

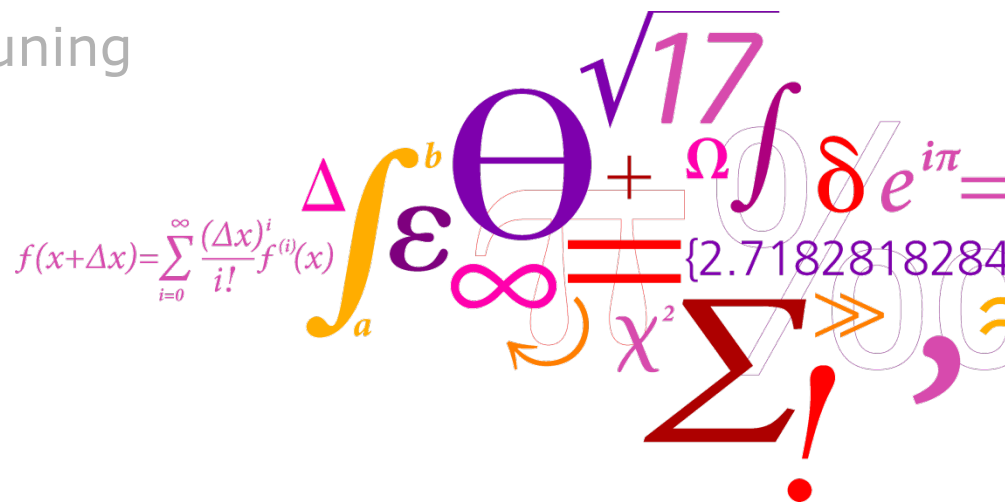
Reguleringsteknik 1

J. Christian Andersen

Kursusuge 2

Plan

- Blokdiagram modellering
 - Hvorfor
 - Elementer
 - Eksempler
- Regulering introduktion
- Regulator design – håndtuning

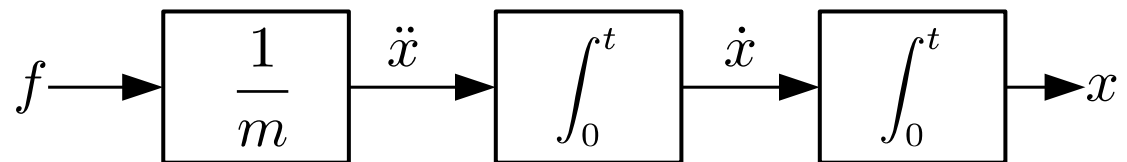


Blokdiagram

- Hvorfor, til hvad?
 - Blokdiagram er **forbindelsesled** mellem fysik og matematik
 - Mellem blokke er værdier der giver **fysisk mening**
 - Blokdiagram giver **overblik**
 - Blokke beskriver forhold mellem input og output (**overføringsfunktion**)
 - Mange blokke kan **enkelt reduceres** til få
 - Kan let give overføringsfunktion fra et input til et output

Newton:

$$f = m\ddot{x}$$



$$x = \int_0^t \int_0^t \frac{1}{m} f(t) dt^2$$

Blokdiagram

Y er output og x er input:

$$y = ax + by$$

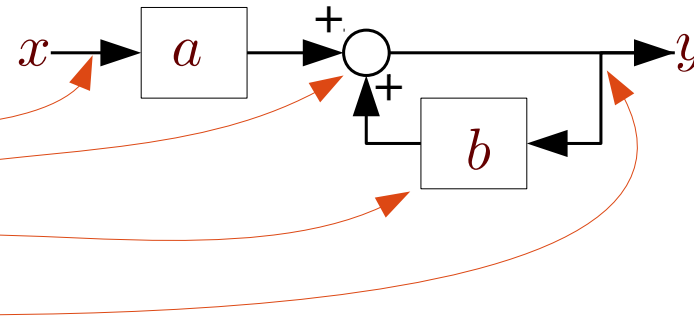
- **Lineært** blokdiagram

- Grundelementer:

- **Signaler**
- **Summationsblok**
- **Multiplikationsblok**
- **Forgrening**

- Input og output

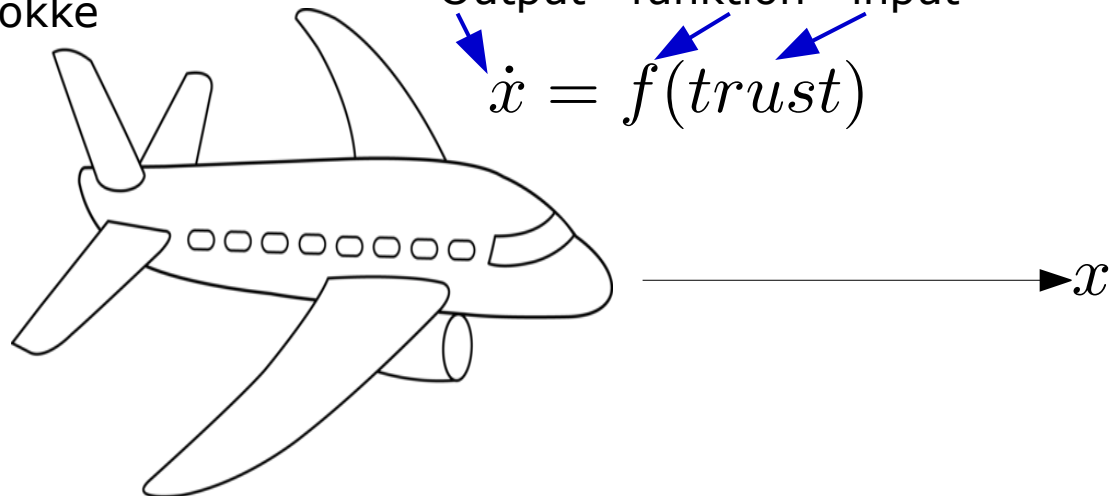
- Integration er tilladt
- Kan udvides til ulineære blokke
 - f.eks. begrænser



