



EL1000/1120/1110 Reglerteknik AK

Föreläsning 5:
Stabilitetsmarginaler och kompensering

Kursinfo: Komplexa tal

Repetitionsblad om komplexa tal (beräkning av argument, belopp, etc.) på hemsidan

<https://www.kth.se/social/upload/50a0cbc8f2765471da0fc5d6/komplexatal.pdf>

Komplexa tal

Allmänt

Det komplexa talet z kan skrivas antingen på rektangulär eller polär form.

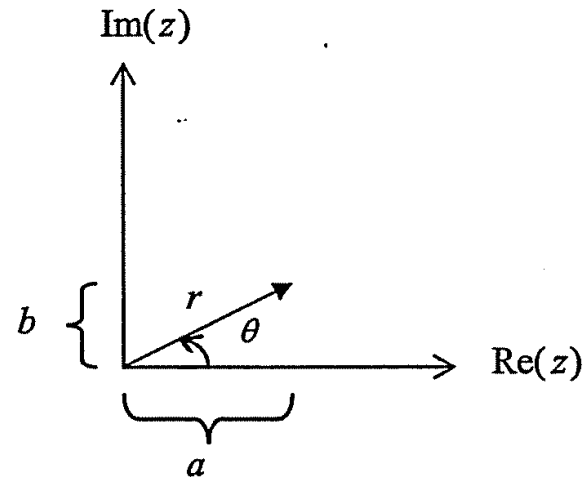
$$z = \underbrace{a + ib}_{\text{rekt. form}} = \underbrace{re^{i\theta}}_{\text{polär form}}$$

a : realdel

b : imaginärdel. För den imaginära enheten gäller $i^2 = -1$.

$r = |z|$ (belopp)

$\theta = \arg(z)$ är en vinkel (argument eller fas)



Samband mellan rektangulär och polär form:

$$r = |z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\tan \theta = \frac{b}{a}, \quad \theta = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) + n\pi \quad (\text{där } n \text{ kompenserar för antal halva varv}).$$

Kursinfo: Lab 3

- Anmälningssystemet aktiveras under dagen
- Denna gång använder vi **KTH Bilda** (alltså inte samma anmälningssystem som till Lab 1-2)
- Får du ingen anmodan om att anmäla dig via mail? Då är du inte kursanmäld! Kontakta Hanna (hanna.holmqvist@ee.kth.se)
- **Denna lab ska redovisas i par! Se till så du anmäler dig till samma tillfälle som din labpartner.**
- Ingen partner för Lab 3? Använd kurshemsidan på KTH Social för att hitta partner!



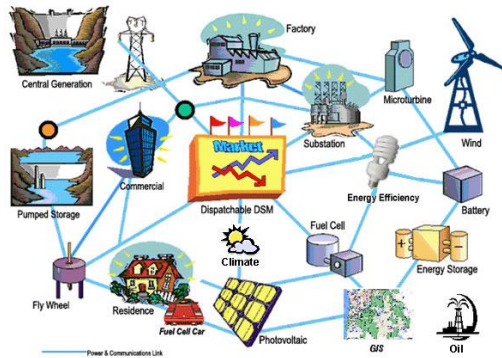
SURF-student på Caltech?



Summer Undergraduate Research Fellowships

- ✓ Vill du prova på att forska?
- ✓ Är du intresserad av reglerteknik?
- ✓ Är du ambitiös och initiativrik?
- ✓ Har du inget inplanerat nästa sommar?
- ✓ Är du nyfiken på Kalifornien?

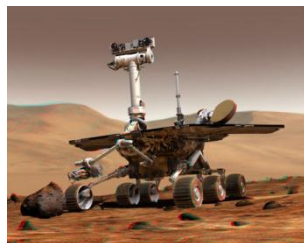
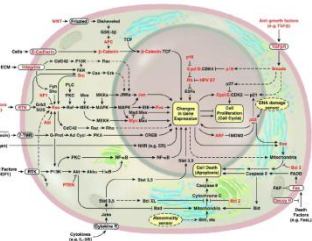
Smarta elnät



Vi på avdelningen för reglerteknik vid skolan för elektro- och systemteknik har möjlighet att skicka 1-2 teknologer till *California Institute of Technology* (www.caltech.edu) i Pasadena, Kalifornien, under sommaren 2013.

Systembiologi

Autonoma farkoster



Vi söker *teknologer* på KTH som är intresserade av forskning inom regler- och systemteknik, och vill spendera 10 veckor i en forskargrupp av högsta internationella klass. Anmäl intresse senast den **23 november 2012**. Intresserad eller vill veta mer?

