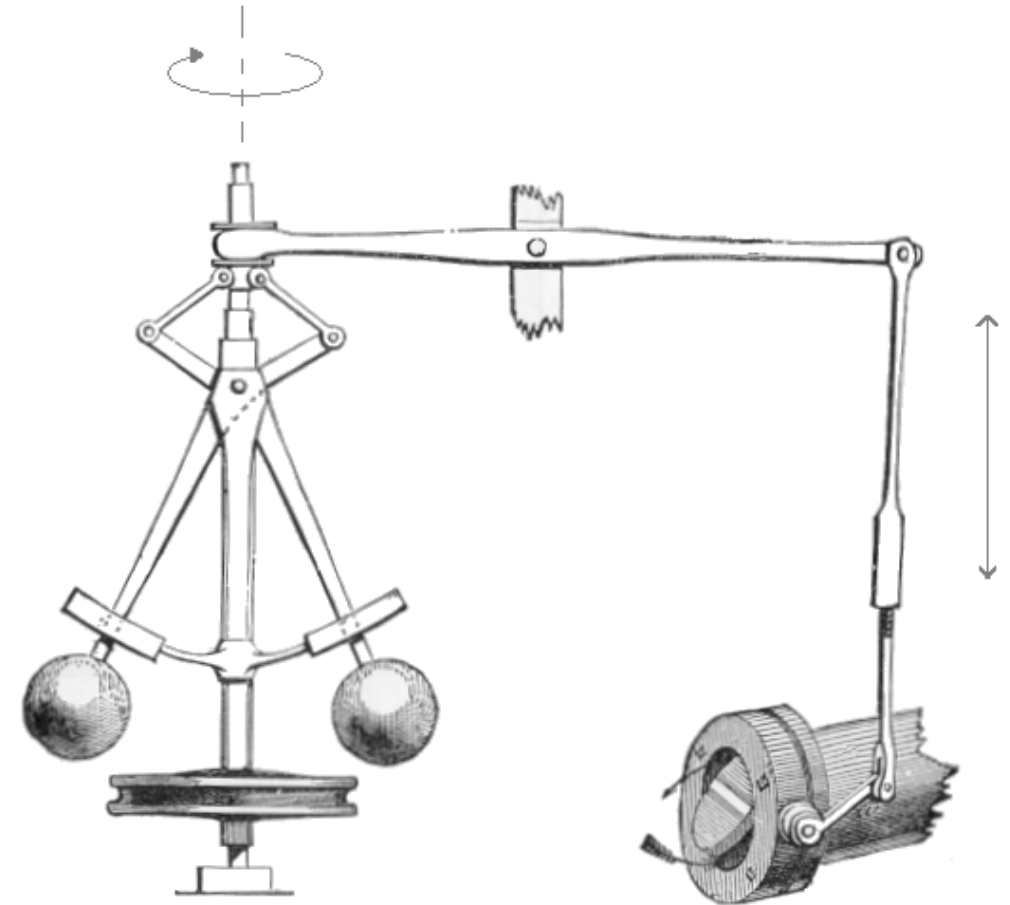


Reguleringsteknikk

Den Lukket sløyfes magi

Hastighetsregulering av motorer ved hjelp av proporsjonal regulator

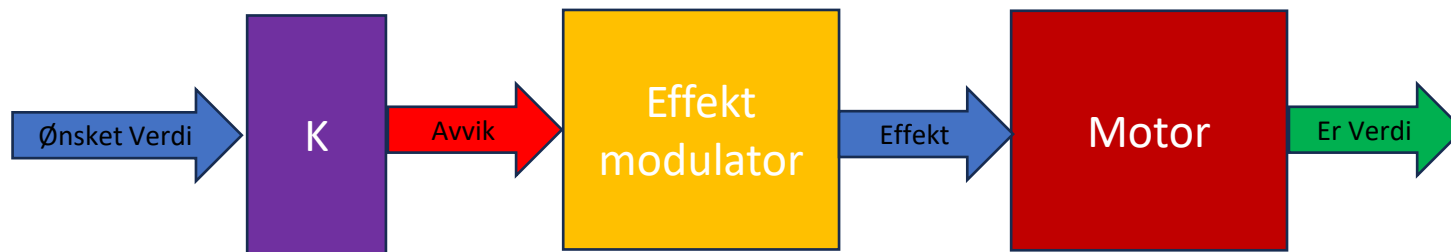
1. **Rotasjon:** Regulatoren er koblet til akslingen på dampmaskinen. Når maskinen går, får akslingen regulatoren til å rotere.
2. **Kuler i bevegelse:** To kuler (ofte kalt "flyballs") er festet til armene som kan svinge ut fra en roterende vertikal akse. Når akselen roterer, vil sentrifugalkraften trekke kulene utover.
3. **Vertikal bevegelse:** Når kulene svinger utover, løftes en koblingsmekanisme oppover. Denne mekanismen er koblet til en ventil som regulerer mengden damp til motoren.
4. **Regulering av dampmengde:**
 - Hvis motoren går for **fort**, vil kulene svinge lengre ut, løfte mekanismen, og delvis **stenge dampventilen**. Det gir mindre kraft til motoren, og hastigheten reduseres.
 - Hvis motoren går for **sakte**, faller kulene inn, ventilen åpnes mer, og motoren får mer damp – hastigheten øker.
5. **Resultat:** Systemet forsøker hele tiden å holde en **jevn rotasjonshastighet** ved å automatisk justere tilførselen av damp basert på hvor raskt maskinen går.



James Watts sentrifugal-regulator
fra 1788.

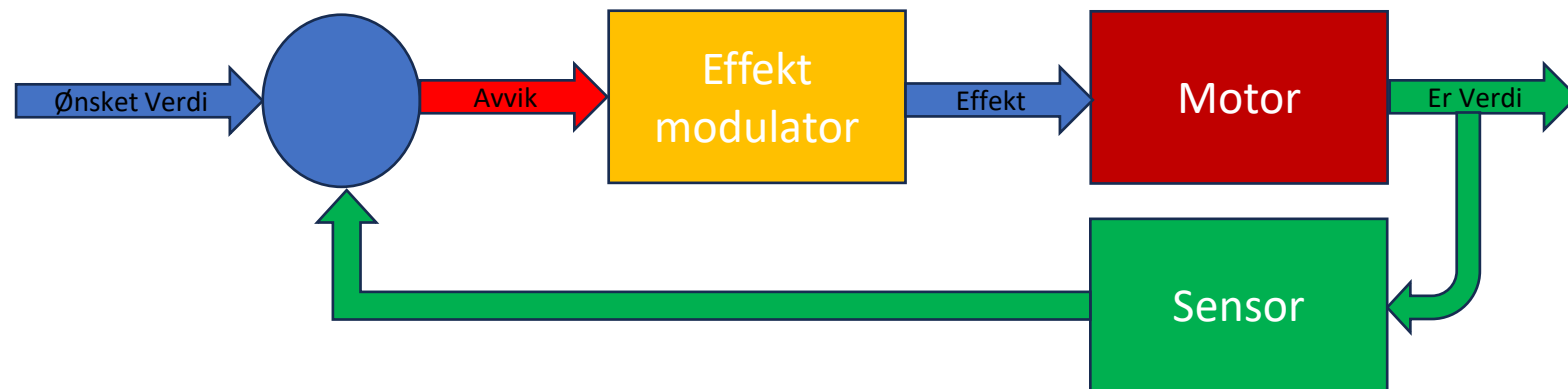
Åpen sløyfe regulering

- Et åpen sløyfe-kontrollsystem kan beskrives som i figuren under
 - K kan bestemmes slik at utgangen passer best mulig med ønsket verdi, helst ved hjelp av en sensor, men kan også finnes eksperimentelt
 - Ikke en eksakt metode, men holder i mange sammenhenger