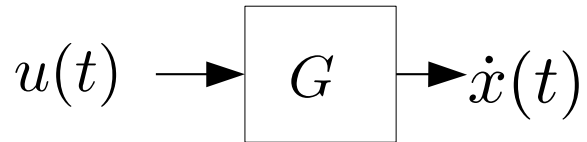
Eksempel:

Output funktion input

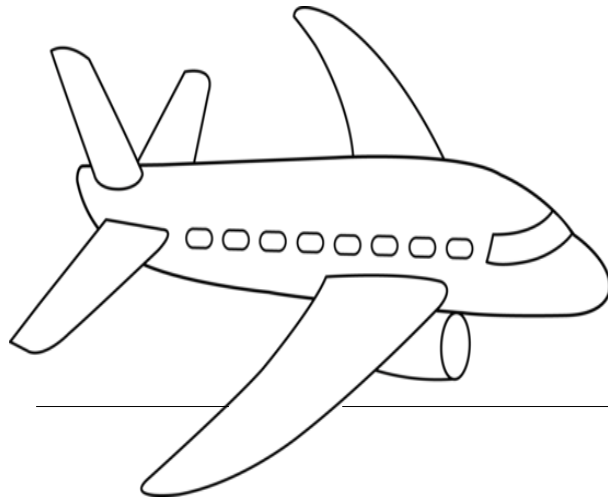
$$\dot{x} = f(\text{trust})$$



Blokdiagram - eksempel

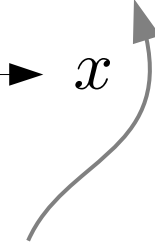


$$u(t) = \text{trust [N]}$$



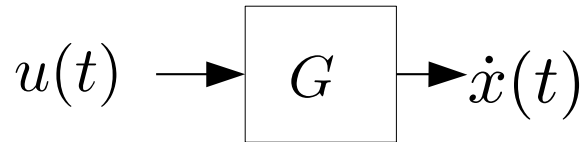
Delelementer i matematik
her:
Højde er konstant,
Drag er:

$$D = k\dot{x}$$

$$\dot{x}(t) = \int_0^t \frac{1}{m}(u(t) - D(t))dt + \dot{x}_0$$


Vi ser bort fra startværdi
(starter med hastighed 0 i stor højde ;)

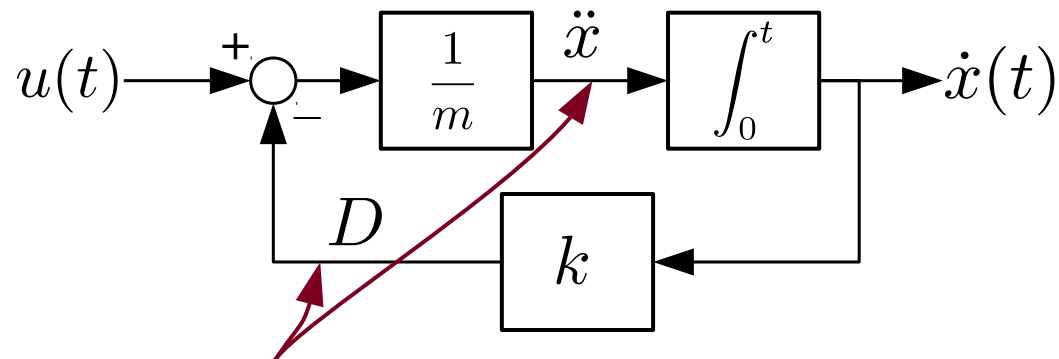
Blokdiagram



$$u(t) = \text{trust [N]}$$

$$D = k\dot{x}$$

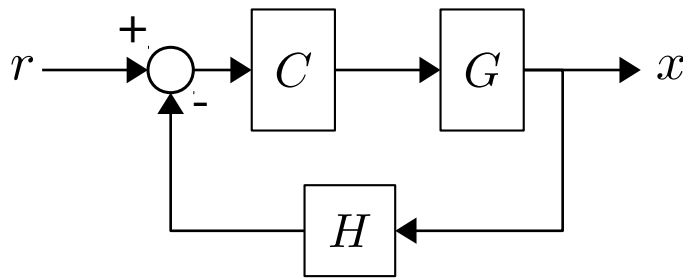
$$\dot{x}(t) = \int_0^t \frac{1}{m}(u(t) - D(t))dt$$



Giver fysisk mening
(letter fejlfinding og forståelse)

