



EL1000/1120/1110 Reglerteknik AK

Föreläsning 11:
Implementering

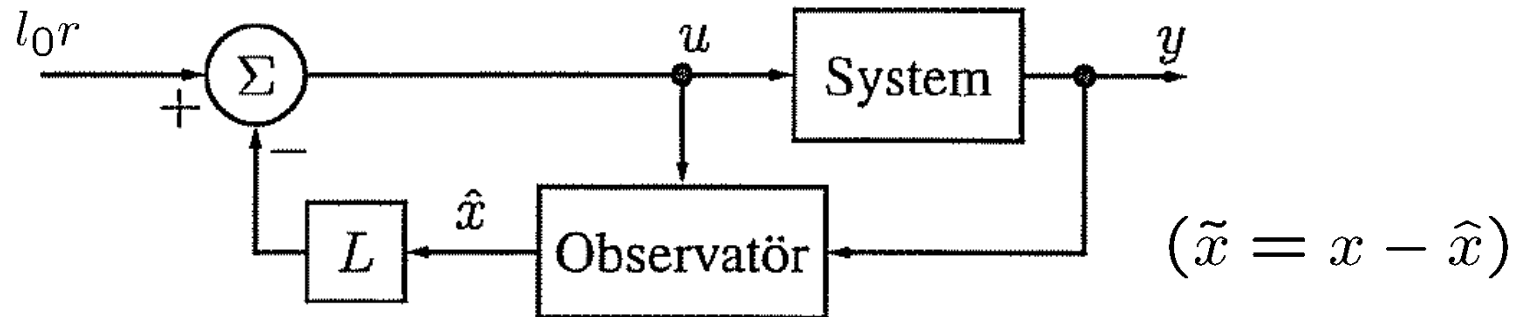
Kursinformation

- Föreläsning 12 (8 december): Sammanfattning
 - Repetition enligt önskemål (kompensering redan föreslaget)
 - Skicka önskemål till hsan@kth.se senast idag eftermiddag
 - Lösning av tentatal
- Frågestunder inför tentan:
 - Onsdag 14 dec 8-10, Q22 (Martin och António)
 - Torsdag 15 dec 13-14, konferensrummet plan 3, Q-huset vid STEX (Erik och Oscar)
 - Fredag 16 dec 13-15, V3 (Omid, Olle och Zhenhua)

Innehåll

- Tillståndsåterkoppling med observerare (rep.)
- Kaskadkoppling (rep.)
- Framkoppling och Smith-prediktorn
- Implementering

Tillståndsåterkoppling med observerare



$$\begin{pmatrix} \dot{\hat{x}} \\ \dot{\tilde{x}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A - BL & BL \\ 0 & A - KC \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ \tilde{x} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B \\ 0 \end{pmatrix} l_0 r$$

$$y = (C \quad 0) \begin{pmatrix} x \\ \tilde{x} \end{pmatrix}$$

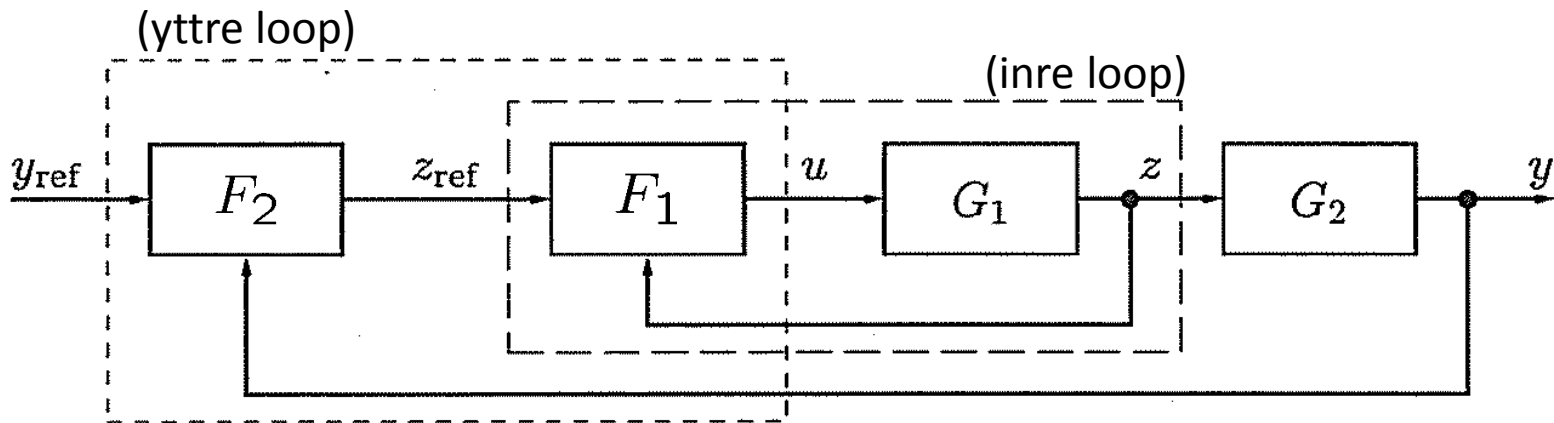
$$Y(s) = G_c(s)R(s)$$

$$G_c(s) = C(sI - A + BL)^{-1}Bl_0$$

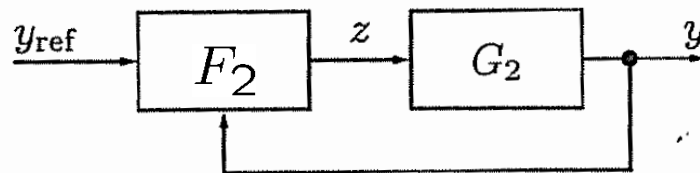
$G_c(s)$ samma som vid enbart tillståndsåterkoppling!

Kaskadreglering

- Kan mäta "mellansignal" z



- Välj inre regulatorn F_1 så att $z(t) \approx z_{\text{ref}}(t)$ (gör inre loopen tillräckligt snabb)
- Ger förenklat reglerproblem för yttre loopen:



Exempel 1: Rategyroåterkoppling (Fö. 10)

$$G_1(s) = \frac{1}{s+1}, G_2(s) = \frac{1}{s}, F_1(s) = K_1, F_2(s) = K_2$$

- Överföringsfunktion från y_{ref} till y :