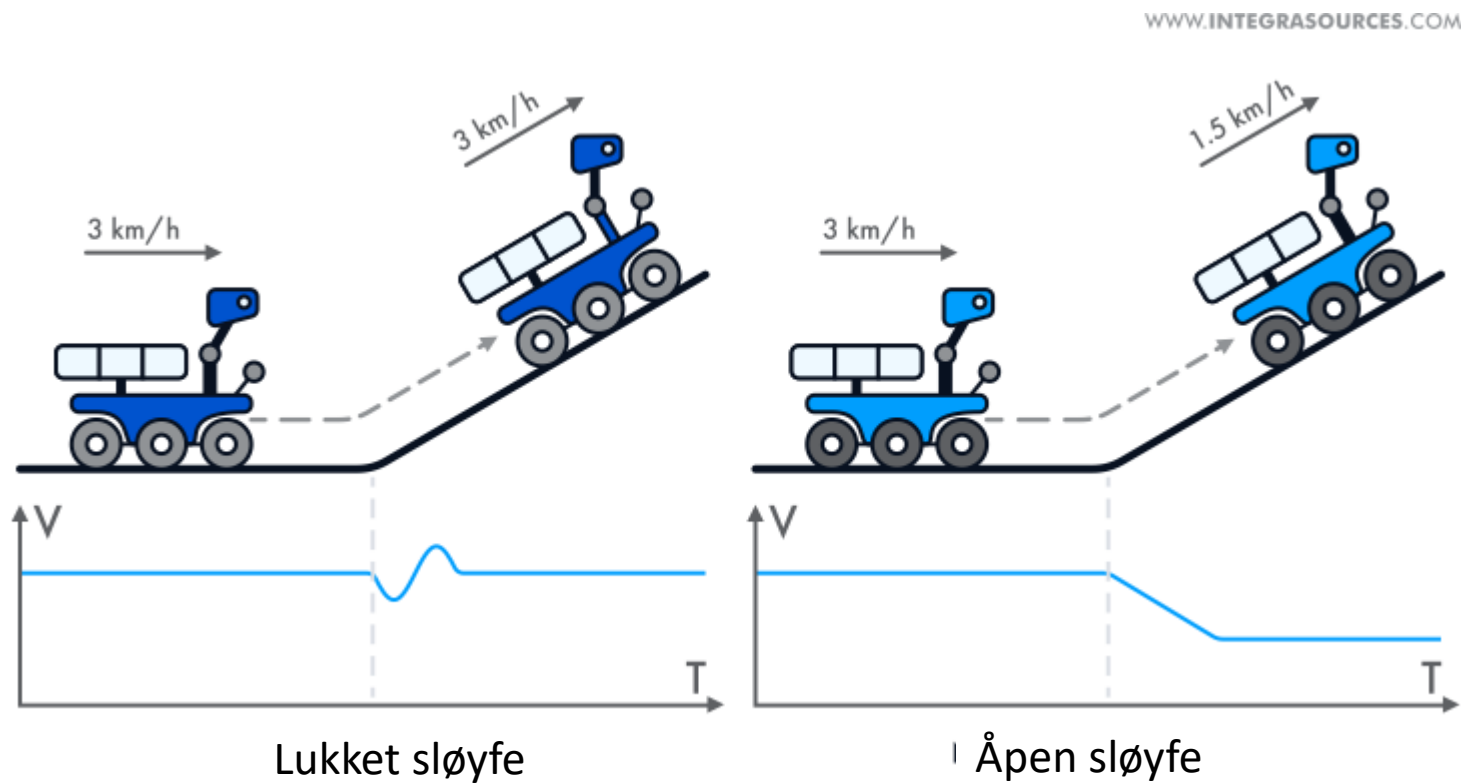


Lukket sløyfe-kontrollsystem

- Et lukket sløyfe-kontrollsystem (også kalt tilbakemeldingssystem) bruker en sensor til å måle utgangen og sammenligne den med ønsket verdi.
- Systemet beregner et avvik (feil) mellom ønsket verdi (referanse) og faktisk verdi (målt utgang), og regulerer styresignalet for å minimere dette avviket over tid.
- Kontrollenheten bruker ofte en PID-regulator eller lignende algoritme for å bestemme korrekt kontrollsignal basert på feilen. Dette gir et automatisk selvkorrigerende system, som kontinuerlig justerer seg for å nå målet – selv ved forstyrrelser, lastendringer eller spenningsvariasjon.



Åpensløyfe å forstyrelser



Åpen vs lukket sløyfe kontroll av motors vinkelhastighet

Egenskap	Åpen sløyfe	Lukket sløyfe
Effekt på motorhastighet	Motorhastigheten endres direkte med spenningen	Regulator kompensere for spenningsendringer
Stabilitet ved spenningfall	Hastigheten synker, uforutsigbar respons	Regulatoren øker PWM for å holde konstant hastighet
Bruk i batteridrevne systemer	Lite egnet der batterispenningen varierer mye	Godt egnet – gir stabil ytelse selv ved lavere spenning

Hensikten med PID-regulering

Målet er å **minimere feilen**, altså forskjellen mellom:

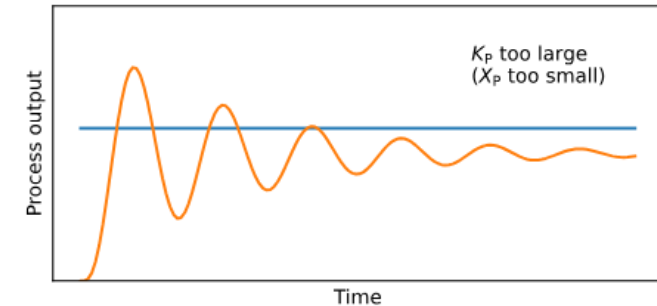
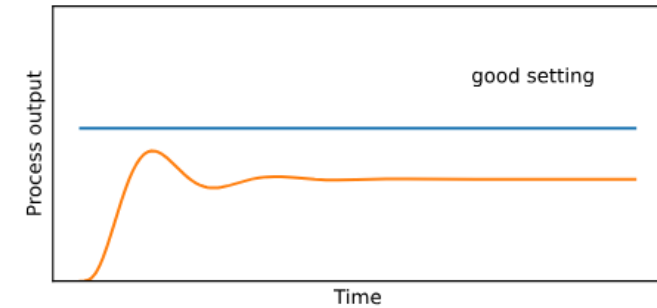
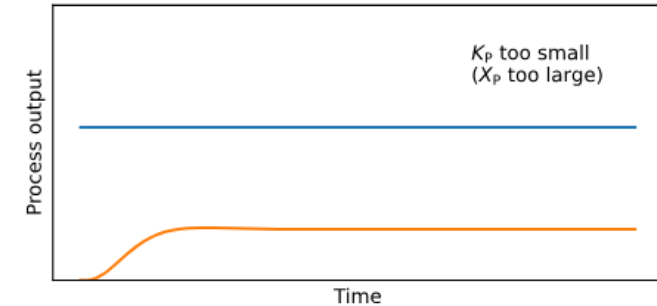
- **Setpunktet** (ønsket verdi) og **Prosessverdien** (målt verdi)

PID står for:

- **P** = Proporsjonal
- **I** = Integral
- **D** = Derivativ

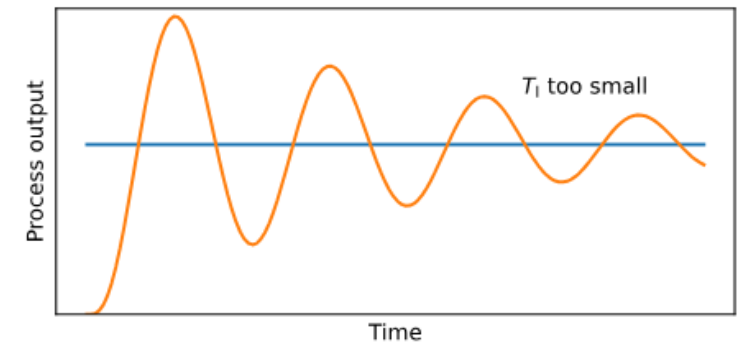
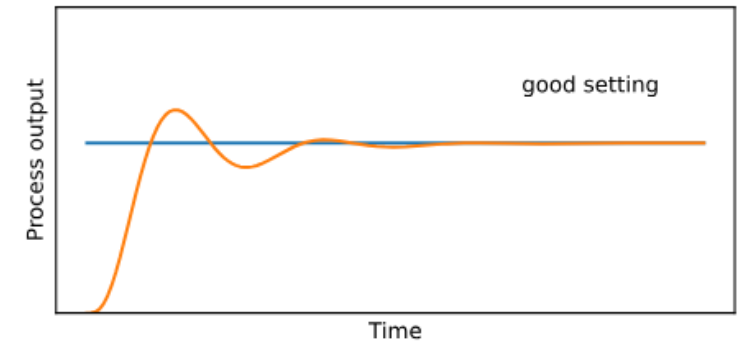
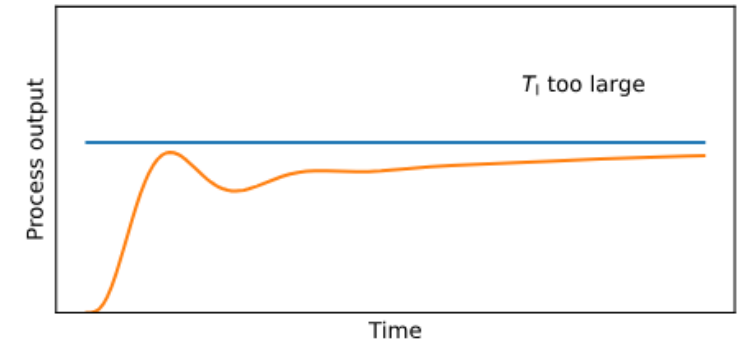
P regulator

- Proporsjonal (P –regulator)
- reagerer på nå-feilenBeregnes som: $P = K_p * \text{error}$
- Jo større feilen er, jo større blir det proporsjonale bidraget.
- Hensikt: Gir en kraftig, direkte reaksjon når systemet er langt unna setpunktet.
- Ulempe: Klarer ofte ikke alene å fjerne all feil (gir ofte en liten steady-state-feil).



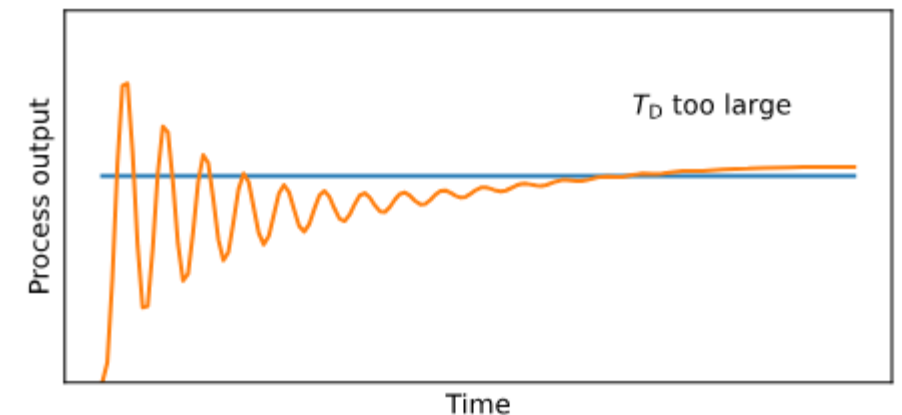
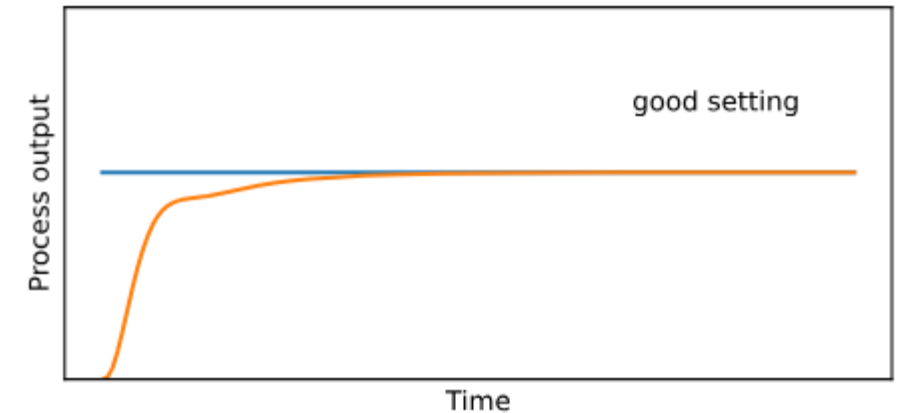
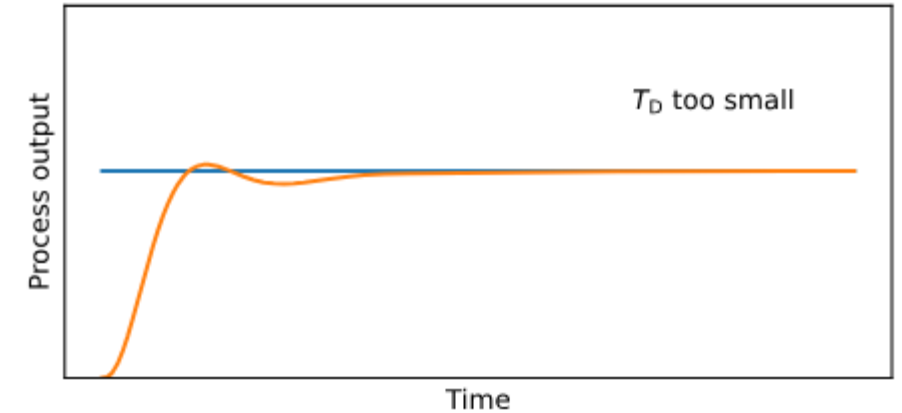
I regulator

- Integral (I – regulator
- reagerer på akkumulert feil over tid
- Beregnes som: $I = K_i * \text{sum}(\text{error})$
- Legger sammen tidligere feil over tid og prøver å rette opp for dem.
- Hensikt: Fjerner gjenværende (steady-state) feil som P ikke klarer å ta.
- Ulempe: Kan gi oversving og ustabilitet hvis summen blir for stor – dette kalles "integral wind-up".