Blokmodel

– reduktion til overføringsfunktion



$$= r \rightarrow \boxed{\frac{GC}{1 + GCH}} \rightarrow x$$

$$x = GC(r - Hx) \quad \leftarrow \text{Start med output, trinvis mod input}$$

$$x = GCr - GCHx$$

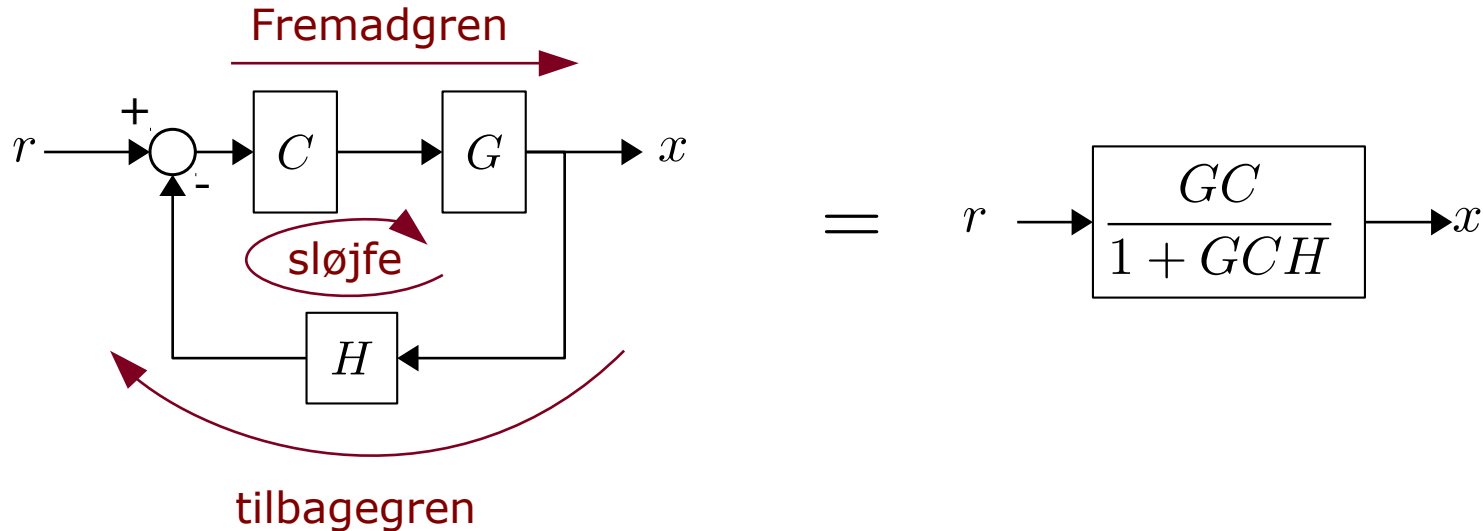
$$x + GCHx = GCr$$

$$x(1 + GCH) = GCr$$

$$\frac{x}{r} = \frac{GC}{1 + GCH} \quad \leftarrow \text{Overføringsfunktion}$$

Blokmodel

– reduktion til overføringsfunktion - **sløjfe**



For en sløjfe, gælder generelt:

- *Overføringsfunktion er en brøk, med*
- *Fremadgren i tæller, og*
- *1 plus hele sløjfen (på nær minus) i nævner*