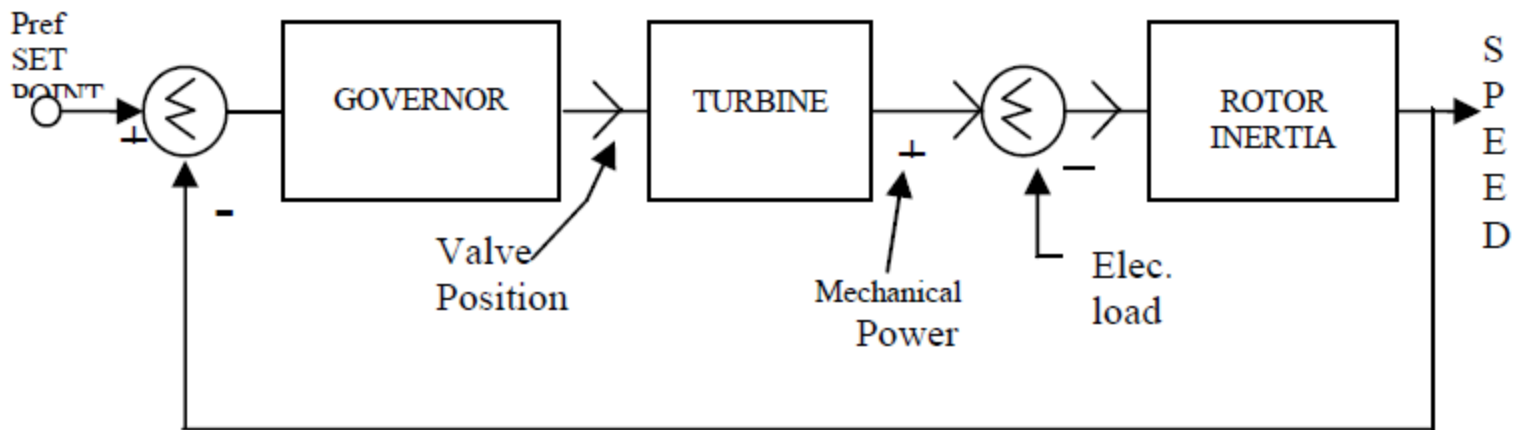
$$\begin{aligned} Y(s) &= \frac{K_1 K_2}{s^2 + (K_1 + 1)s + K_1 K_2} Y_{ref}(s) \\ &= \frac{K_2}{s^2/K_1 + (1 + 1/K_1)s + K_2} Y_{ref}(s) \\ &\approx \frac{K_2}{s + K_2} Y_{ref}(s) \end{aligned}$$

om K_1 är stor i förhållande till s (y_{ref} frekvens) och K_2 (enl. tumregel!)

- Under dessa villkor "syns" ej inre loopen i utsignalen y !

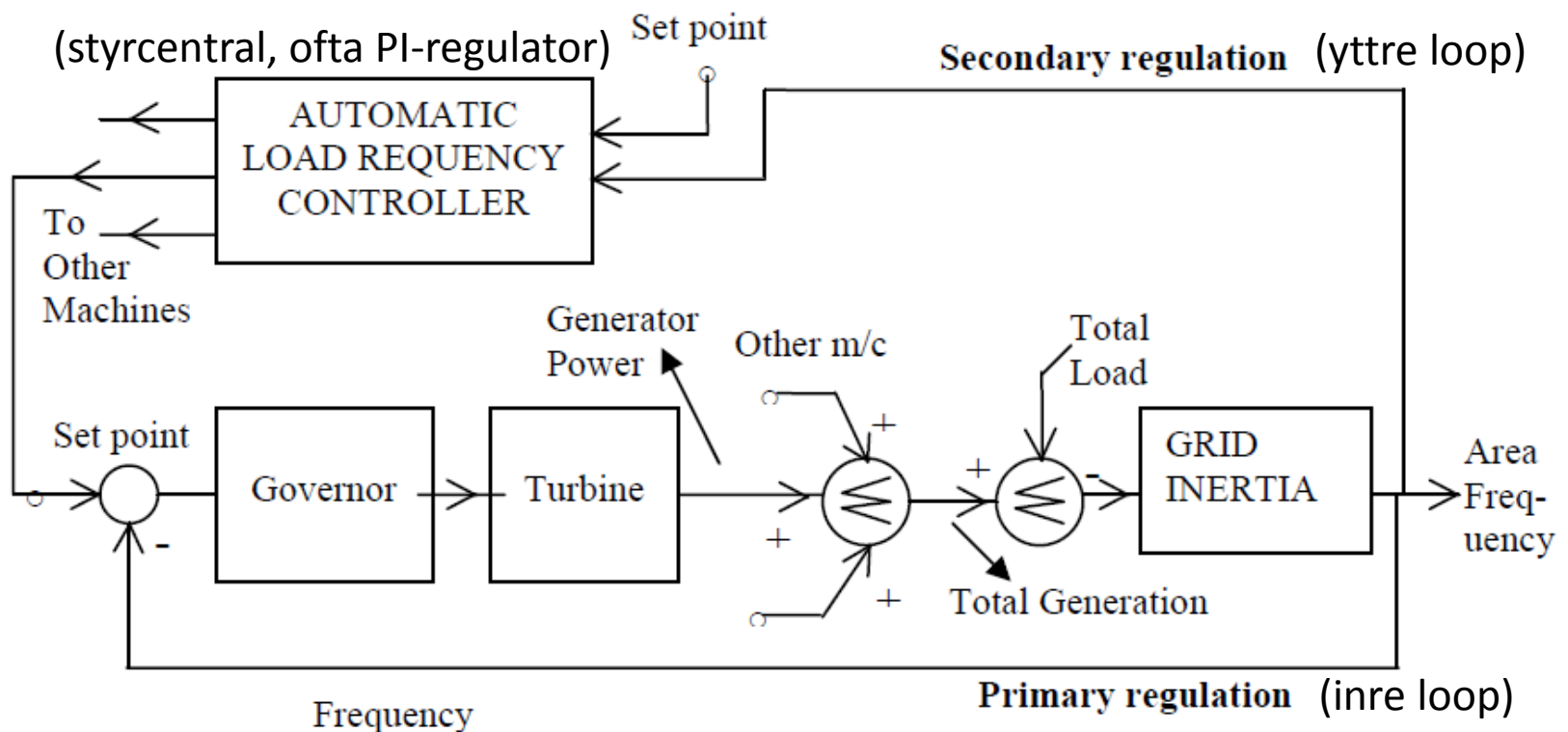
Exempel 2: Automatic Generation Control

- Hur håller elnätet frekvensen 50 Hz? Genom kaskadreglering av alla generatorer!
- Inre loop för en generator:



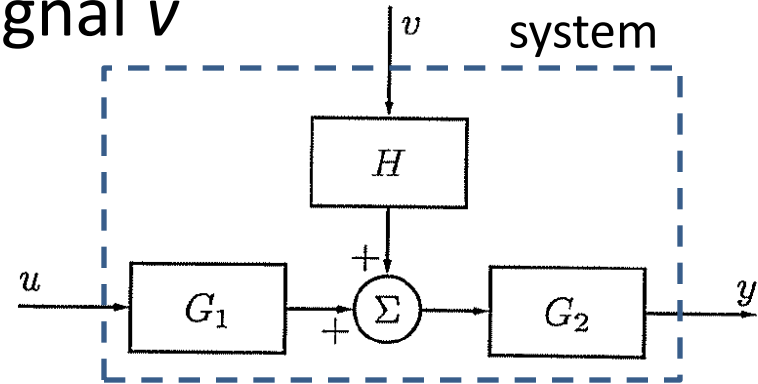
Exempel: Automatic Generation Control

- Hur håller elnätet frekvensen 50 Hz? Genom kaskadreglering av alla generatorer!
- Inre och yttre loop:

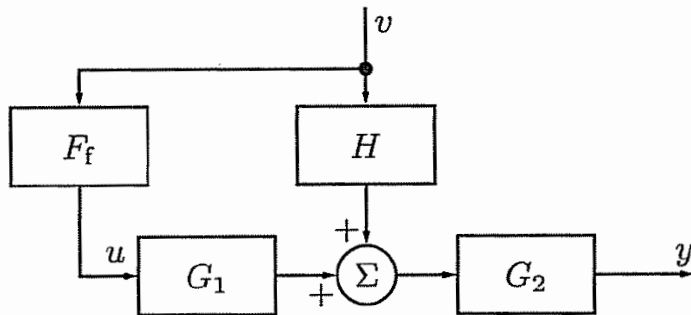


Framkoppling

- Kan mäta systemets störsignal v



- Förkompensera innan störsignal ger fel i y :



$$Y = G_2(H + G_1 F_f)V$$

- Välj framkoppling

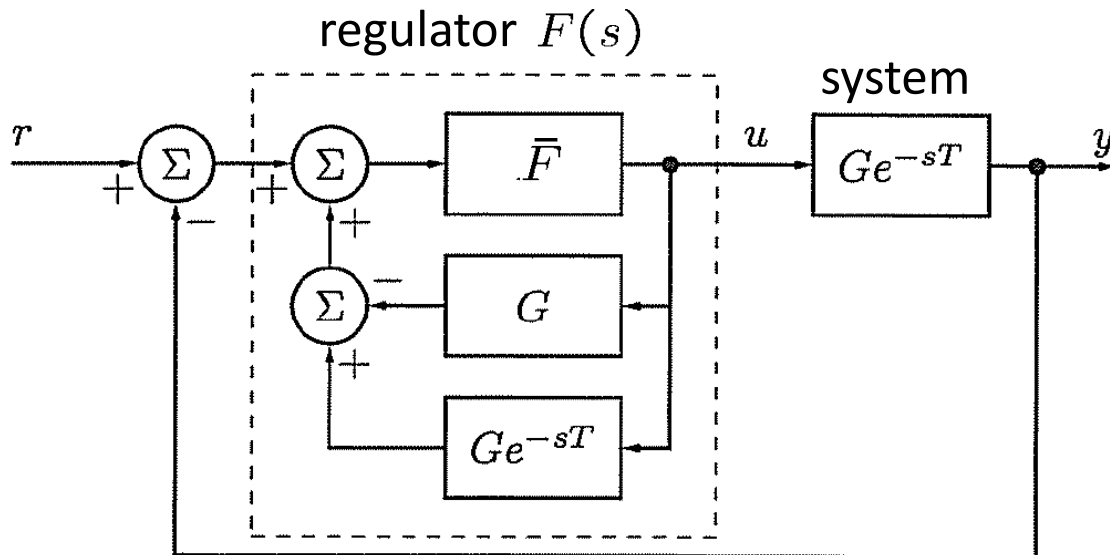
$$F_f(s) = -\frac{H(s)}{G_1(s)}$$

- Derivator i $F_f(s)$ måste approximeras

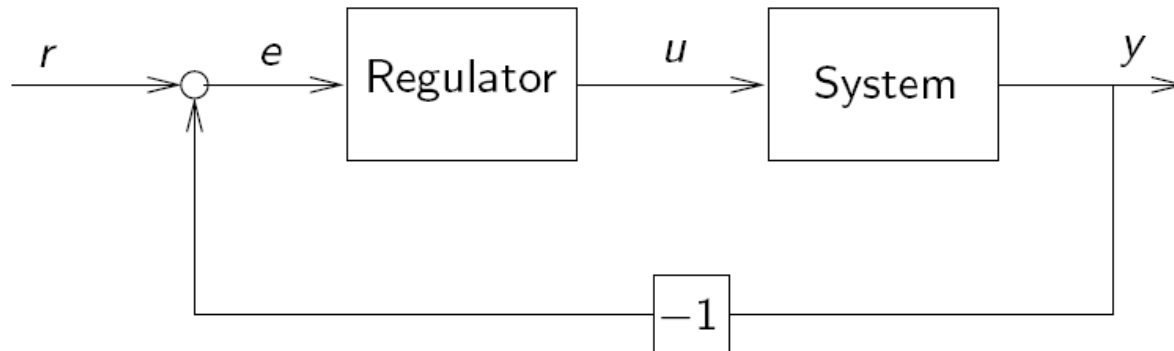
Smith-prediktorn

- Antag vi känner systemets tidsfördröjningen T
- Designa \bar{F} så att $\bar{G}_c = \frac{G\bar{F}}{1 + G\bar{F}}$ blir bra (PID, etc.)
- Smith-prediktorn $F(s) = \frac{\bar{F}(s)}{1 + (1 - e^{-sT})\bar{F}(s)G(s)}$