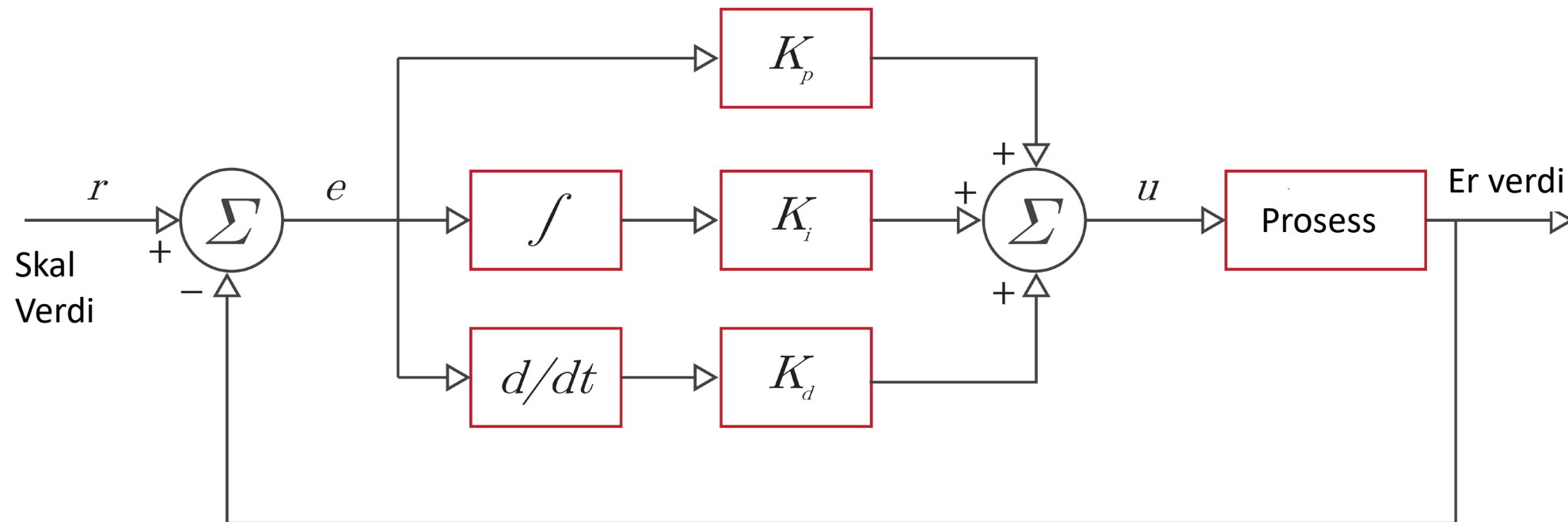


D regulator

- Derivativ (D) –
- reagerer på hvor raskt feilen endrer seg
- Beregnes som: $D = K_d * (dError/dt)$ Ser på farten til feilendringen.
- Hensikt: Demper raske endringer, glatter ut responsen og forhindrer oversving.
- Ulempe: Kan forsterke støy hvis målesignalet er ujevnt.



Vi setter alt sammen



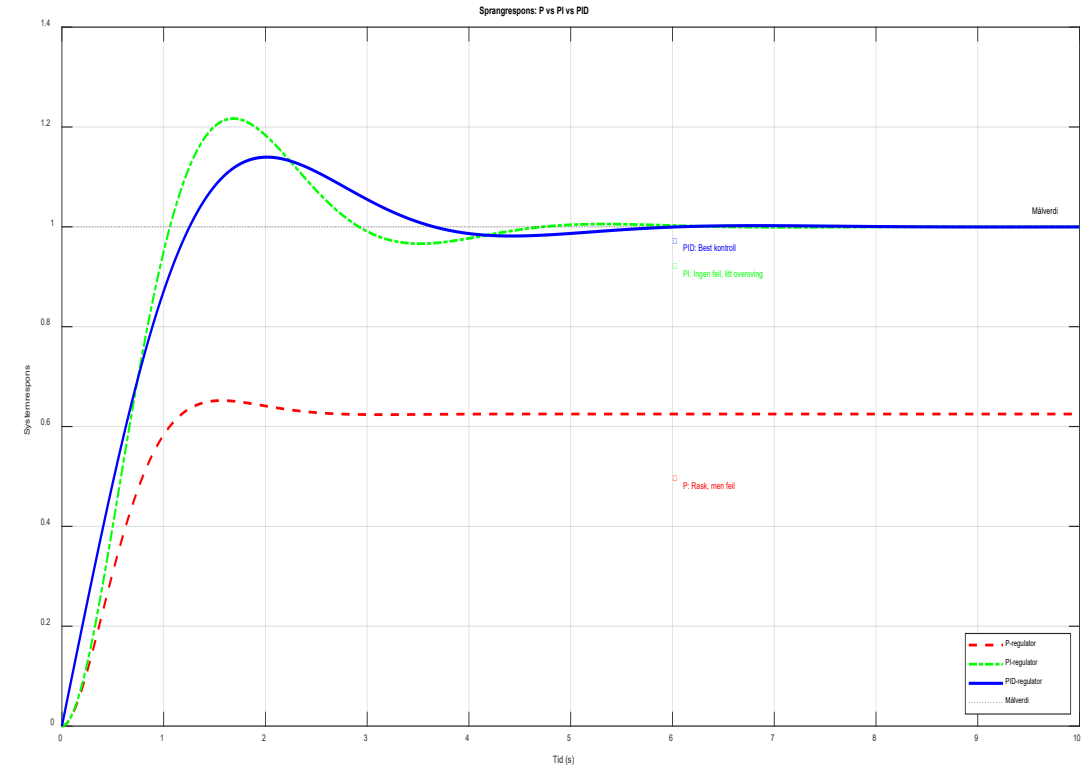
Egenskaper til P I og D

Del	Hensikt	Effekt	Risiko
P	Reagerer på nå-feil	Rask respons	Gir steady-state-feil
I	Summerer feil over tid	Eliminerer steady-state-feil	Risiko for oversving og ustabilitet
D	Ser på endring i feil	Demper raske endringer	Kan forsterke støy

Enkel PID tuning

Fremgangsmåte:

1. Start med alt på null: Sett $K_i = 0$ og $K_d = 0$.
2. Øk K_p gradvis til systemet begynner å respondere raskt, men uten å bli ustabilt.
3. Øk K_i for å fjerne steady-state-feil.
4. Legg til K_d for å dempe oversving og gjøre systemet roligere.

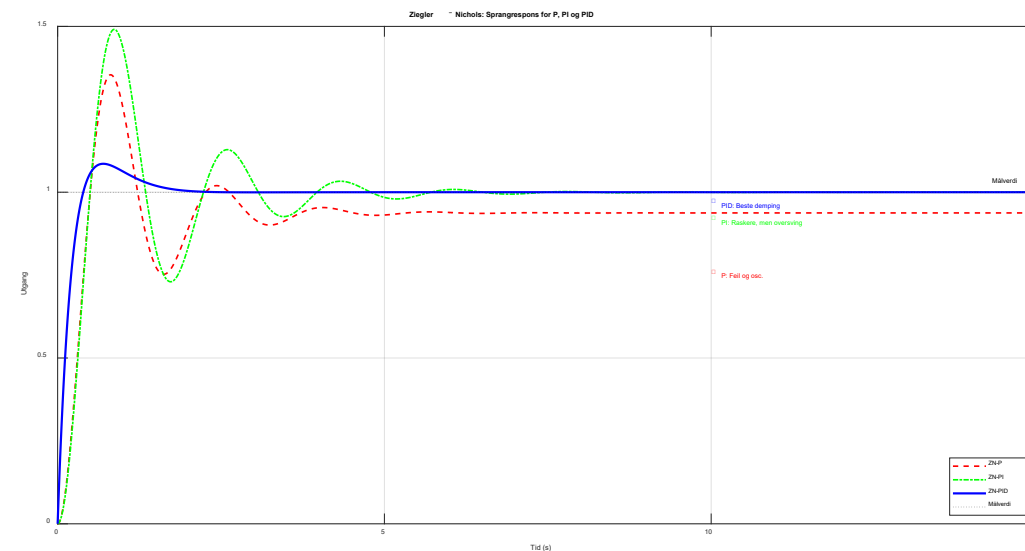


Ziegler–Nichols-metoden

Fremgangsmåte:

1. Sett $K_i = 0$ og $K_d = 0$.
2. Øk K_p til systemet akkurat begynner å oscillere kontinuerlig → notér denne kritiske forsterkningen (K_u) og oscillasjonsperioden (P_u).
3. Bruk tabell:

Regulatortype	K_p	K_i	K_d
P	$0.5 K_u$	—	—
PI	$0.45 K_u$	$1.2 K_p / P_u$	—
PID	$0.6 K_u$	$2 K_p / P_u$	$K_p \times P_u / 8$

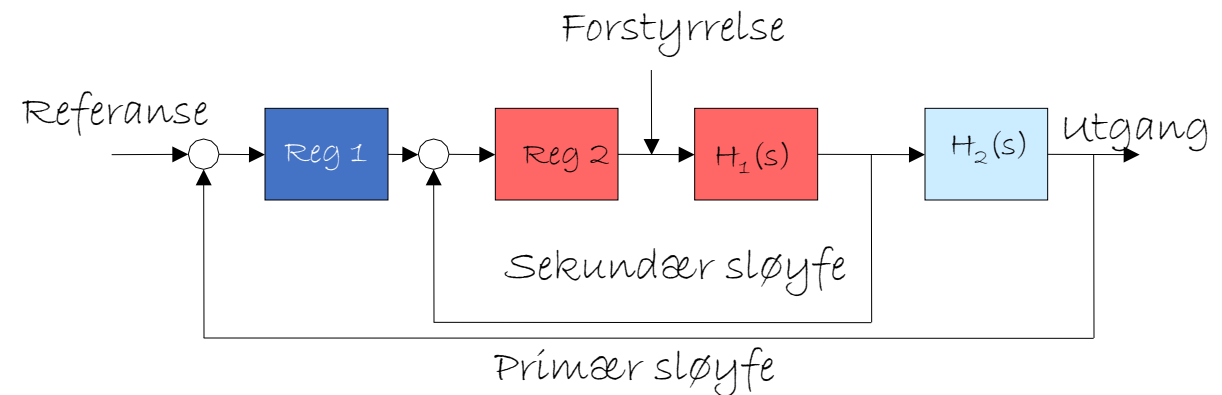


Kaskade regulering

Hvordan utnytte tilgjengelig informasjon
til å forbedre systemets ytelse

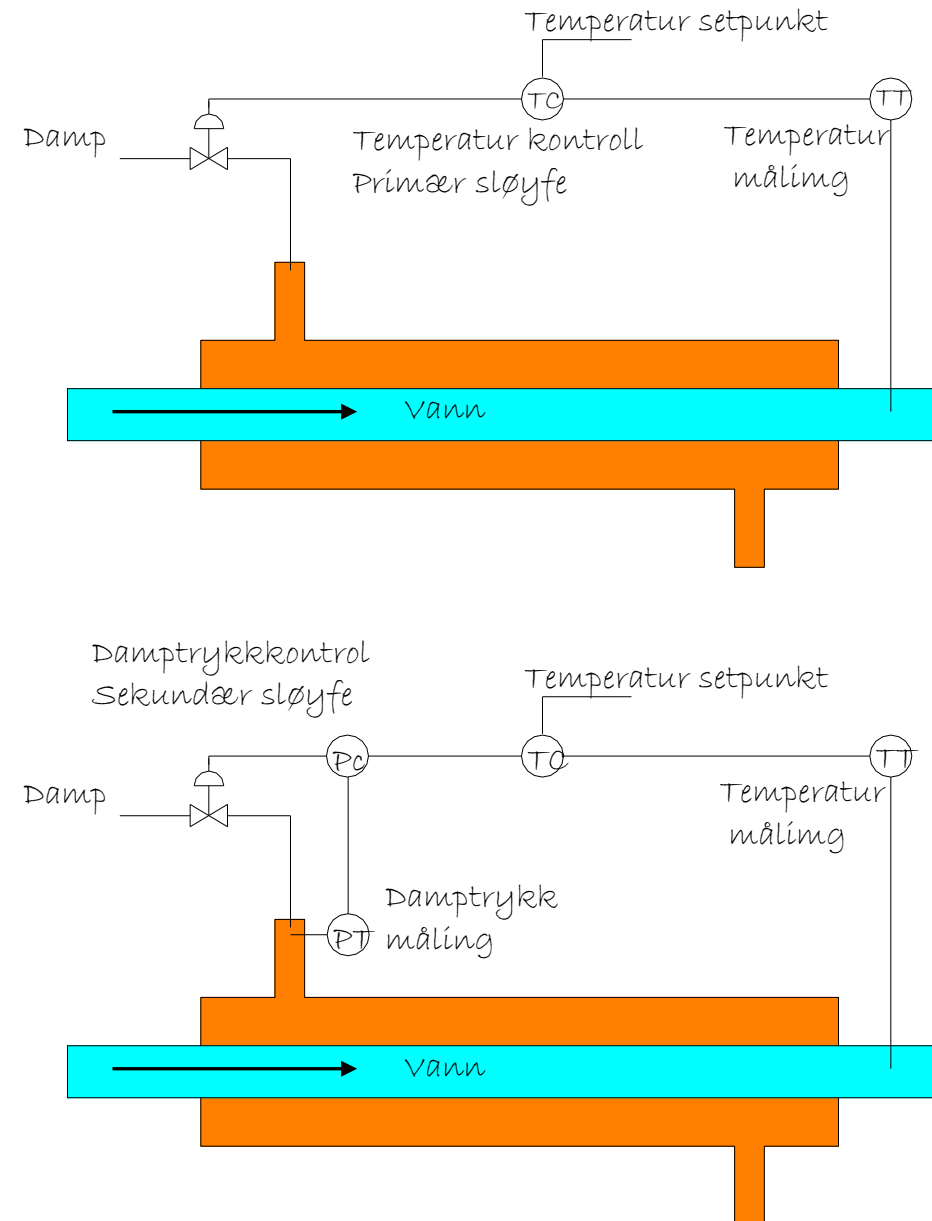
Hva er kaskaderegulering?