Kontakta *Henrik Sandberg* (hsan@kth.se)
www.ee.kth.se/~hsan/surf.html

Exempel på SURF-projekt

File Fragmentation over an Unreliable Channel

Martin Andreasson
Royal Institute of Technology, Sweden
mandreas@kth.se

Abstract— channel, loss of resending until it is successful and the fragmentation. We examine how to minimize the time for non-decreasing size dependent failure probability by fragmentation. We propose an optimal fragmentation size approach. We analyze the transfer time and the penalty.

Risk-Mitigated Optimal Power Flow with High Wind Penetration

A. Emma Sjödin, Dennice F. Gayme and Ufuk Topcu

Abstract— It poses new challenges due to inherent variability in the operation of the services. We consider a primary energy source that serves from conventional services. The power flow (OPF) of spinning reserves and a chance constraint that compensates OPF with energy optimal control using the topology then extend the function of storage capacity. The results of the case study and suggest a solution.

An Aircraft Electric Power Testbed for Validating Automatically Synthesized Reactive Control Protocols

Robert Rogersten[†], Huan Xu^{*}, Necmiye Ozay^{*}, Ufuk Topcu[‡], and Richard M. Murray^{*}

[†]KTH Royal Inst. of Tech.
rrog@kth.se

^{*}California Inst. of Tech.
{mumu, necmiye, murray}
@cds.caltech.edu

[‡]University of Pennsylvania
utopcu@seas.upenn.edu

ABSTRACT

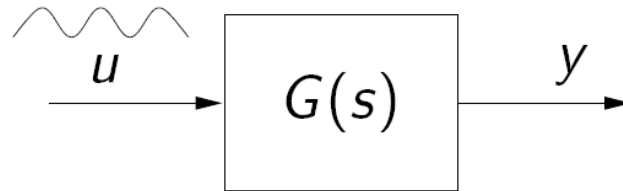
Modern aircraft increasingly rely on electric power for subsystems that have traditionally run on mechanical power. The complexity and safety-criticality of aircraft electric power systems have therefore increased, rendering the design of these systems more challenging. This work is motivated by the potential that correct-by-construction reactive controller synthesis tools may have in increasing the effective

reconfigure the contactors to react to faults and modes of operation, the system uses control logic that can sense system conditions and environmental conditions under which the system operates. The electric power system, therefore, includes voltage and current sensors connected to the control logic. In current practice, the control logic is often designed by hand, resulting in lengthy design and verification cycles. As an alternative approach, [11] and [12] explored the application of correct-by-construction reactive controller

Innehåll

- Frekvenssvar och Bodediagram (repetition)
- Bodediagram för system med komplexa poler
- Stabilitetsmarginaler
 - Amplitudmarginal
 - Fasmarginal
- Specifikation av prestanda i tids- och frekvensplanet
- Regulatorsyntes ("konstruera $F(s)$ ") via kompensering i frekvensplanet

Frekvensbeskrivning



- $u(t) = \sin(\omega t)$ ger, efter insvängning,

$$y(t) = |G(i\omega)| \sin(\omega t + \phi) ; \quad \phi = \arg G(i\omega)$$

- $G(i\omega)$ kallas *frekvenssvaret*
- Grafisk presentation av $G(i\omega)$:
 - I. Amplitud och fas var för sig \Rightarrow *Bodediagram*
 - II. I komplexa talplanet \Rightarrow *Nyquistdiagram*

Bodediagram - Allmänt

$$G(s) = \frac{K(1 + \frac{s}{z_1}) \cdots (1 + \frac{s}{z_m})}{s^p(1 + \frac{s}{p_1}) \cdots (1 + \frac{s}{p_n})}$$

- Amplitudkurva:

$$\log|G| = \log|K| + \frac{1}{2} \log(1 + \frac{\omega^2}{z_1^2}) + \dots - p \log\omega - \frac{1}{2} \log(1 + \frac{\omega^2}{p_1^2}) + \dots$$

- Asymptotiskt:

- små ω : linje med lutning $-p$
- $\omega = z_i$: lutningen ändras $+1$
- $\omega = p_i$: lutningen ändras -1
- stora ω : lutning $m - p - n$

- *Brytpunkter* vid p_i och z_i

Bodediagram - Allmänt

- Faskurva:

$$\arg G(i\omega) = \arg K + \operatorname{atan} \frac{\omega}{z_1} + \dots - p \cdot 90^\circ - \operatorname{atan} \frac{\omega}{p_1} - \dots$$