ger $G_c(s) = \bar{G}_c(s)e^{-sT}$



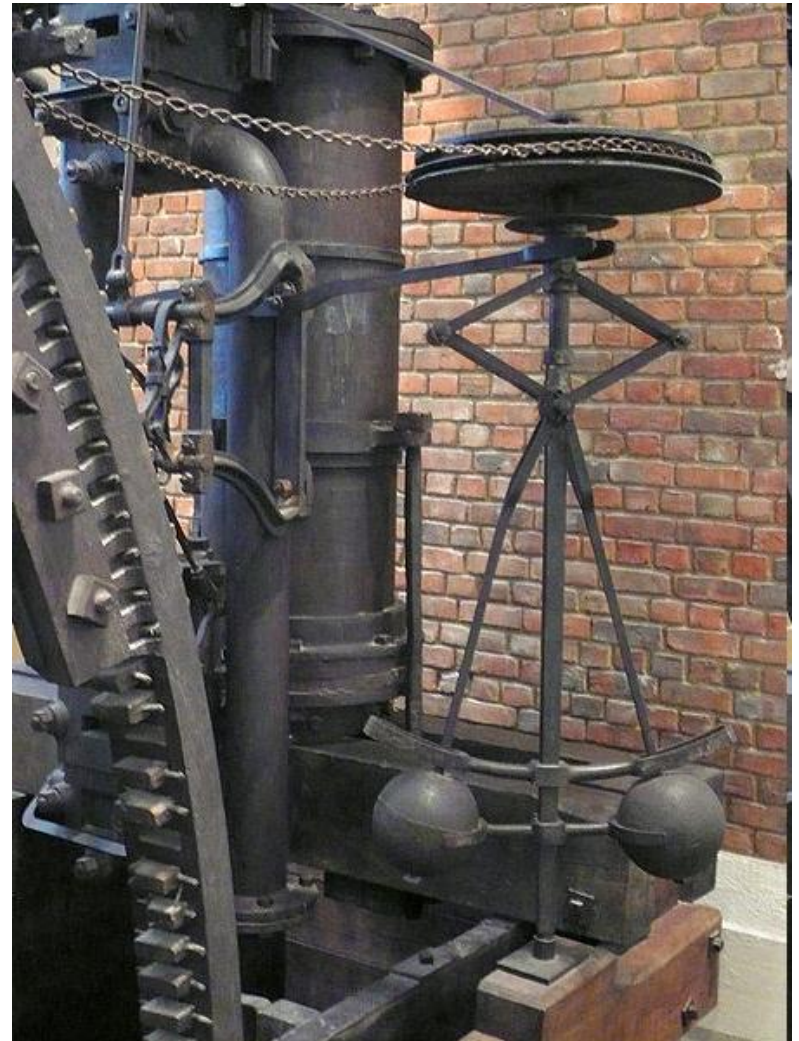
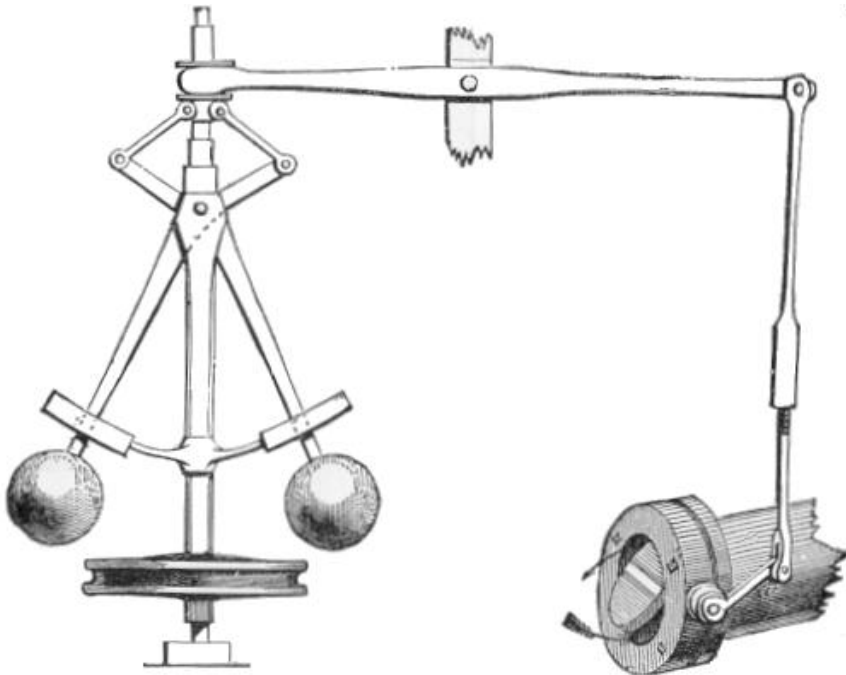
Implementering



- Hur förverkliga sambandet mellan $e(t)$ och $u(t)$?
 - *Analogt*: mekanik, elektronik, pneumatik.
Signaler representeras av spänning, tryck etc.
 - *Digitalt*: programmering.
Signaler representeras av tal i en dator.

Centrifugalregulatorn

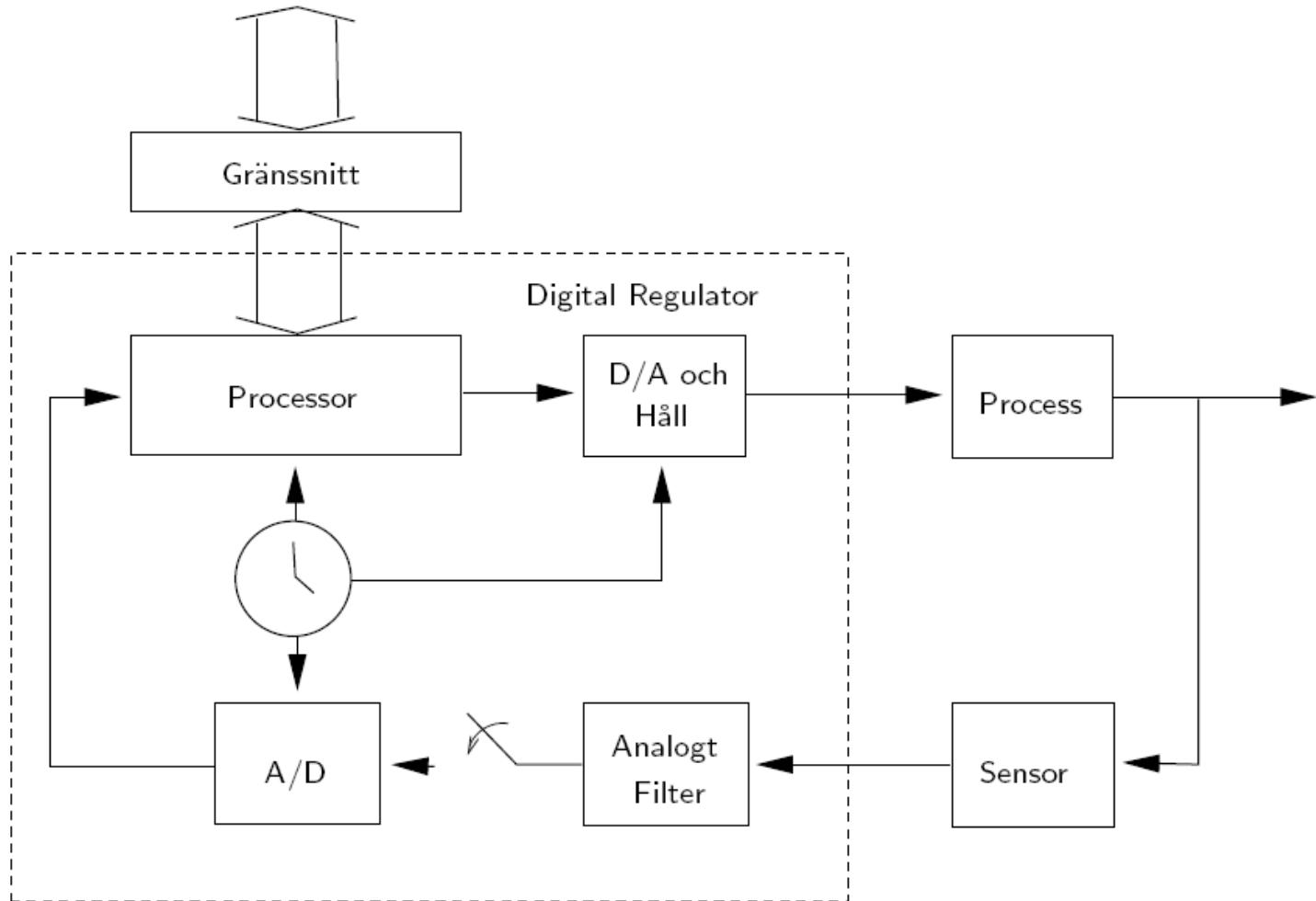
- Mekanisk P(I)-regulator
- James Watt, 1788