- Kaskaderegulering betyr at du bruker flere regulatorer koblet i serie, der utgangen fra én regulator er setpunktet for neste.
- I motsetning til én regulator som prøver å kontrollere alt på én gang, deler man systemet opp i indre og ytre sløyfe, ofte slik:
 - Ytre løkke: Regulerer *posisjon*
 - Indre løkke: Regulerer *hastighet*



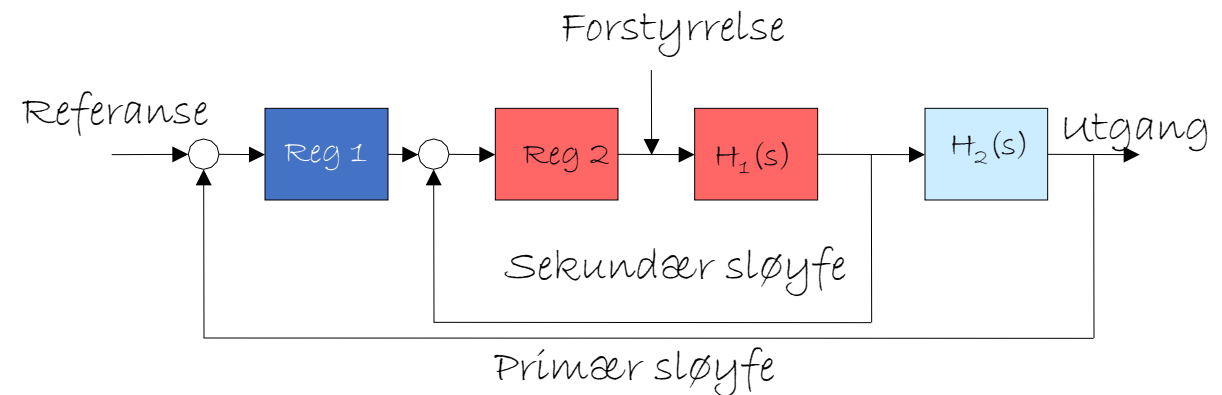
Kaskade regulering

- Når flere sensorer er tilgjengelige for måling av forhold i en kontrollert prosess, kan et kaskades regulering ofte fungere bedre enn en tradisjonell regulering
- For eksempel dampvarmtvannsberederen som vises i figuren A er regulert på tradisjonelt vis en måler temperaturen inne i tanken og manipulerer dampventilåpningen for å tilføre mer eller mindre varme ettersom innstrømmende vann forstyrrer tankens temperatur. Denne ordningen fungerer godt nok hvis damptilførselen og dampventilen er tilstrekkelig stabil.
- Men dersom damptrykket varierer i damptilførselsledningen vil dette påvirke temperaturen å vi vil få et avvik som må korrigeres
- Dersom vi måler damptrykket og dette kontrolleres i en sekundær sløyfe vil ikke temperaturen påvirkes av varierende damptrykk i tilførselsledningen

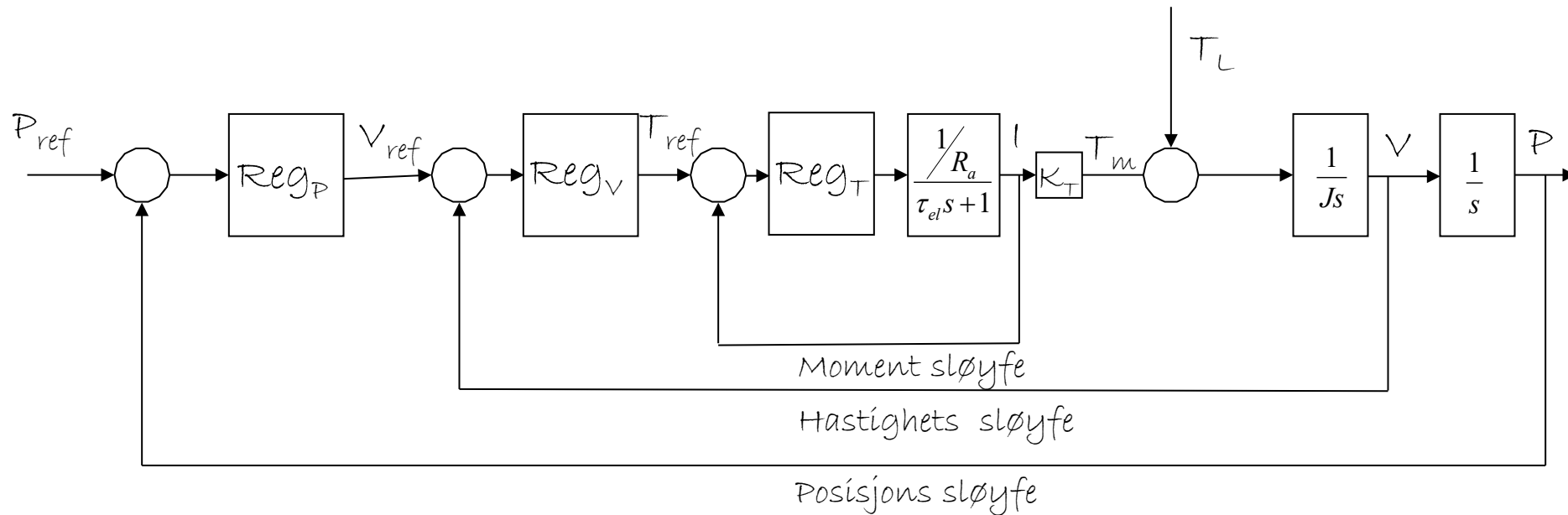


kaskaderegulering

- I kaskaderegulering er det to eller flere reguleringssløyfer der utgangen fra regulatoren i den ytresløyfen, kjent som primærregulatoren, vil gi settpunktet til den indre sløyfen, sekundærregulatoren .
- Fordelen ved dette er at det brukes en ekstra måling i indre sløyfe som vil gjøre reguleringen bedre, da sekundærsløyfen er i stand til å fange opp og eliminere forstyrrelser som ellers ville påvirket den overordnede regulering.
- En annen fordel er linearisering av ulineære komponenter.
- Den indre sløyfe skal være raskere enn sløyfen utenfor, og alle sløyfer må være stabile

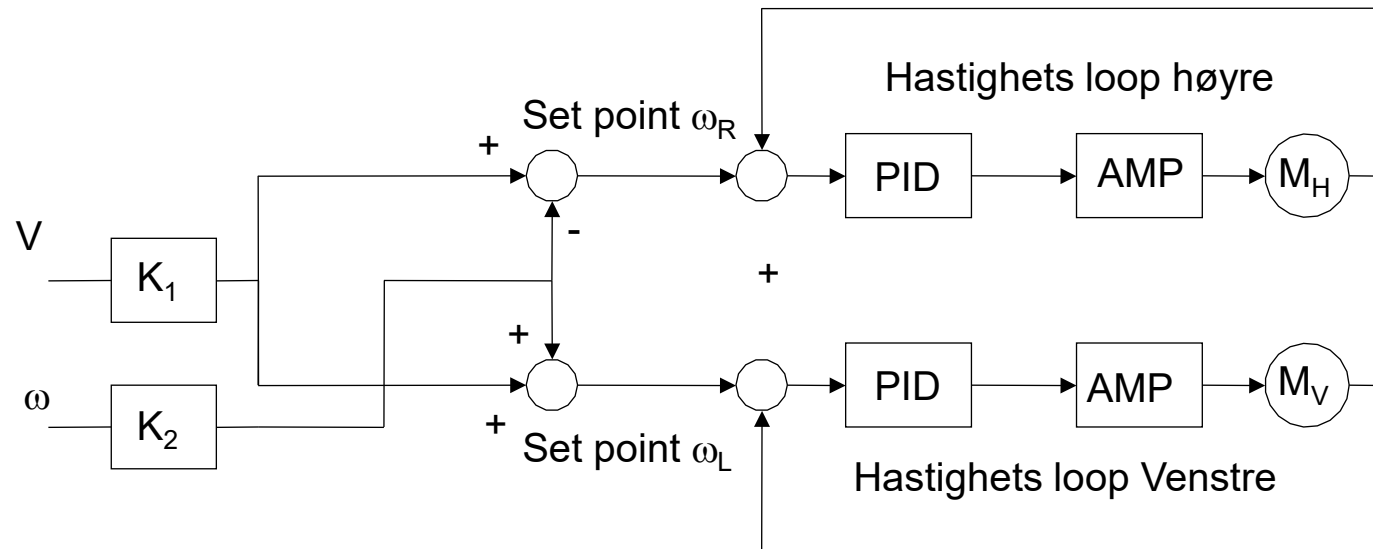


- Vi måler Posisjonen θ hastigheten ω og strømmen I (momentet $T=K_T \cdot I$)
- Dersom vi har variasjon i lastmoment eller spenningstilførsel vil dette kunne påvirke posisjons reguleringen