Blokreduktion

Anvendes Laplace transformation
udtrykkes integration som $1/s$,

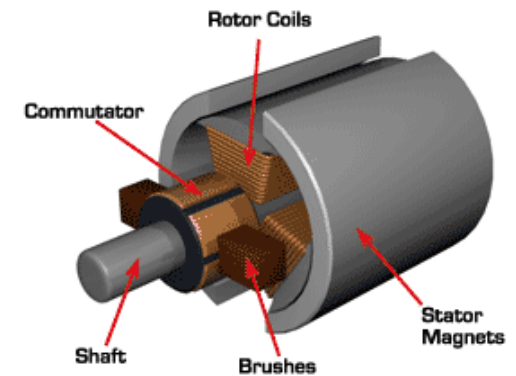
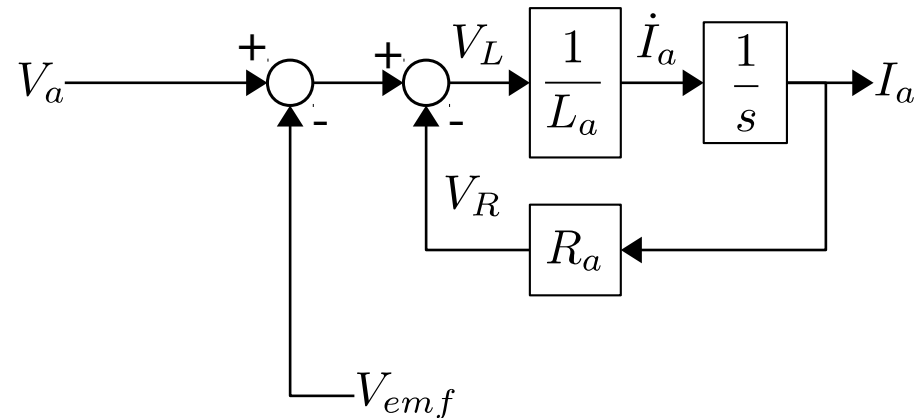
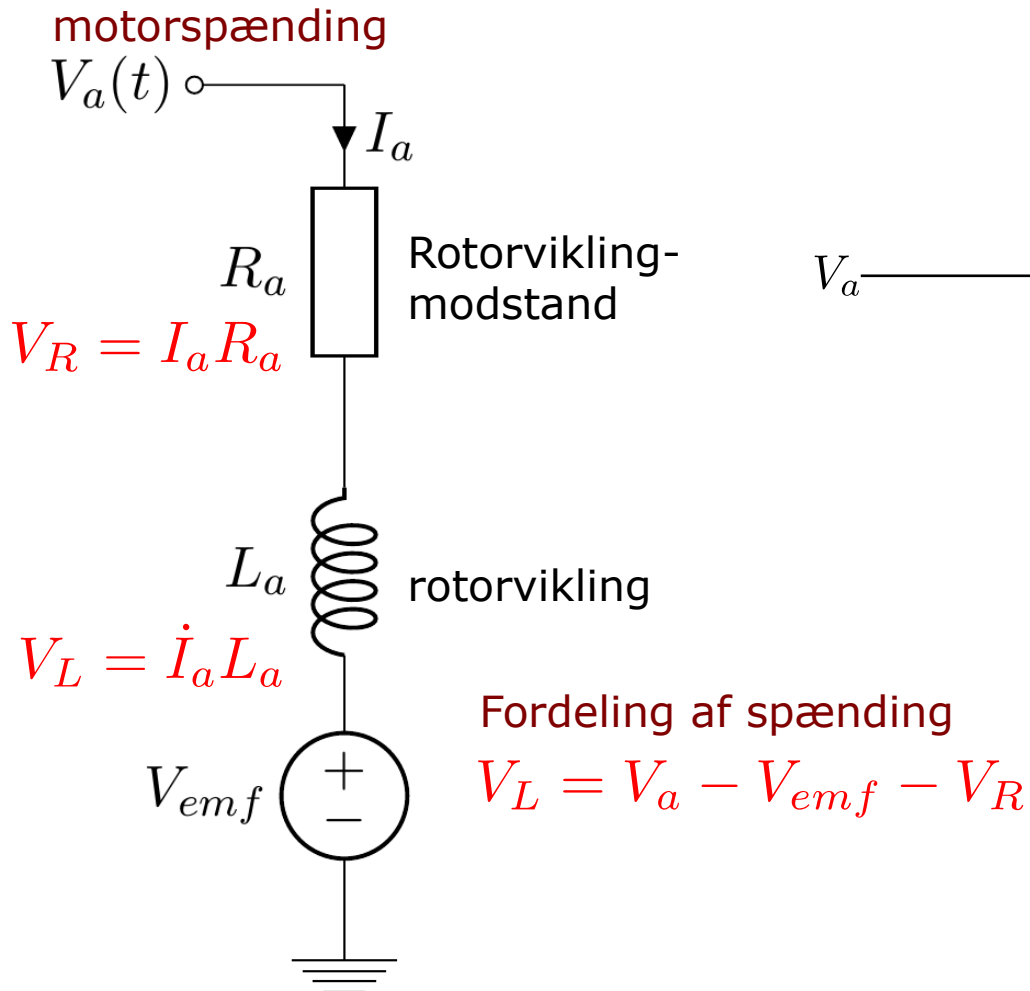
$$\boxed{\int_0^t} = \boxed{\frac{1}{s}}$$

Og omvendt betyder s differentiering

- og s skal ikke forveksles med sekund

Vi vil bruge s og $1/s$ som notation, og antage at
vi kan bruge regneregler som var s en variabel
(mere om Laplace næste gang)