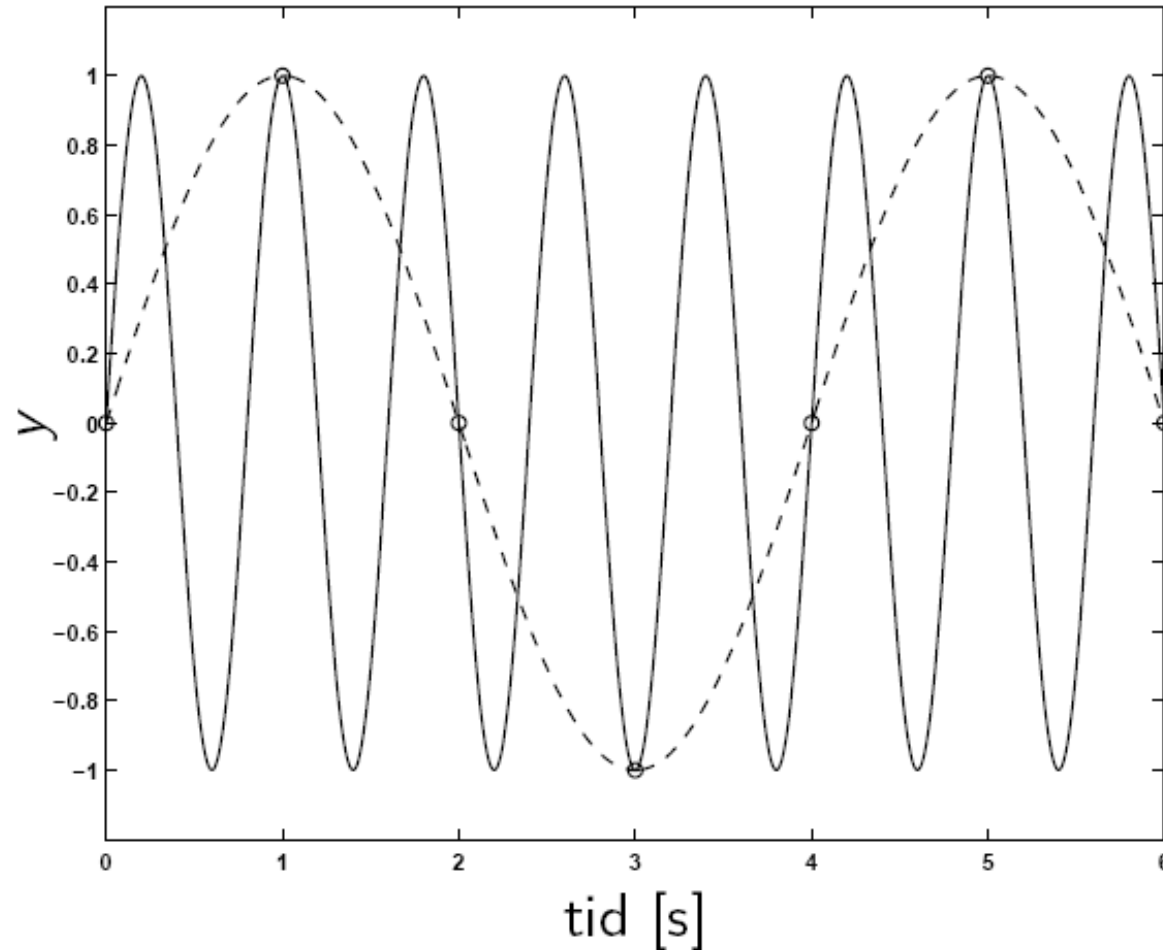
Varför digital implementering?

- Fördelar:
 - + billigt
 - + flexibelt
 - + kan realisera komplicerade samband
- Nackdelar (ty tidsdiskret arbetsätt):
 - ÷ måste approximera $F(s)$
 - ÷ kan ge sämre prestanda
 - ÷ kräver speciell teori

Hur ser den digitala implementeringen ut?



Aliaseffekt

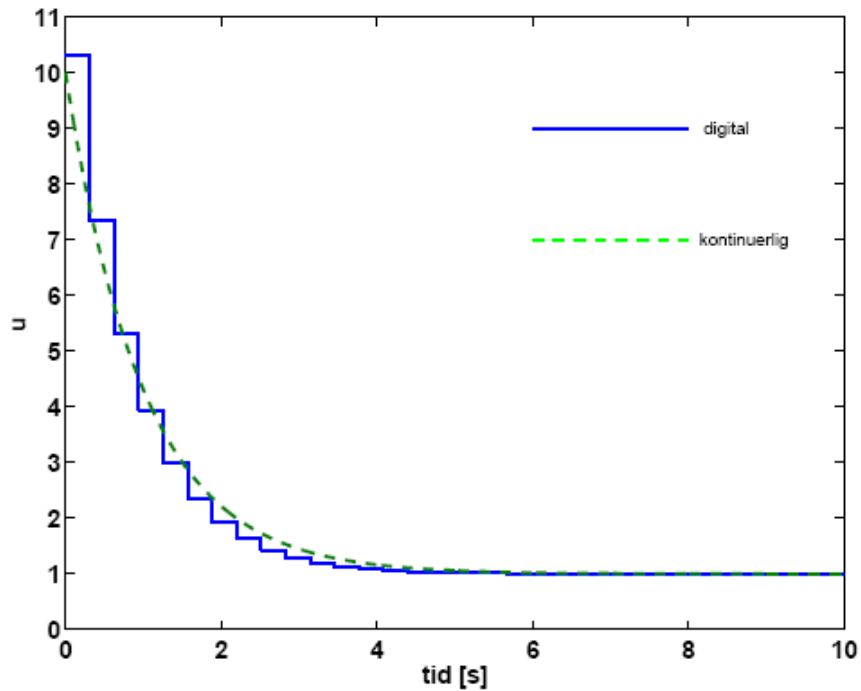


- Signal med frekvens $\omega = 2.5\pi$ uppfattas som signal med frekvens $\omega = 0.5\pi$!