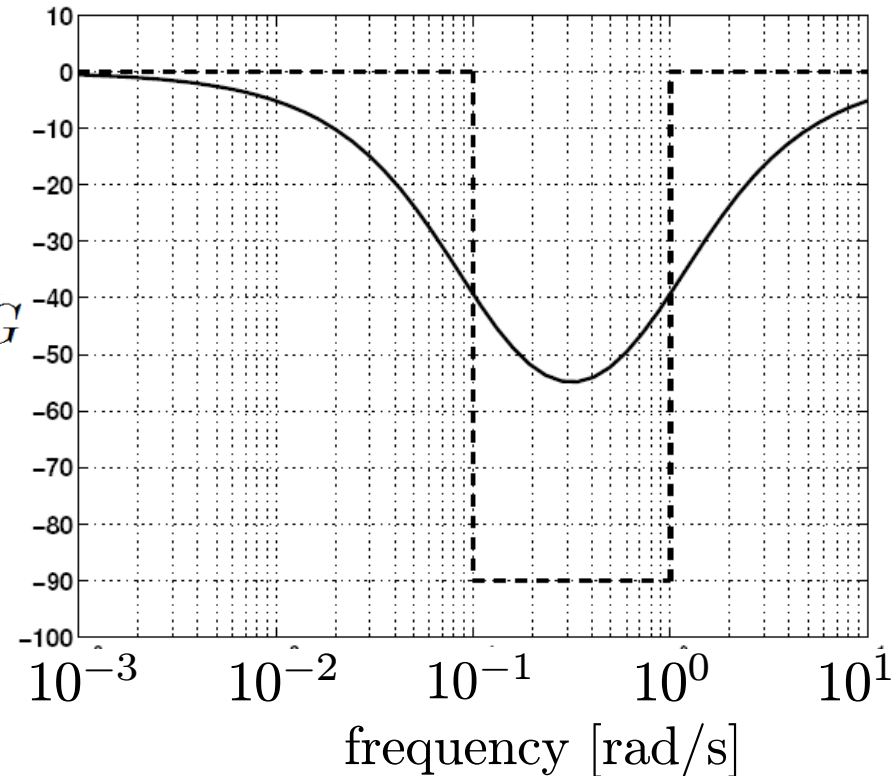
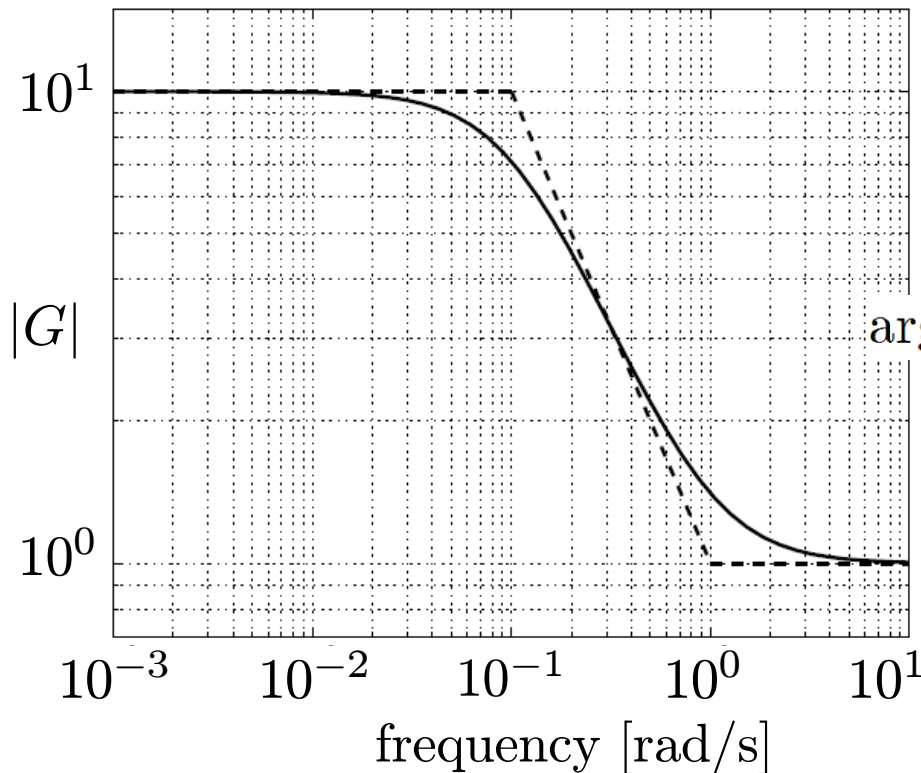
- asymptotiskt:

- små ω : $\arg G = -p \cdot 90^\circ$.
- $\omega = z_i$: fasen ändras med $+90^\circ$.
- $\omega = p_i$: fasen ändras med -90° .
- stora ω : $\arg G = (m - p - n) \cdot 90^\circ$.