Motor model – for ankerstrøm I_a



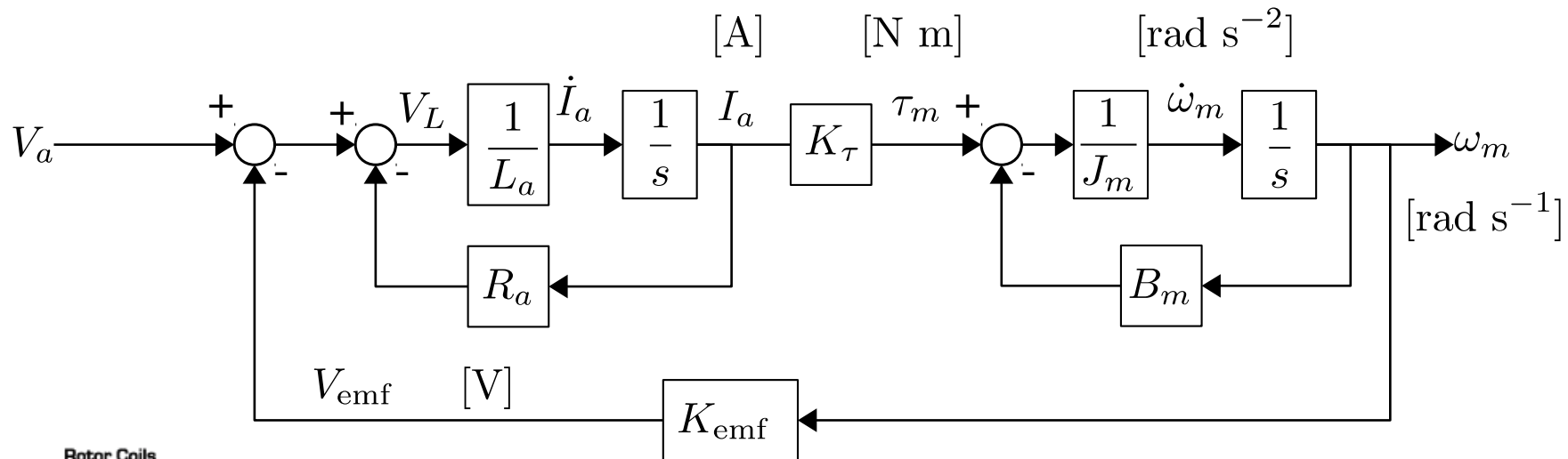
Motormodel

- Motormoment

$$\tau_m = K_\tau I_a$$

- Back emf

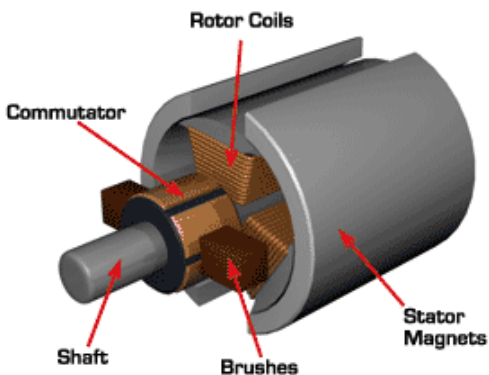
$$V_{\text{emf}} = K_{\text{emf}} \omega_m$$



J_m = intertimoment

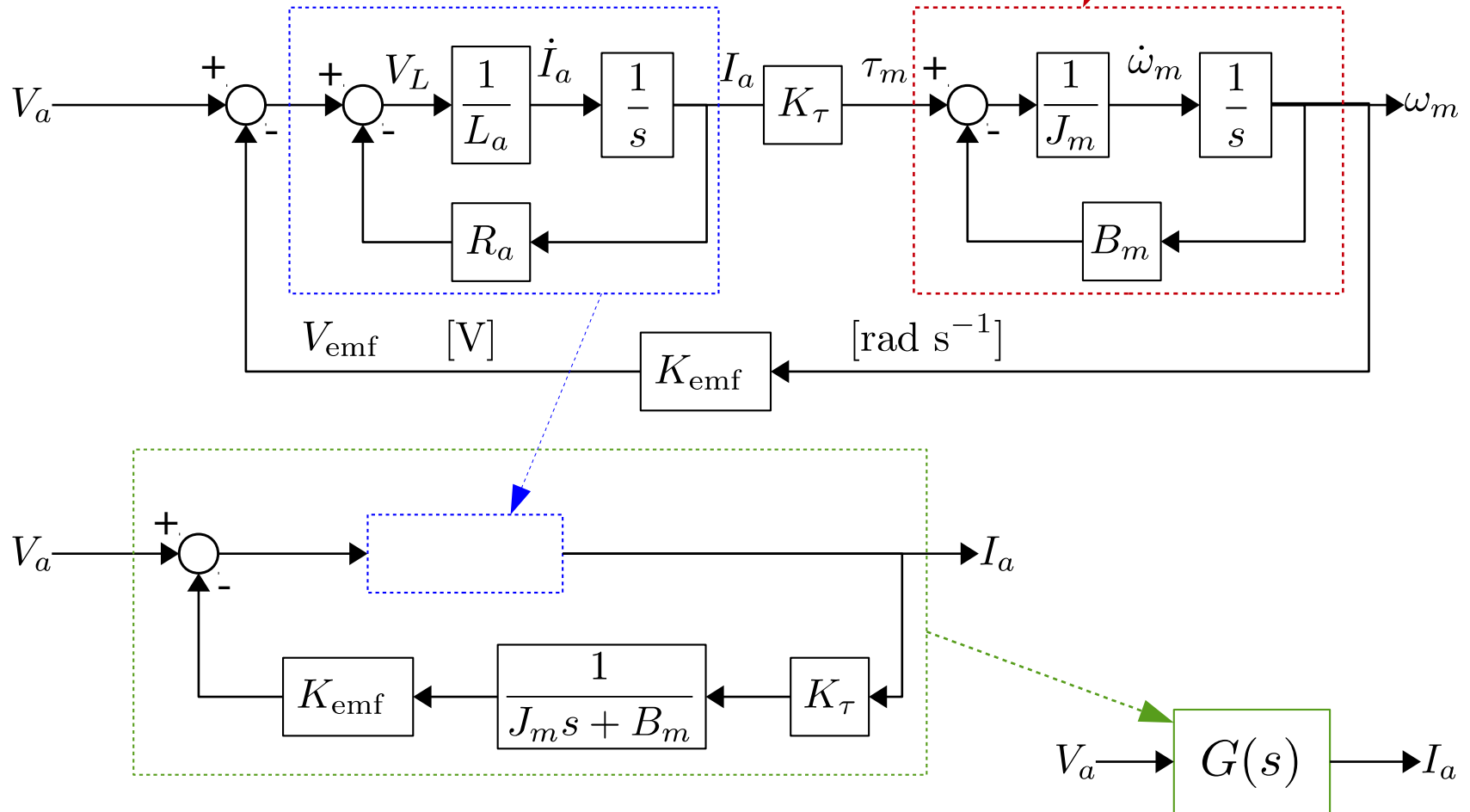
B_m = friktion (viskos)

$K_{\text{emf}} = K_\tau$ med SI enheder



Motormodel - ankerstrøm

$$\frac{1}{J_m s + B_m}$$



Fra overføringsfunktion til blokdiagram model (I)

$$G(s) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$

Blokmodel med integratorer?