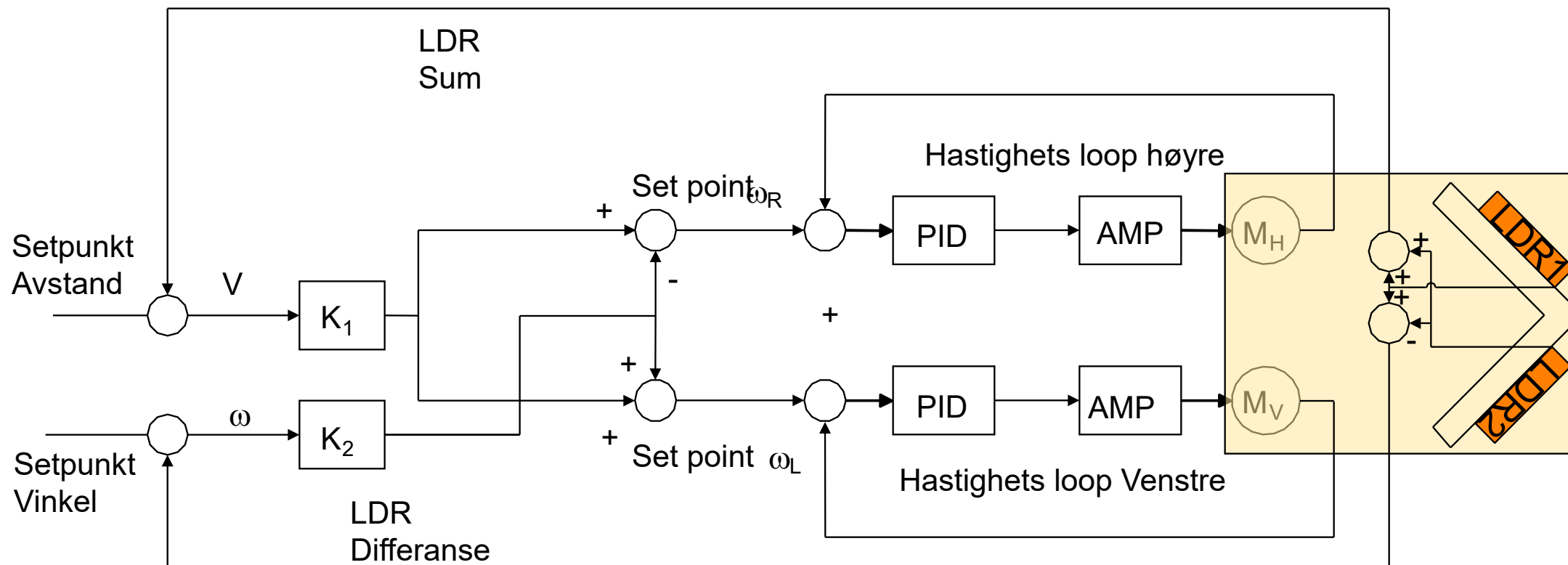


MIMO Kontroll av hastighet V og dreiehastighet ω

- Fra invers kinematisk
- $$\dot{\theta}_L = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot r} - \frac{d}{4 \cdot \pi \cdot r} \omega$$
$$\dot{\theta}_R = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot r} + \frac{d}{4 \cdot \pi \cdot r} \omega$$
- Diagram over implementeringsblokk
-



Kaskade regulering Kontroll diagram følgebil



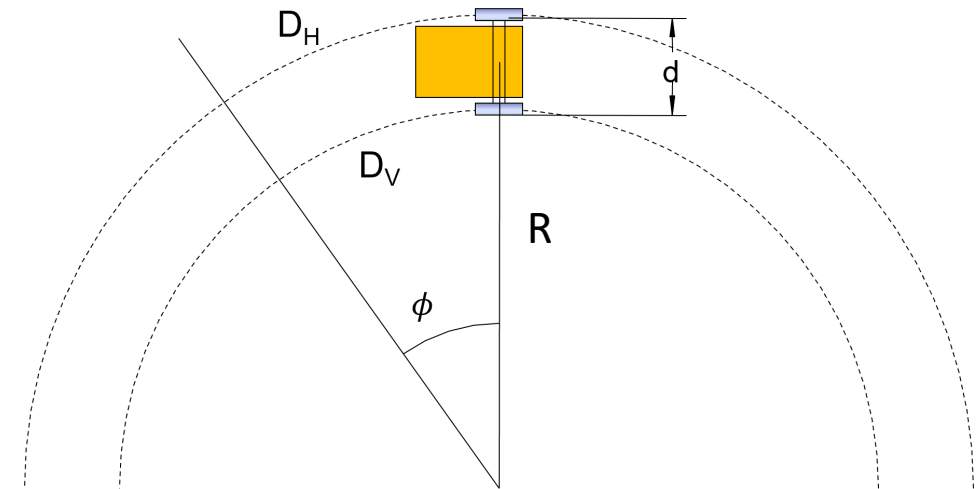
Bue kjøring forholds regulering

- For en differential drive robot med separate tellere (enkodere) på høyre og venstre hjul, kan du kontrollere svingradiusen ved å manipulere forholdet mellom hjulhastighetene. Hvis du i tillegg kjenner hjulavstanden (avstanden mellom hjulene, ofte kalt wheelbase eller track width), kan du beregne og styre robotens bane nøyaktig.

$$R = \frac{d}{2} \cdot \frac{v_L + v_R}{v_R - v_L}$$

$$v_L = \omega \cdot \left(R - \frac{d}{2} \right)$$

$$v_R = \omega \cdot \left(R + \frac{d}{2} \right)$$



$$D_R = \phi \cdot \left(R + \frac{d}{2} \right)$$

$$D_L = \phi \cdot \left(R - \frac{d}{2} \right)$$

Venstre hjul går i en sirkel med radius $R - \frac{d}{2}$

Høyre hjul går i en sirkel med radius $R + \frac{d}{2}$

Eksempel

- Ønsket hastighet $v=0.3$ m/s
- Ønsket svingradius $R=1.0$ m
- Hjulavstand $d=0.4$

$$v_L = 0.3 \cdot \left(1 - \frac{0.4}{2 \cdot 1.0}\right) = 0.3 \cdot (1 - 0.2) = 0.3 \cdot 0.8 = 0.24 \text{ m/s}$$