Bodediagram, Ex.1+2: $G(s) = 10 \frac{1 + s}{1 + s/0.1}$

Brytpunkter: $p_1 = 0.1$ (bryter ner -1), $z_1=1$ (bryter upp +1)

$$\log |G(i\omega)| = \log \left| 10 \frac{1 + i\omega}{1 + i\omega/0.1} \right| = \log 10 + \frac{1}{2} \log(1 + \omega^2) - \frac{1}{2} \log \left(1 + \frac{\omega^2}{0.1^2} \right)$$



Bodediagram för system med komplexa poler

- System med komplexa poler:

$$G(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2}, \quad \text{poler : } s_{1,2} = -\omega_0 \left(\zeta \pm \sqrt{\zeta^2 - 1} \right)$$

- Frekvenssvaret:

$$G(i\omega) = \frac{1}{\left(\frac{i\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{i\omega}{\omega_0} + 1} = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + i2\zeta\frac{\omega}{\omega_0}}$$

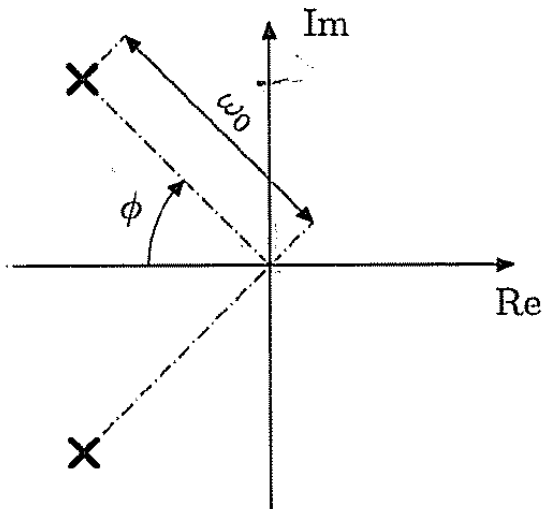
- Amplitud:

$$|G| = 1 / \sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + 4\zeta^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

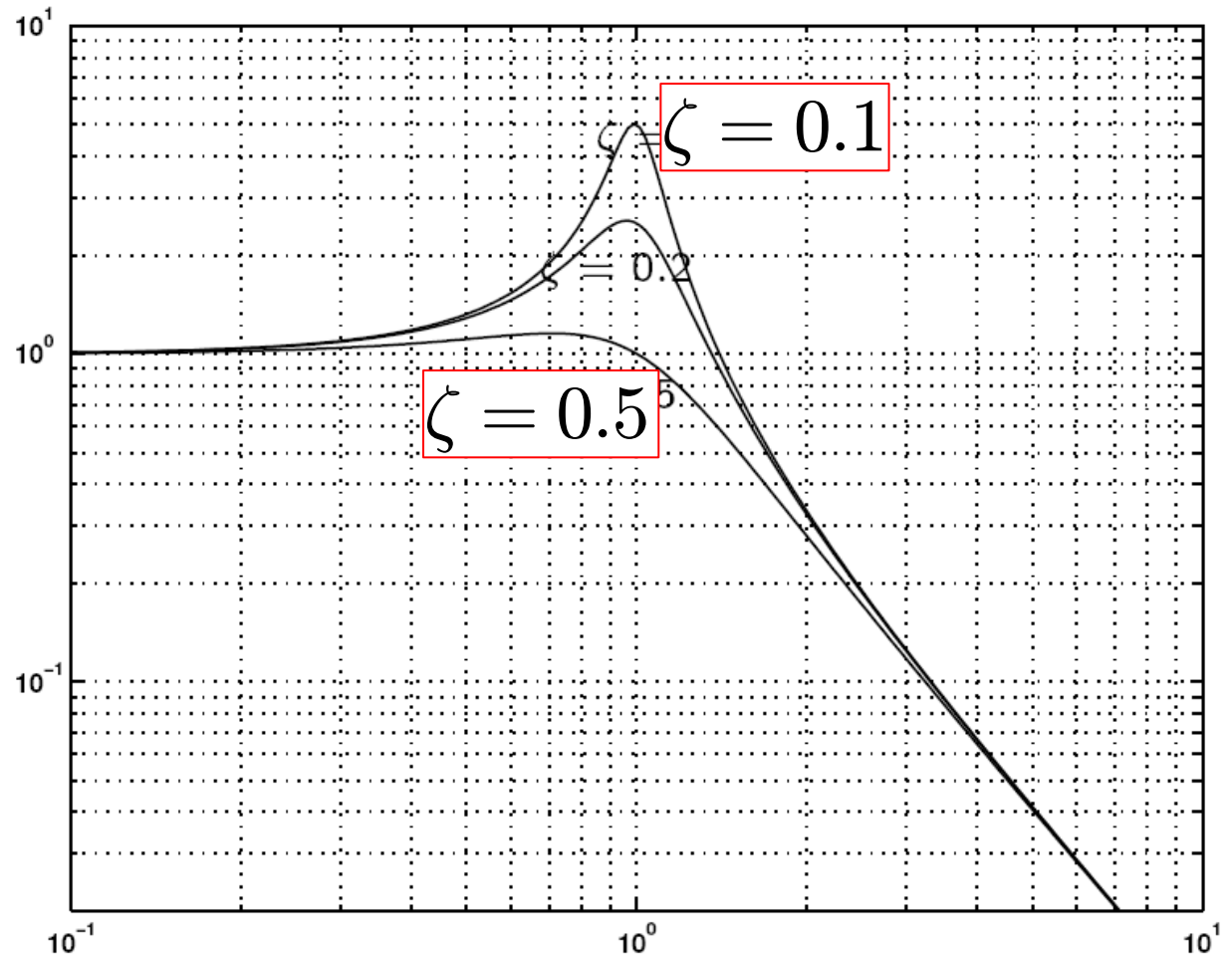
- ★ små ω : $|G| \approx 1$.
- ★ stora ω : $|G| \approx 1/\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2$, dvs. lutning -2.
- ★ $\omega = \omega_0$: $|G| = \frac{1}{2\zeta}$, dvs. resonanstopp då ζ litet!