$$V_2(s^2 + a_1 s + a_0) = b_0 V_1$$

$$V_2 s^2 = b_0 V_1 - a_1 V_2 s - a_0 V_2$$

$$\ddot{V}_2 = b_0 V_1 - a_1 \dot{V}_2 - a_0 V_2$$

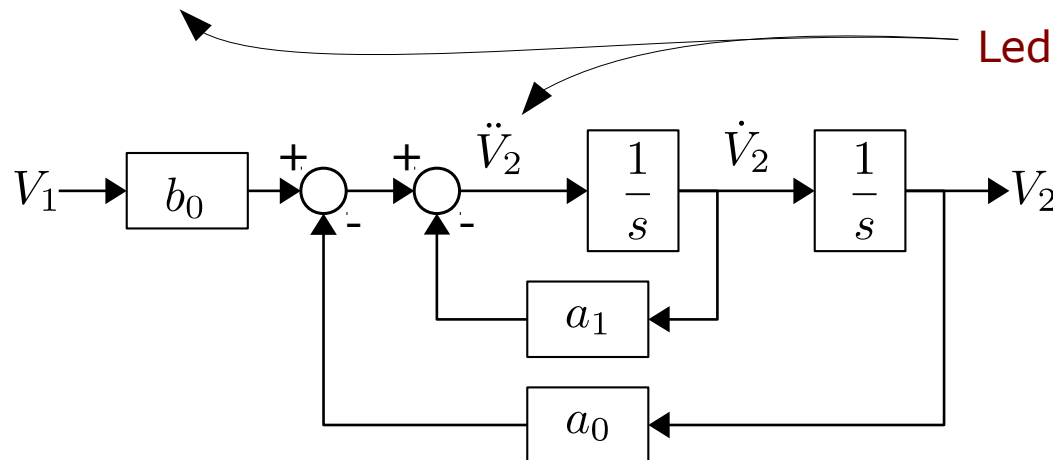
Fra overføringsfunktion til blokdiagram model (II)

$$G(s) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$

Blokdiagram?

