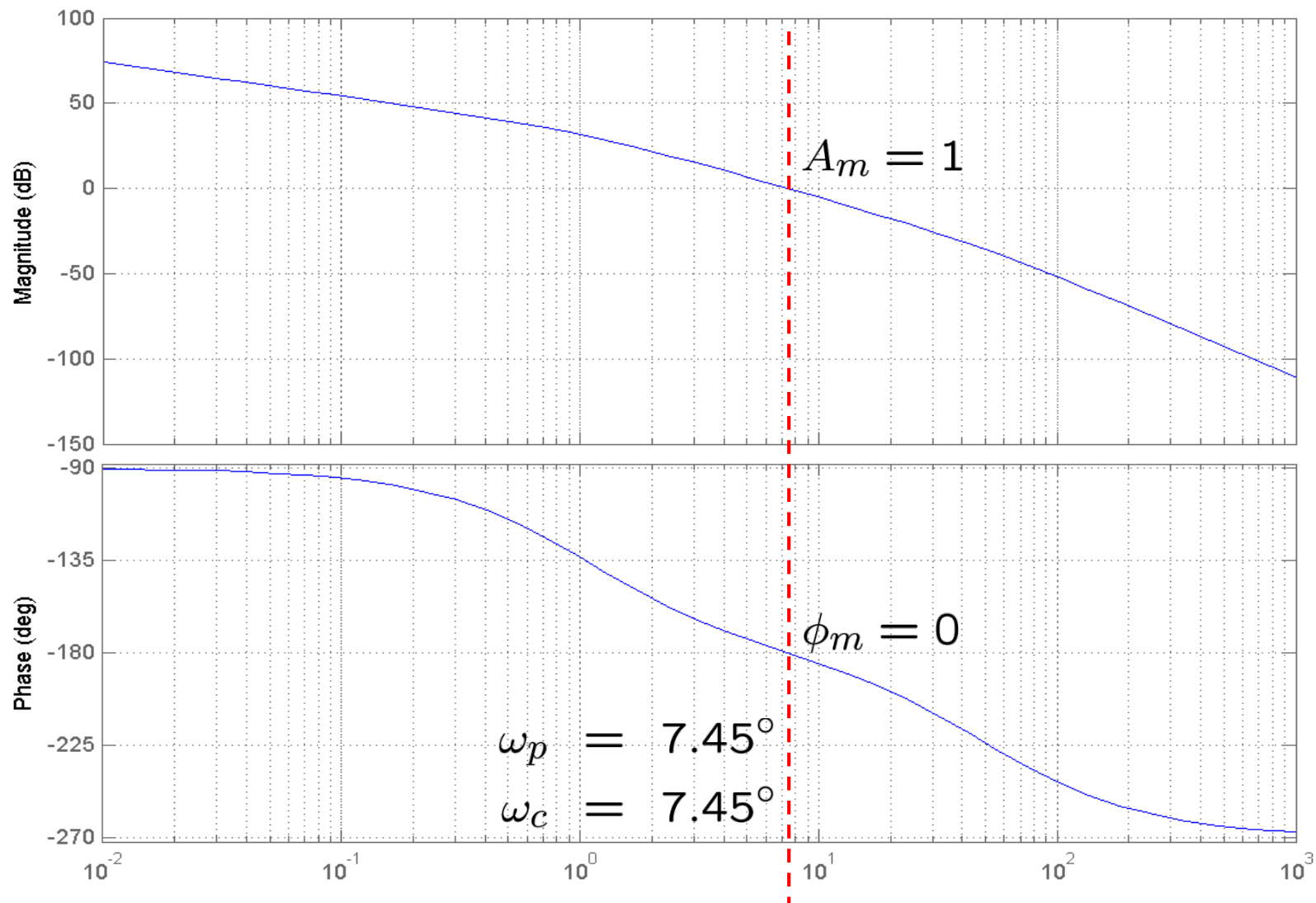
Det enda som händer jämfört med föregående Bodediagram är att amplitudkurvan lyfts upp

Amplitudförstärkningen borde bli 1 i fasskärfrekvensen

Amplitudmarginalen begränsar hur mycket man kan öka förstärkningen i kretsförstärkningen utan att få instabilitet

Fasmarginalen begränsar hur mycket man kan minska fasen i kretsförstärkningen utan att få instabilitet

Kretsförstärkning, Bode och stabilitet



Kretsförstärkning, Bode och stabilitet

Man kan visa att slutna systemets dynamik också har kopplingar till kretsförstärkningens Bodediagram

Bandbredden ω_b för det slutna systemet är proportionell mot skärfrekvensen ω_c

Resonanstoppet M_p i slutna systemet beror på fasmarginalen

$$M_p \geq \frac{1}{2 \sin(\phi_m/2)}$$

Med andra ord, **en liten fasmarginal ger stora oscillationer**

Sammanfattning

Sammanfattning av dagens föreläsning

- Mätbara störningar kan motverkas genom att man lägger till en framkopplingsterm i regulatorn
- Kretsförstärkningen är en viktig komponent för stabilitet och dynamiskt beteende oavsett hur avancerad reglerstrukturen är
- Slutna systemets dynamik kan härledas ur Bodediagram för kretsförstärkningen

Sammanfattning

Viktiga begrepp

Framkoppling: Addering av styr signaler som beräknas från mätbara störningar

Fasmarginal: Ett mått på fasen i ett Bodediagram av krets förstärkningen som säger hur långt från instabilitet vi är i det återkopplade systemet

Amplitudmarginal: Ett mått på amplitud förstärkningen i ett Bodediagram av krets förstärkningen som säger hur långt från instabilitet vi är i det återkopplade systemet