Bodediagram – Amplitud, komplexa poler

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 2\zeta s + 1} ; \quad (\omega_0 = 1)$$



$\cos \phi = \zeta \in [0, 1]$
(relativ dämpning)

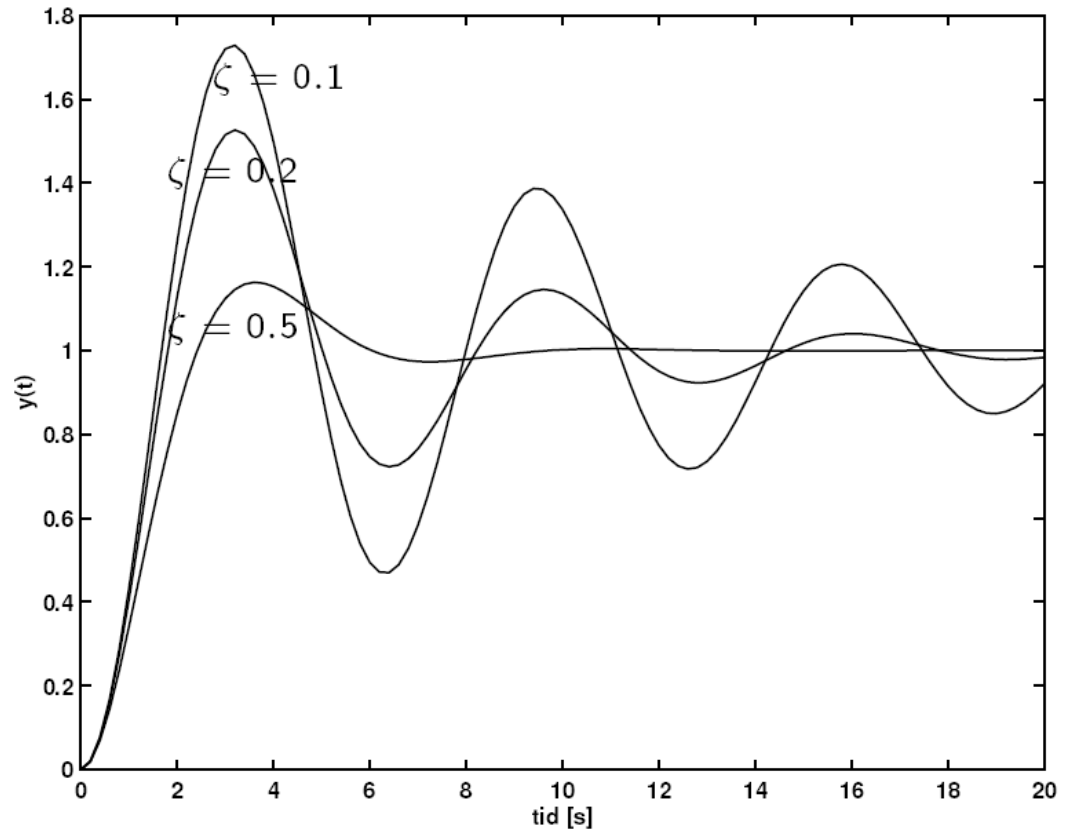


Bodediagram – Amplitud, komplexa poler

Motsvarande stegsvar: $y(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ G(s) \frac{1}{s} \right\}$