$$\ddot{V}_2 = b_0 V_1 - a_1 \dot{V}_2 - a_0 V_2$$

Led med højeste potens



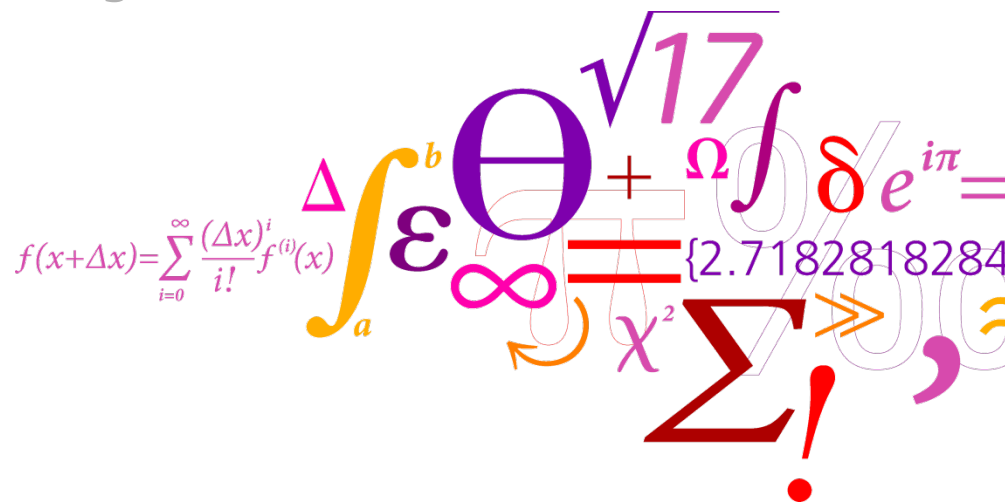
Reguleringsteknik 1

J. Christian Andersen

Kursusuge 2

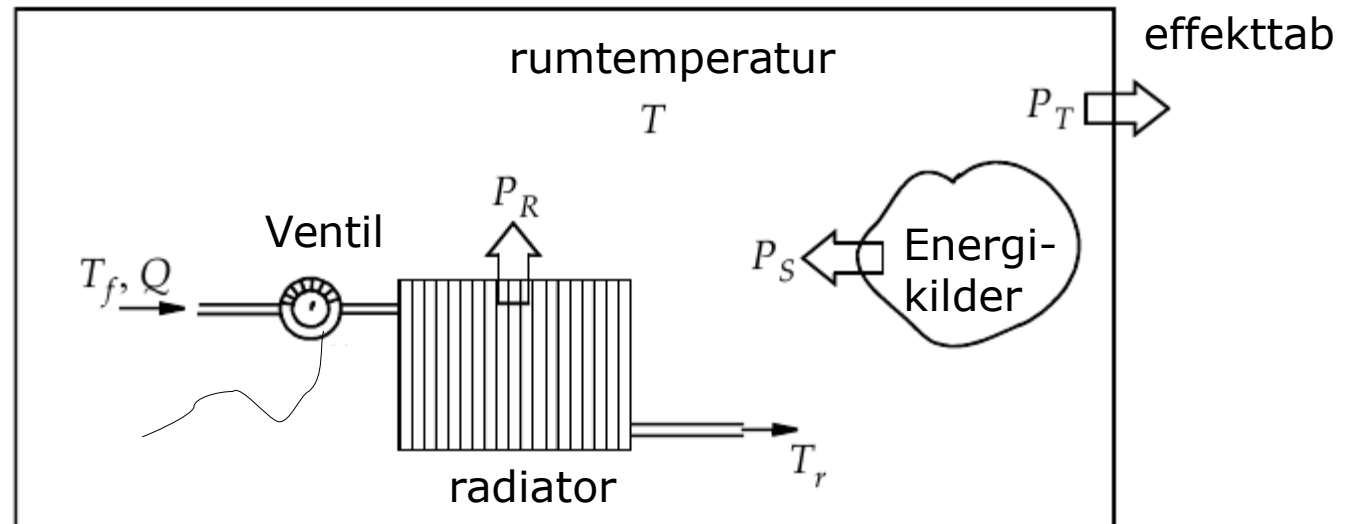
Plan

- Blokdiagram modellering
- Regulering introduktion
 - Systemmodel
 - Reguleringssløjfe
- Regulator design – håndtuning



Regulering introduktion

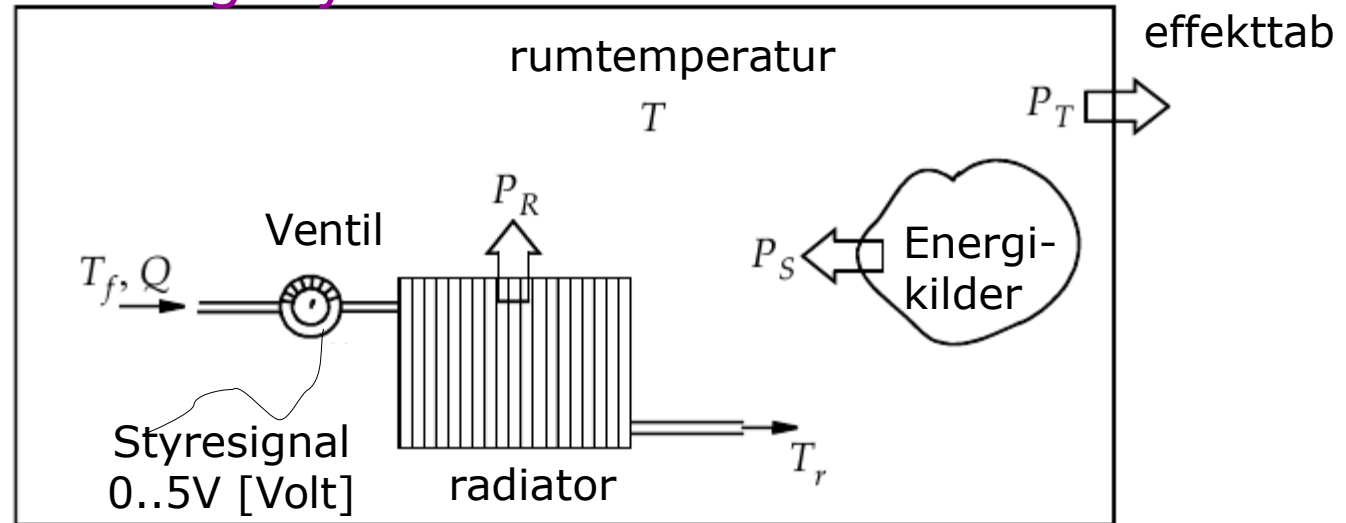
- Varmesystem for lokale
- Input påvirkning-muligheder?
- Output? Hvad vil vi styre?
- Hvad er forstyrrelser?



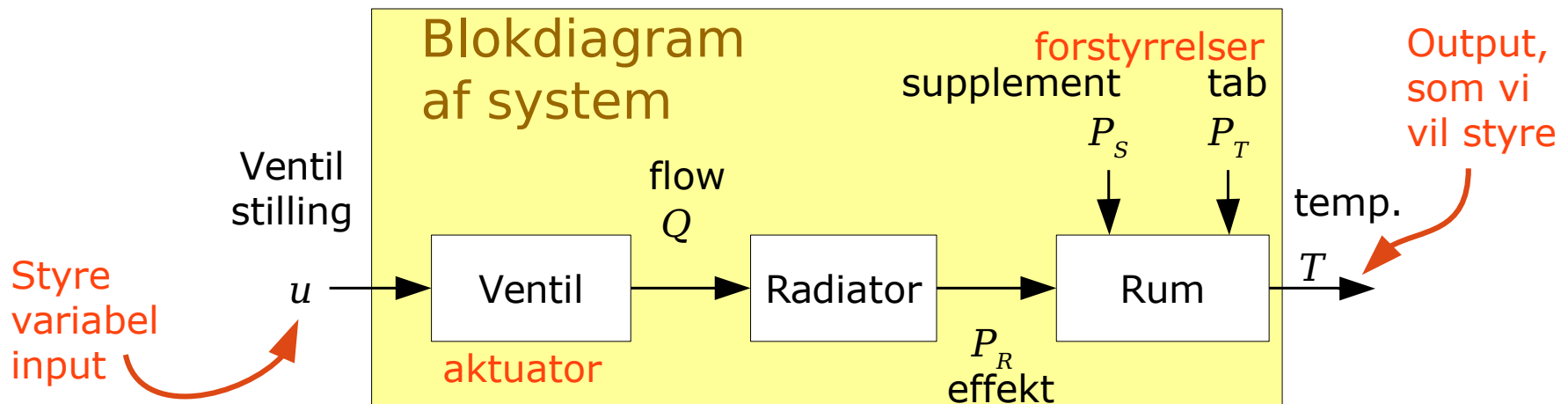
Modellering af system

- Varmesystem for lokale
- Input påvirkning-muligheder?
- Output? Hvad vil vi styre?
- Hvad er forstyrrelser?