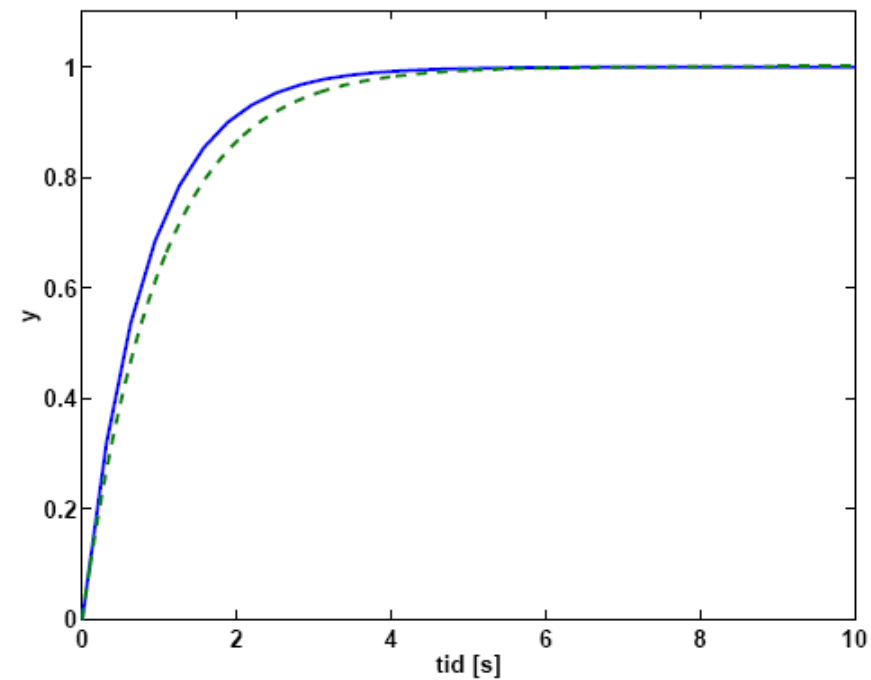
Digital implementering. Eksempel

- Sampeltid $T = 0.3s$

styrsignal u :



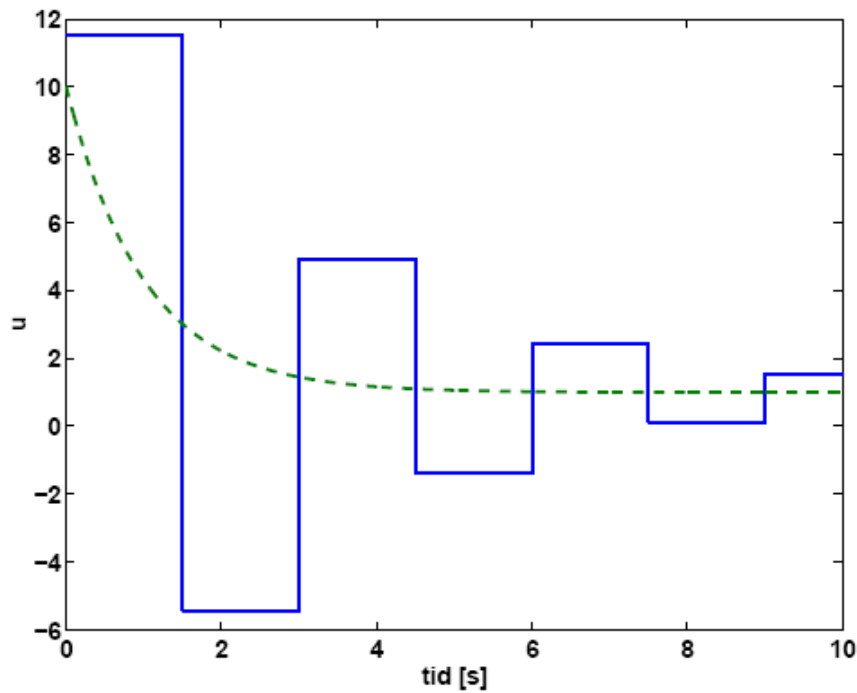
utsignal y :



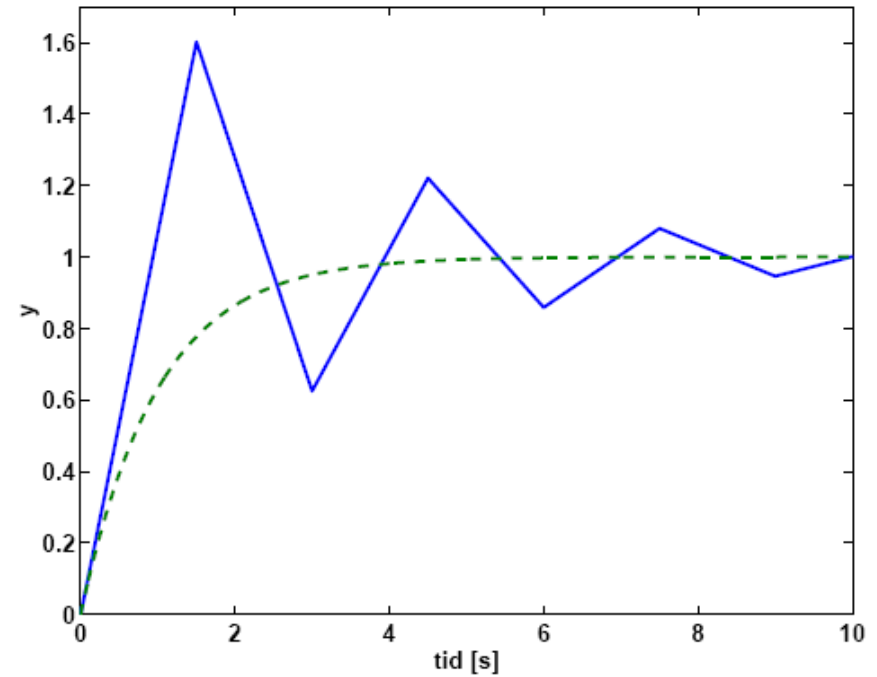
Digital implementering. Exempel

- Sampeltid $T = 1.5s$

styrsignal u :