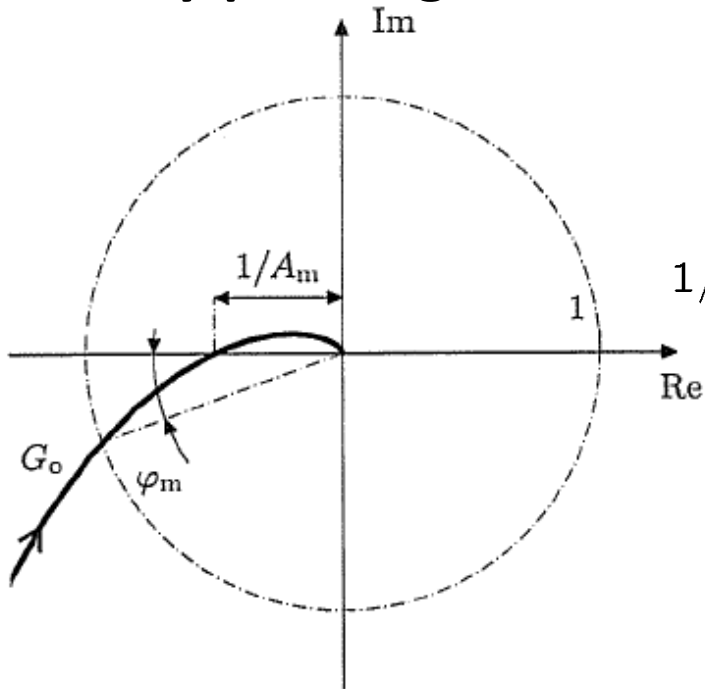
Komplexa poler ger:

- Svängningar i stegsvar
- Resonanstopp i Bodediagram

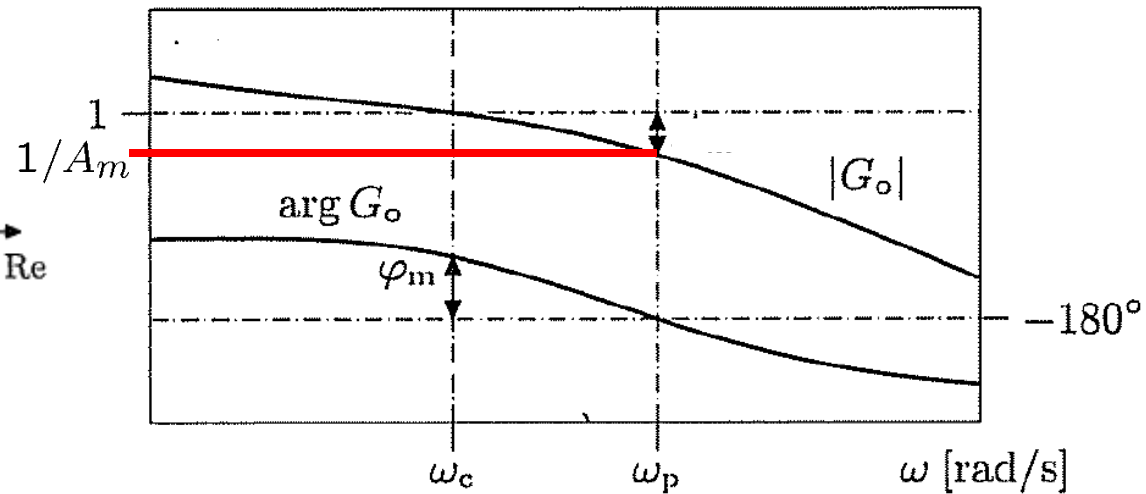


Amplitud- och fasmarginal

Nyquistdiagram



Bodediagram



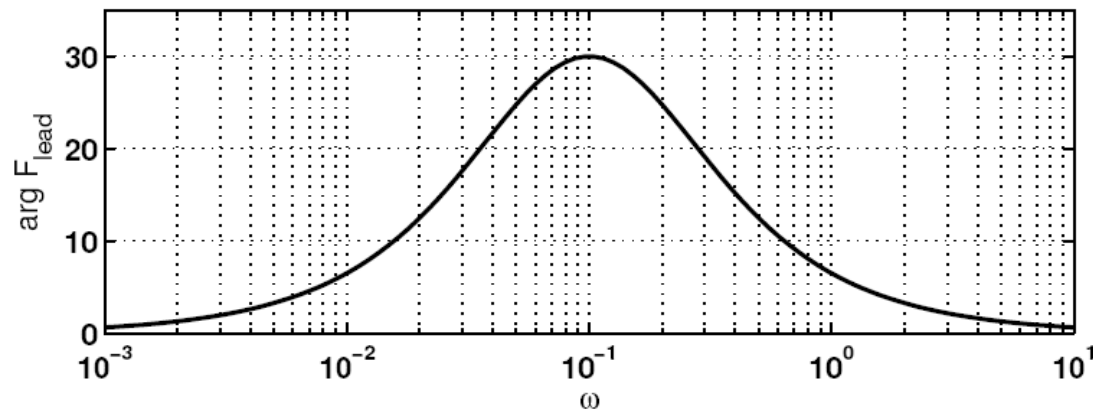
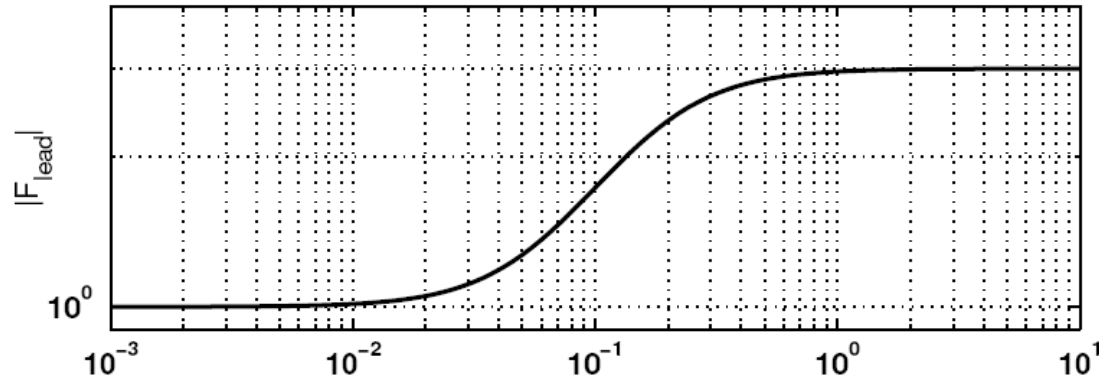
Fas-skärfrekvens ω_p och amplitudmarginal A_m

Skärfrekvens ω_c och fasmarginal φ_m

Mäter avstånd till instabilitetspunkten (-1)

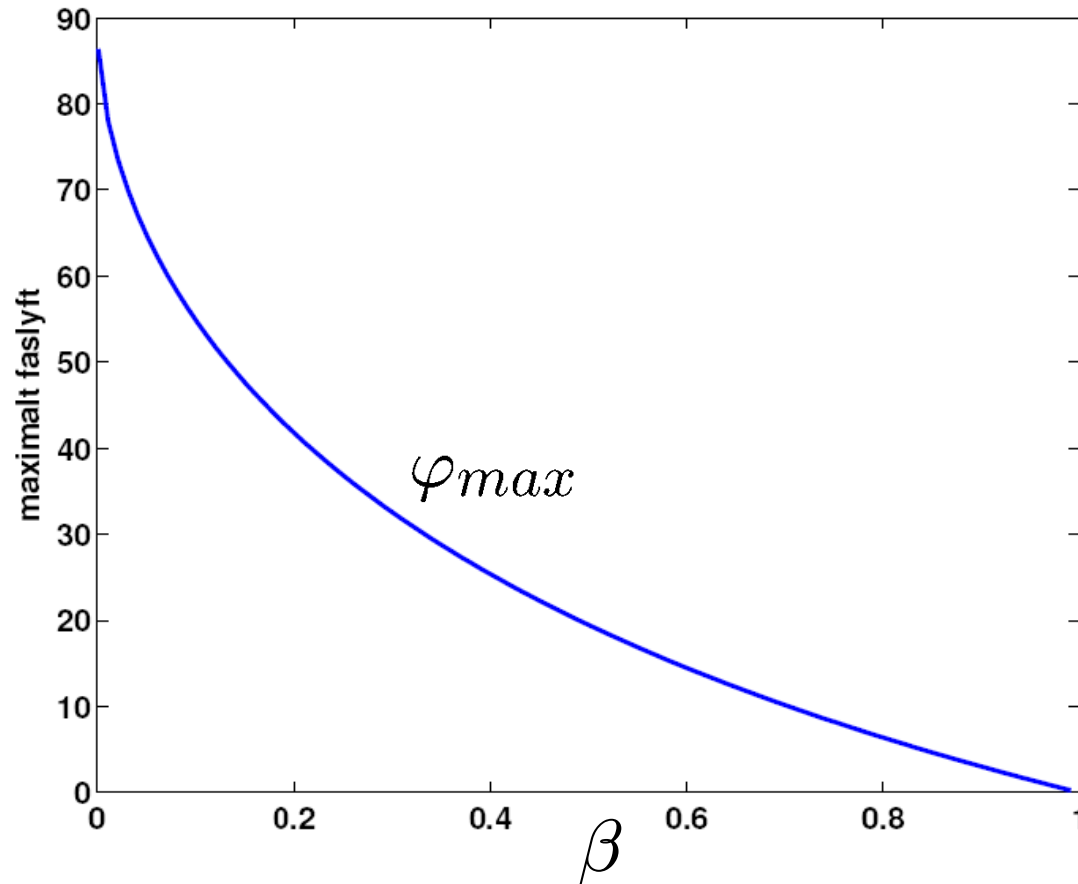
Kompensering med PD-länk ("lead-länk")

