



# Meet- en Regeltechniek

## Les 8: Voorbeelden en toepassingen

Prof. dr. ir. Toon van Waterschoot

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen  
**ESAT** – Departement Elektrotechniek  
KU Leuven, Belgium

# Meet- en Regeltechniek: Vakinhoud

- **Deel 1: Systeemtheorie**

- Les 1: Inleiding en modelvorming
- Les 2: Systemen van eerste orde
- Les 3: Systemen van tweede & hogere orde en met dode tijd

- **Deel 2: Analoge regeltechniek**

- Les 4: De regelkring
- Les 5: Het wortellijnendiagram
- Les 6: Oefeningen wortellijnendiagram
- Les 7: De klassieke regelaars
- Les 8: Regelaarontwerp + oefeningen
- Les 9: Systeemidentificatie en regelaarsinstelling
- Les 10: Speciale regelstructuren
- Les 11: Niet-lineaire regeltechniek & aan-uit regelaars

- **Deel 3: Digitale regeltechniek**

- Les 12: Het discreet systeemgedrag & het discreet equivalent
- Les 13: De discrete regelkring & de toestandsregelaar

# Les 8: Regelaarontwerp + oefeningen

- **Regelaarontwerp + oefeningen** [Baeten, REG1, Hoofdst. 5, Sectie 5.4 – 5.5]
  - Ontwerp van een PI-regelaar
  - Verband FM en resonantiepiek van geslotenlussysteem
  - Oefeningen

# Ontwerp van een PI-regelaar

- TF PI-regelaar (Les 4):  $Kr \left( 1 + \frac{1}{\tau_i p} \right)$

- Bepaal  $Kr$  en  $\tau_i$  voor een gegeven systeem zodat:

$$\angle TF_{PI}(j\omega_{0dB}) = -F_{PI}$$

- Oplossingsstrategie:
  - zoek  $\omega^*$  die later  $\omega_{0dB}$  moet worden; op deze frequentie heeft het systeem een fasenaïjling van  $-180^\circ + FM + |F_{PI}|$
  - bepaal  $\tau_i$  zodanig dat de PI-regelaar een fasenaïjling heeft gelijk aan  $F_{PI}$  op de pulsatie  $\omega^*$
  - bepaal  $Kr$  zodanig dat  $\omega^* \rightarrow \omega_{0dB}$  voor het geheel van systeem + regelaar
  - verifieer de oplossing m.b.v. Bodediagram

# Ontwerp van een PI-regelaar: voorbeeld

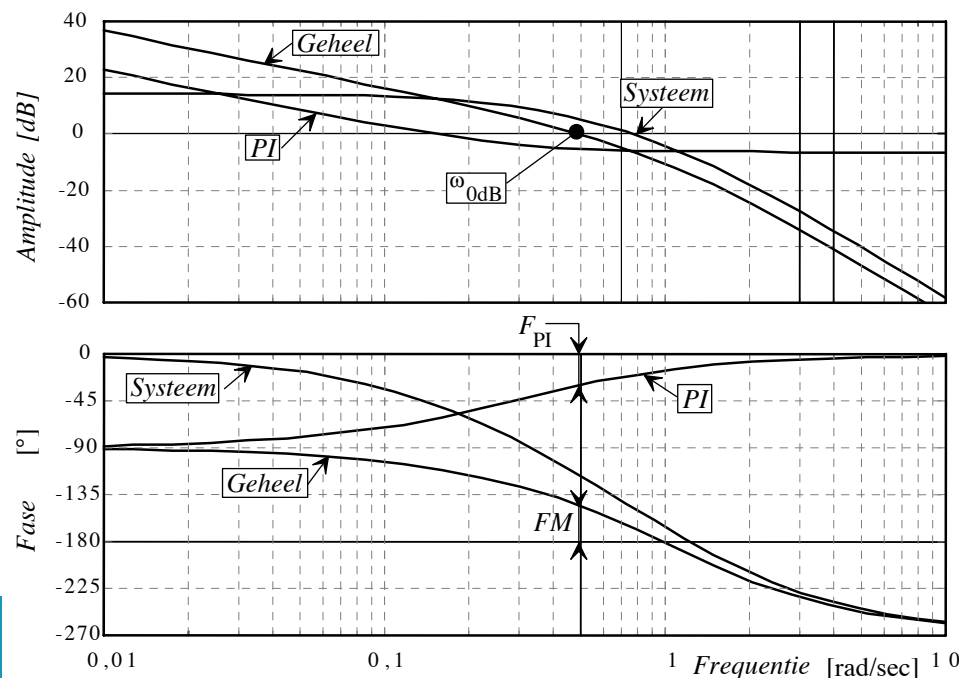
- Gegeven:

- Systeem:  $G(p) = \frac{5}{(4p + 1)(p + 1)^2}$

- $FM = 35^\circ$

- $F_{PI} = -30^\circ$  bij  $\omega_{0dB}$

- Oplossing:  $\omega_{0dB} = 0,49 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ,  $\tau_i = 3,53 \text{ s}$ ,  $Kr = -6,5 \text{ dB}$



# Les 8: Regelaarontwerp + oefeningen

- **Regelaarontwerp + oefeningen** [Baeten, REG1, Hoofdst. 5, Sectie 5.4 – 5.5]
  - Ontwerp van een PI-regelaar
  - Verband FM en resonantiepiek van geslotenlussysteem
  - Oefeningen

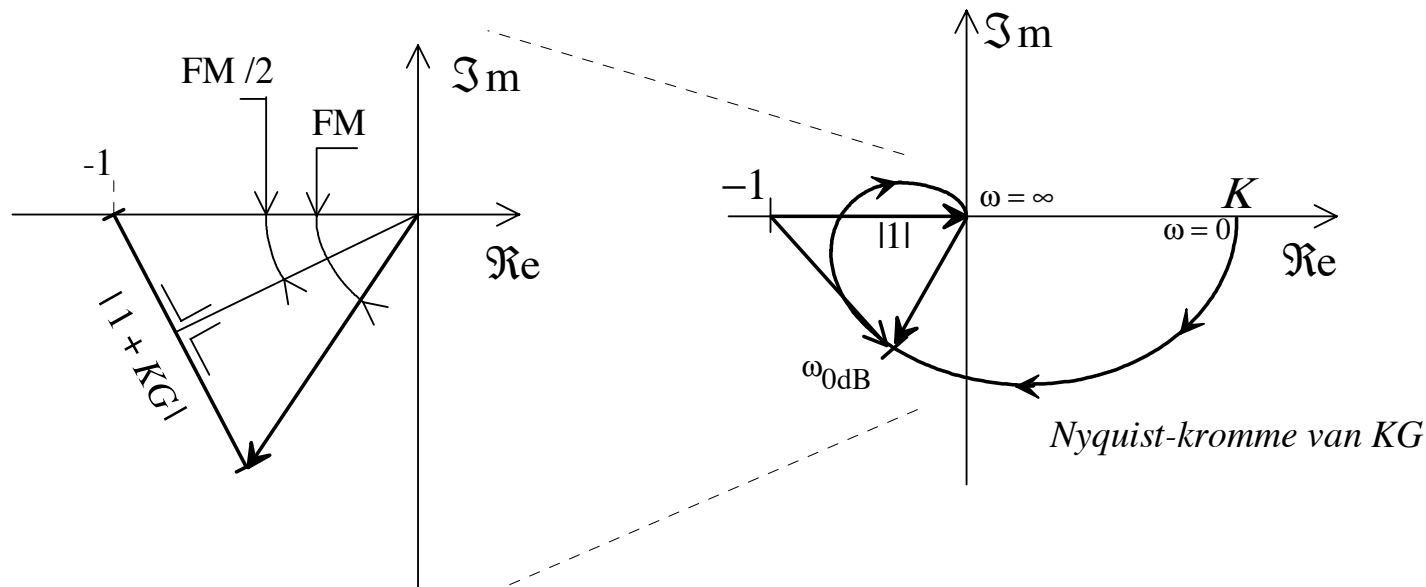
# Verband FM en resonantiepiek

- Versterking geslotenlussysteem (eenheidsterugkoppeling):

$$|TF_g| = \frac{|KG|}{|1 + KG|}$$

- Bij snijfrequentie  $\omega_{0dB}$ :  $|KG| = 1$
- $|1+KG|$  kan worden afgeleid uit Nyquistdiagram:

*Uitvergroting*

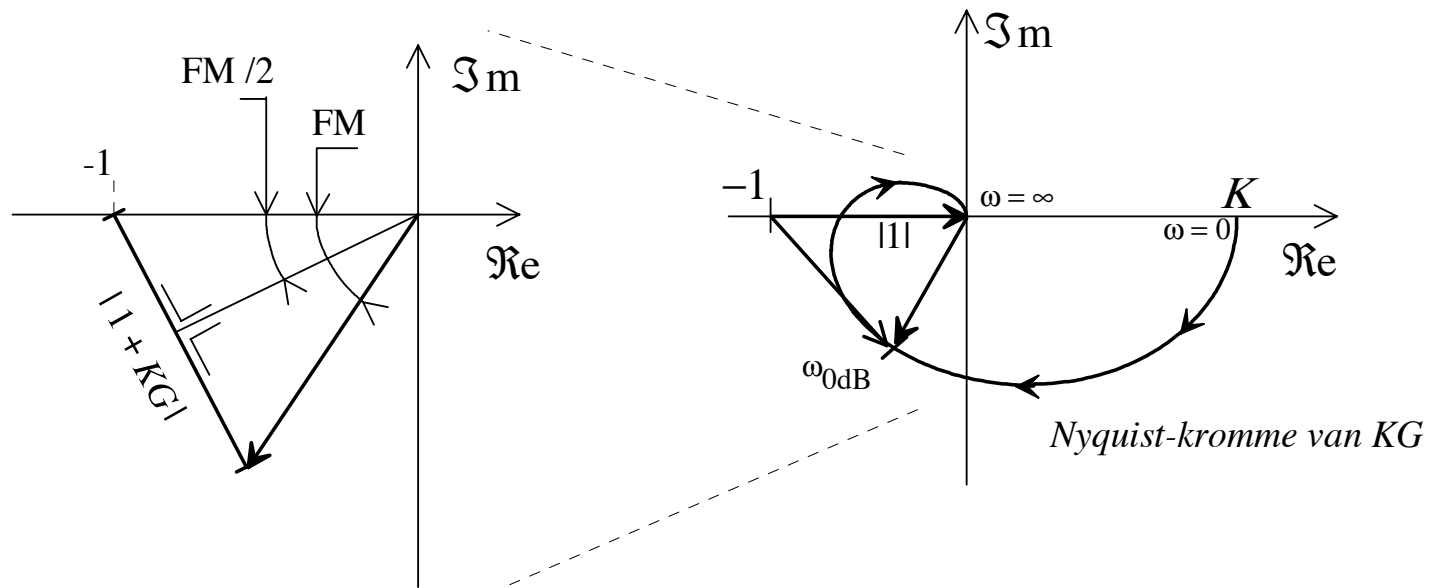


# Verband FM en resonantiepiek

$$|1 + KG| = 2 \sin \frac{FM}{2} \Rightarrow |TF_g(\omega_{0dB})| = \frac{1}{|1 + KG|} = \frac{1}{2 \sin \frac{FM}{2}}$$

- Indien FM afneemt stijgt amplitude op snijfrequentie  $\omega_{0dB}$

*Uitvergroting*





# Verband FM en resonantiepiek

- Bij goed geregelde systemen (FM voldoende groot):  
resonantiepiek  $\approx$  snijfrequentie  $\omega_{0dB}$
- $M_s \geq \frac{1}{2 \sin \frac{FM}{2}}$  (met  $M_s$  de resonantiepiek)
- FM geeft minimumwaarde voor resonantiepiek
- omgekeerd geeft een maximum toegelaten  $M_s$  een minimumgrens voor FM:

$$FM \geq 2 \text{bgsin} \frac{1}{2M_s}$$

(is noodzakelijk maar niet voldoende voorwaarde)

vb:  $FM = 30^\circ$  geeft  $M_s \geq 1,93 = 5,7 \text{ dB}$

# Les 8: Regelaarontwerp + oefeningen

- **Regelaarontwerp + oefeningen** [Baeten, REG1, Hoofdst. 5, Sectie 5.4 – 5.5]
  - Ontwerp van een PI-regelaar
  - Verband FM en resonantiepiek van geslotenlussysteem
  - Oefeningen