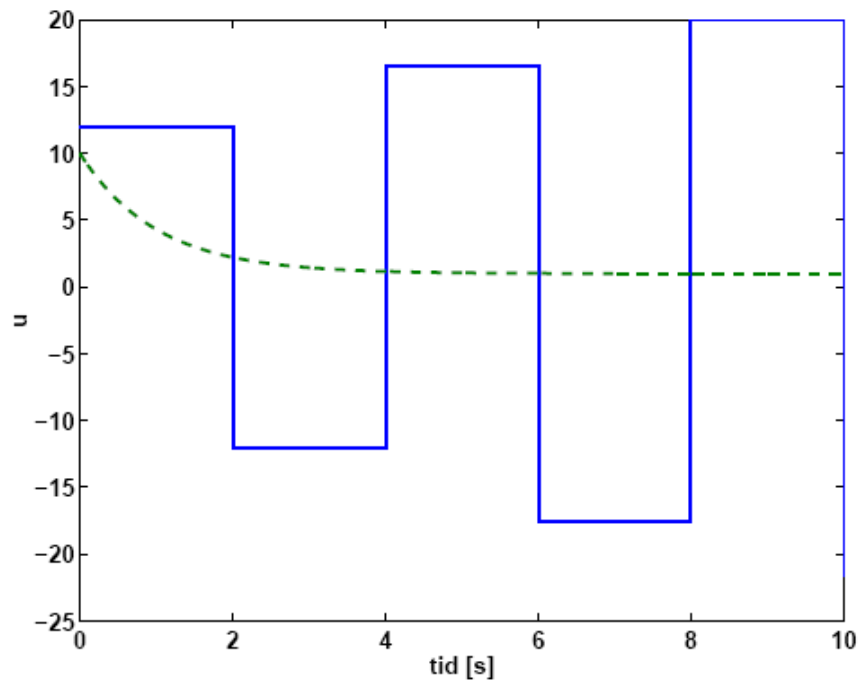
utsignal y :



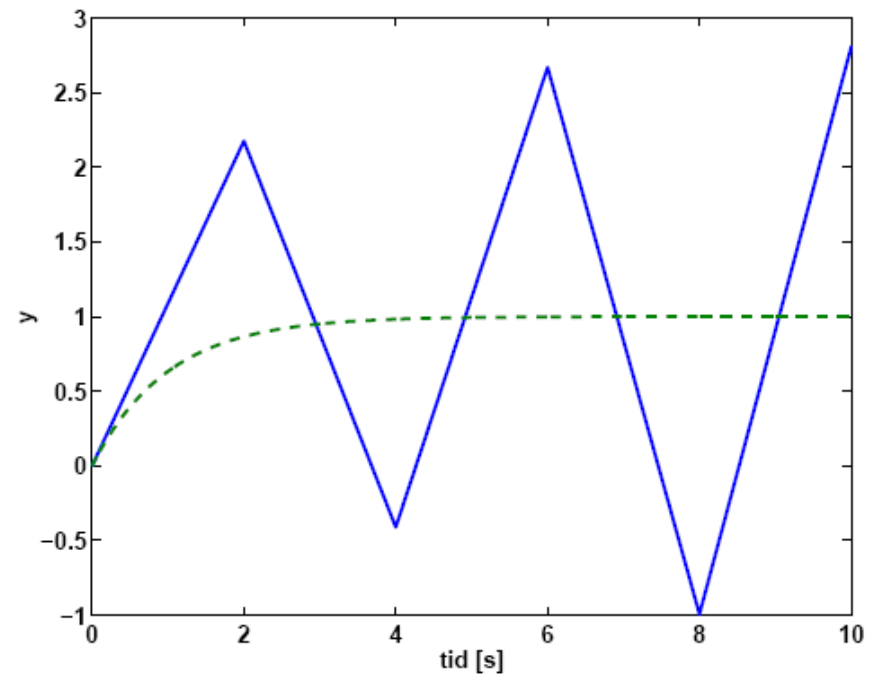
Digital implementering. Exempel

- Sampeltid $T = 2.0s$

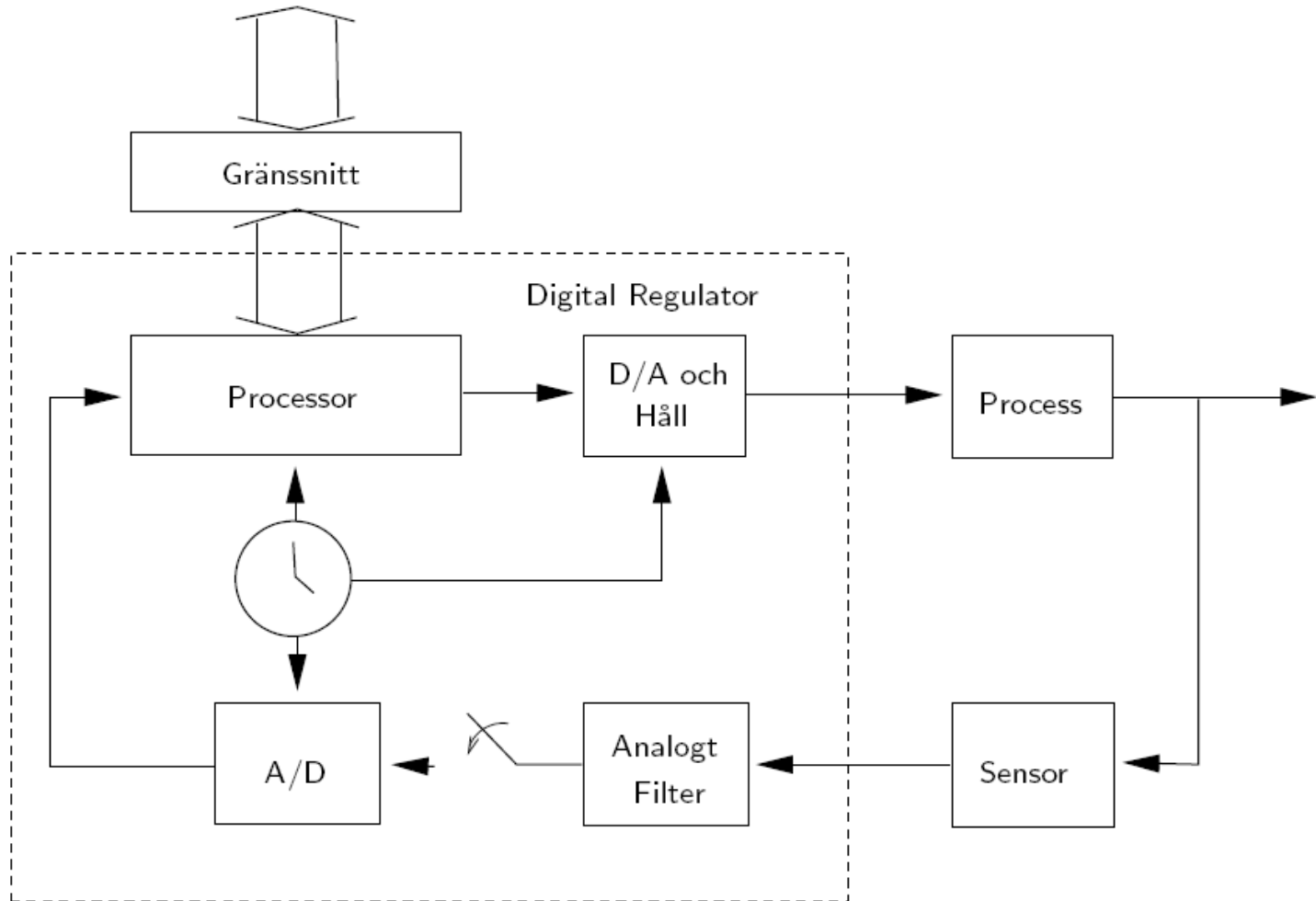
styrsignal u :