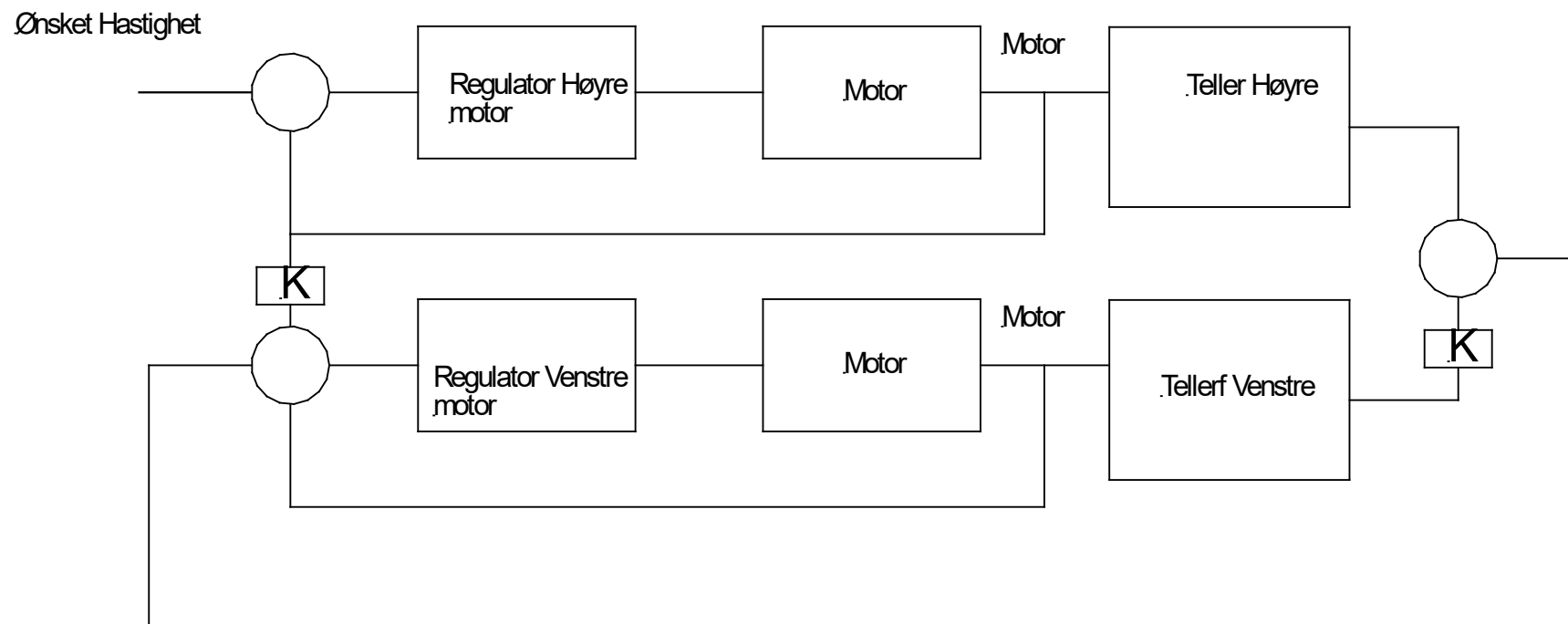
$$v_R = 0.3 \cdot \left(1 + \frac{0.4}{2 \cdot 1.0}\right) = 0.3 \cdot (1 + 0.2) = 0.3 \cdot 1.2 = 0.36 \text{ m/s}$$

- Forholdet mellom hastighetene blir 1.5

$$\frac{v_R}{v_L} = \frac{1 + \frac{d}{2R}}{1 - \frac{d}{2R}}$$

- Forholdene mellom lengdene blir 1.5

$$\frac{s_R}{s_L} = \frac{R + \frac{d}{2}}{R - \frac{d}{2}} \Rightarrow s_R = s_L \cdot \frac{R + \frac{d}{2}}{R - \frac{d}{2}}$$



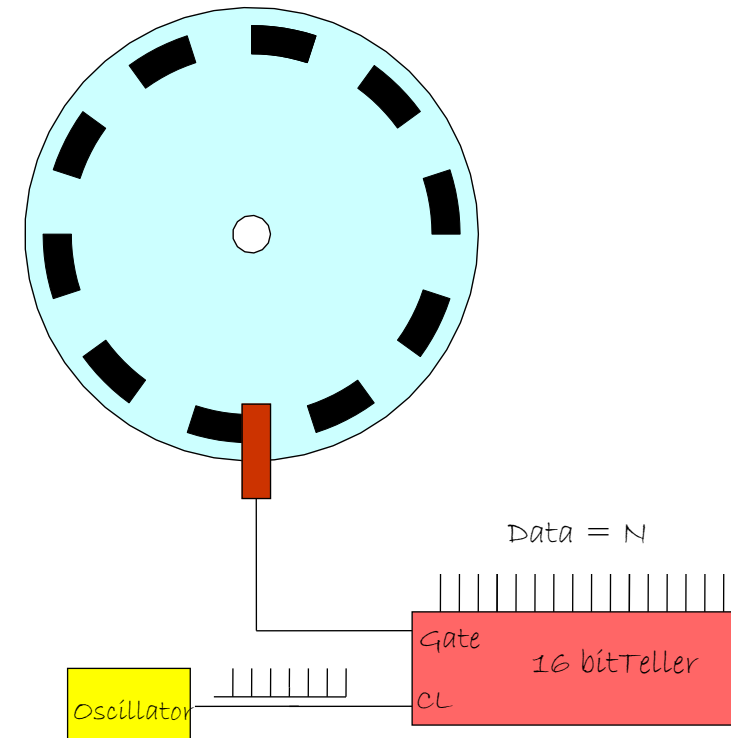
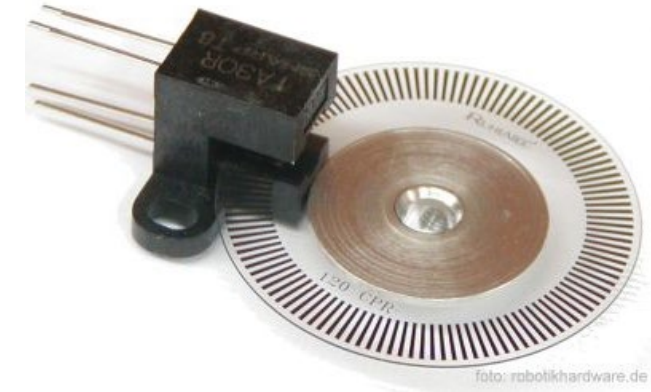
Hastighets måling Optisk Puls tacho 1

- I figuren ser du en kodeskive med n spalter og en lesegaffel som benyttes til å måle rotasjonshastigheten til en aksling. Lesegaffelens utgang er koplet til Gaten på en teller. Slik at hver gang det kommer en stigende flanke på gaten vil telleverdien N bli satt til datautgangen å telleren vil bli nullstilt
- En oscillator er koplet til klokke CL inngangen på telleren.
Oscilatorens frekvens $f_{osc} = 100 \text{ KHz}$
Kodeskiven har $n = 10$ spalter
- Vi kan da finne rotasjons hastigheten ved å beregne tiden det tar å rotere fra en spalte til den neste T_s

$$T_s = N \cdot T_{posc} = N \cdot \frac{1}{f_{osc}}$$

$$T_{omdreining} = n \cdot T_s = n \cdot N \cdot \frac{1}{f_{osc}}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T_{omdreining}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{osc}}{n \cdot N}$$



Hastighets måling Optisk Puls tacho (2)

- I figuren under ser du en kodeskive og en lesegauffel som benyttes til å måle rotasjonshastigheten til en aksling. Lesegauffelens utgang er koplet til klokke inngangen på en teller. En oscillator er koplet til Gate inngangen på telleren. Oscillatorens frekvens $f_{osc} = 1 \text{ Hz}$
Kode- skiven har $n = 10$ transparente felt
- Frekvensen på signalet fra kodeskiven finner vi som

$$f_{ks} = \frac{N}{T_{Posc}} = N \cdot f_{osc}$$

- Turtallet finner vi

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{ks}}{n} = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot f_{osc}}{n}$$