$$\omega_c = 0.1, \varphi_{\max} = 30^\circ \Rightarrow \beta = 0.33, \tau_D = 17.2$$



- fördel: positivt fasbidrag (faslyft)
- nackdel: stor förstärkning vid höga frekvenser

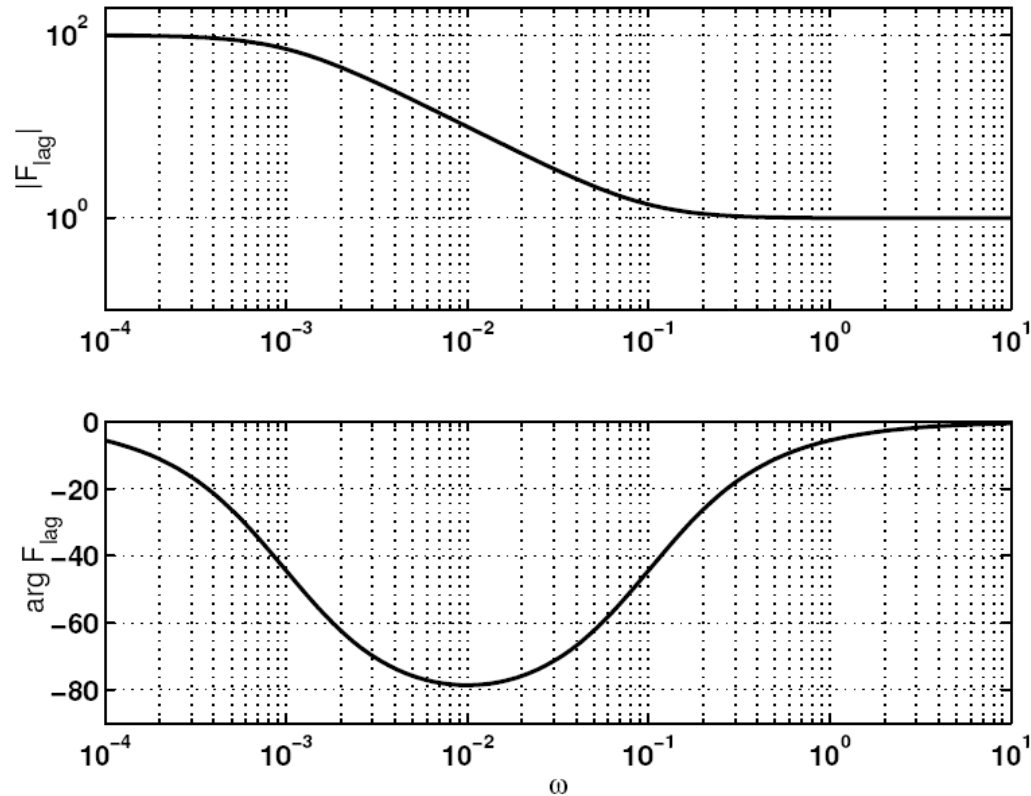
Maximalt faslyft



- använd paramtern τ_D för att få maximalt faslyft vid önskat frekvens (skärfrekvensen)
- stora faslyft \rightarrow litet $\beta \rightarrow$ stor högfrekvent förstärkning $1/\beta$

Kompensering med PI-länk ("lag-länk")

$$\tau_D = 1, \gamma = 0.01$$



- fördel: ger stor lågfrekvent förstärkning
- nackdel: ger negativt fasbidrag