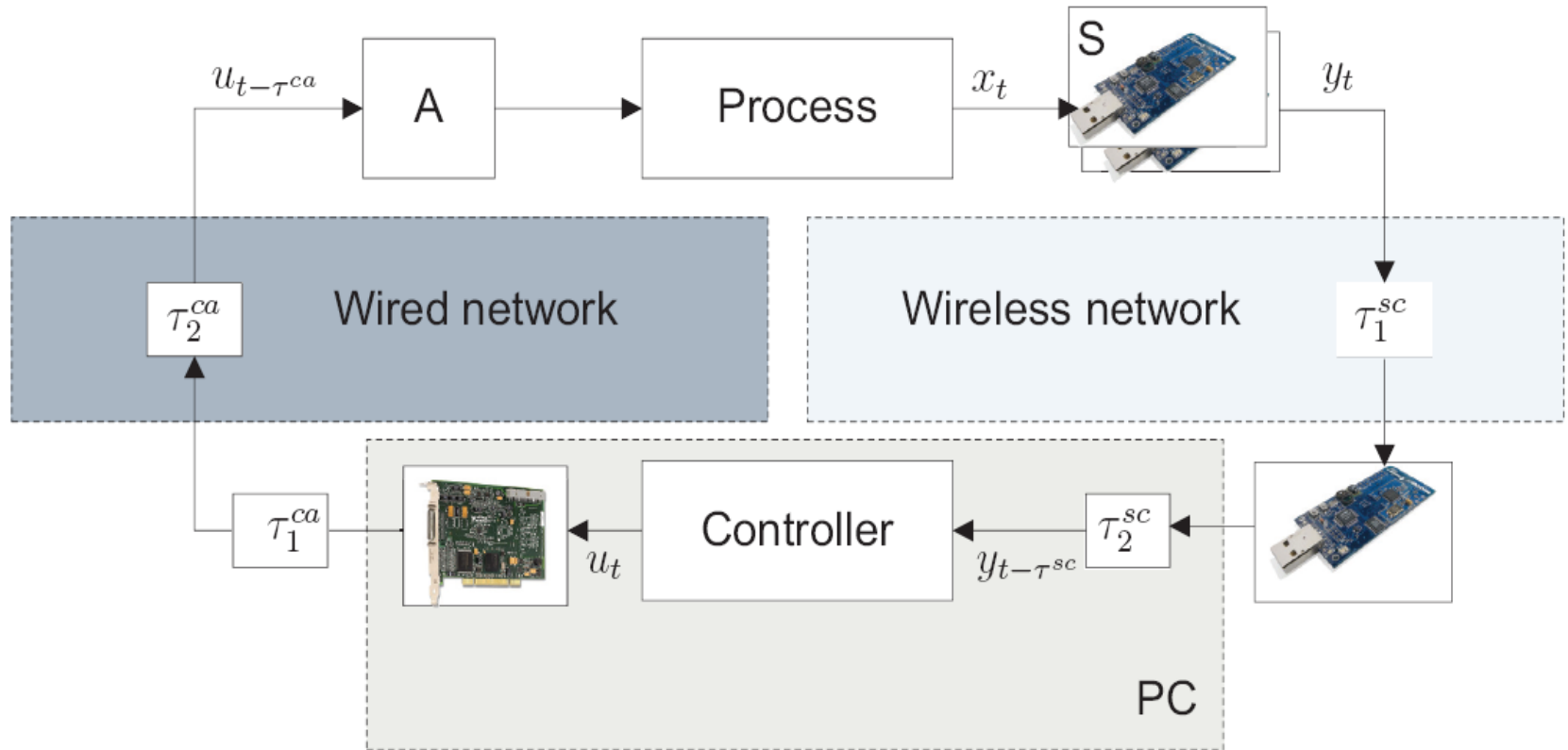
utsignal y :



Hur ser den digitala implementeringen ut?



Wireless Inverted Pendulum



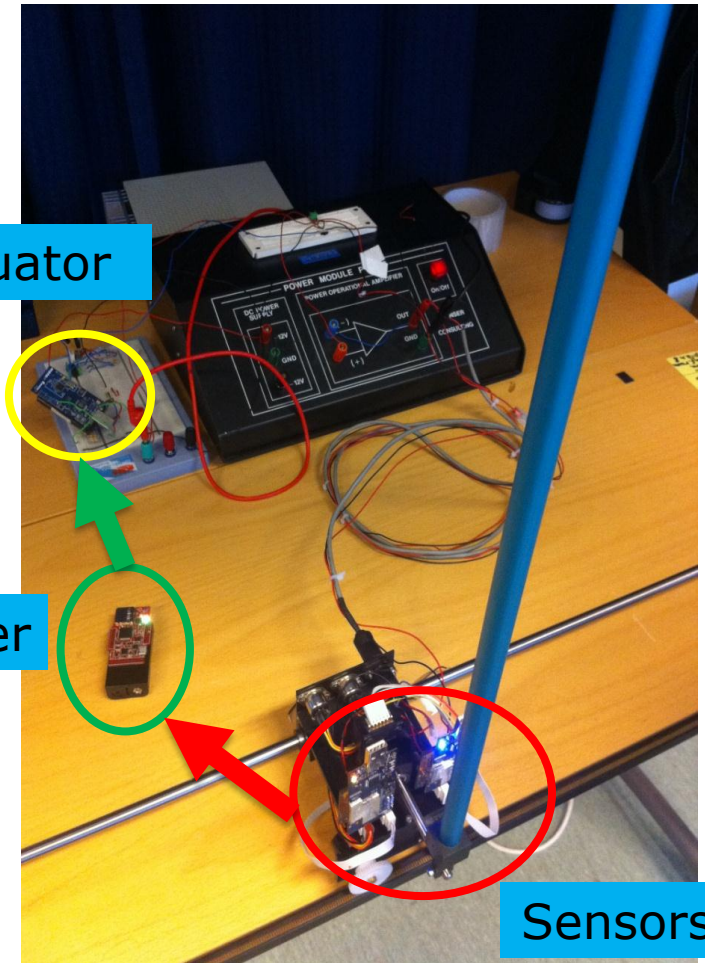
Wireless Inverted Pendulum

- Sampling period of 25ms (Real-Time Control)
- Delay of 50ms
- Controller = Linear Quadratic Controller and Kalman Filter
- System is of 4th order where the states are:
 - Position of the cart
 - Angle of the pendulum
 - The respective velocity of the cart and pendulum

Actuator

Controller

Sensors



Wireless Inverted Pendulum