Virkeligt system

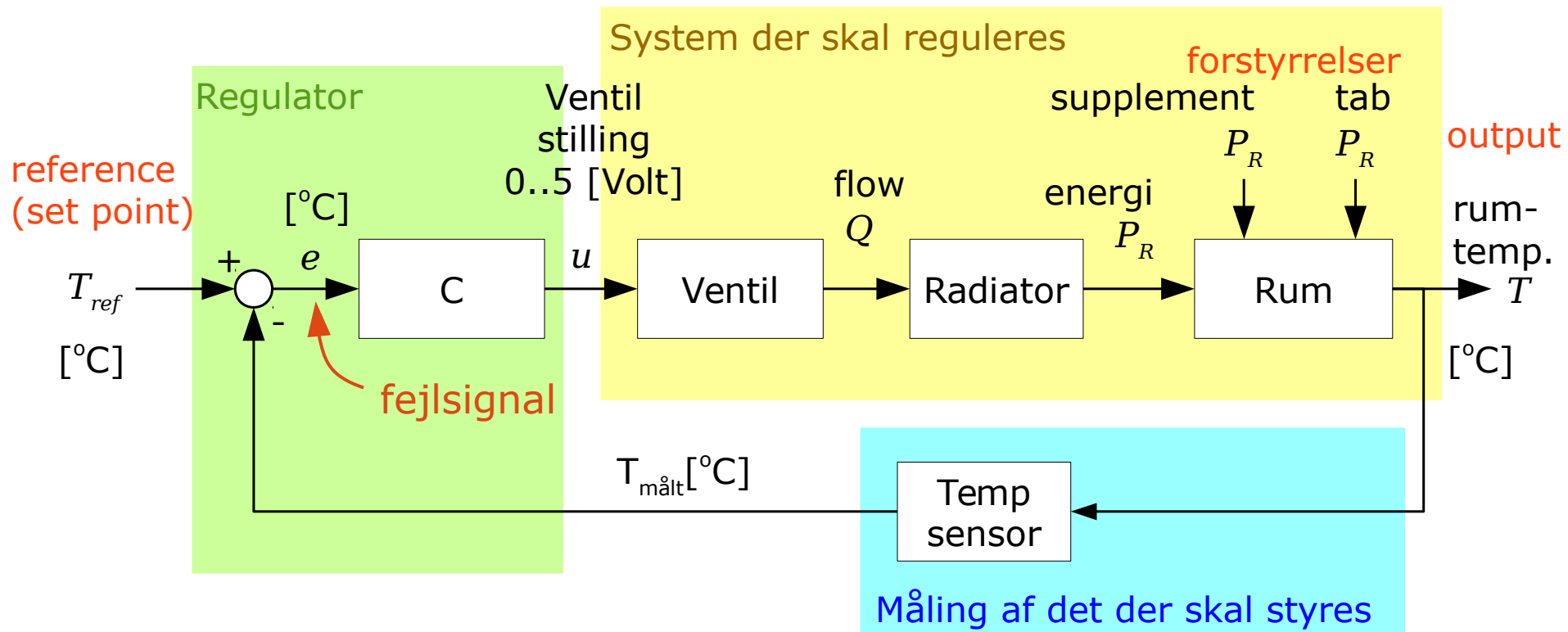


Blokdiagram af system



Blokdiagram Lukket sløjfe regulator

- Reguleret system



- Hvad skal regulatoren sørge for?*

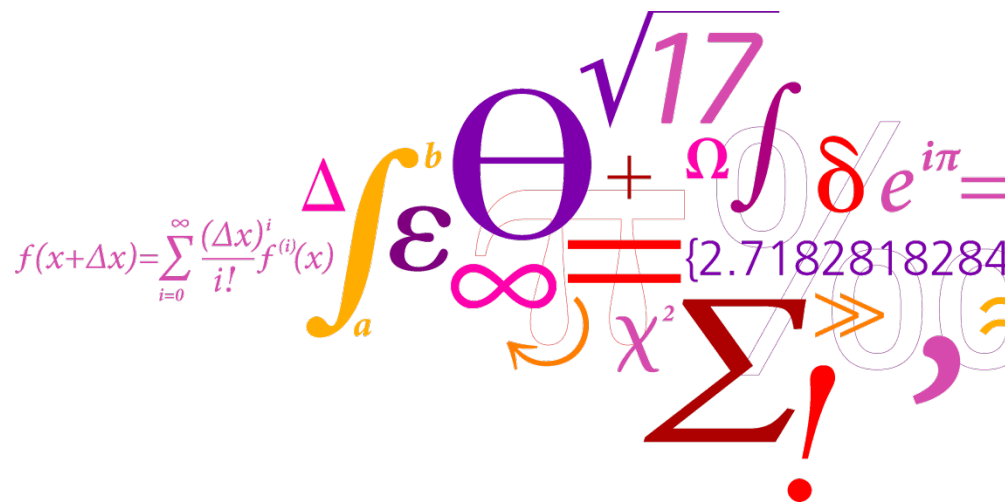
Reguleringsteknik 1

J. Christian Andersen

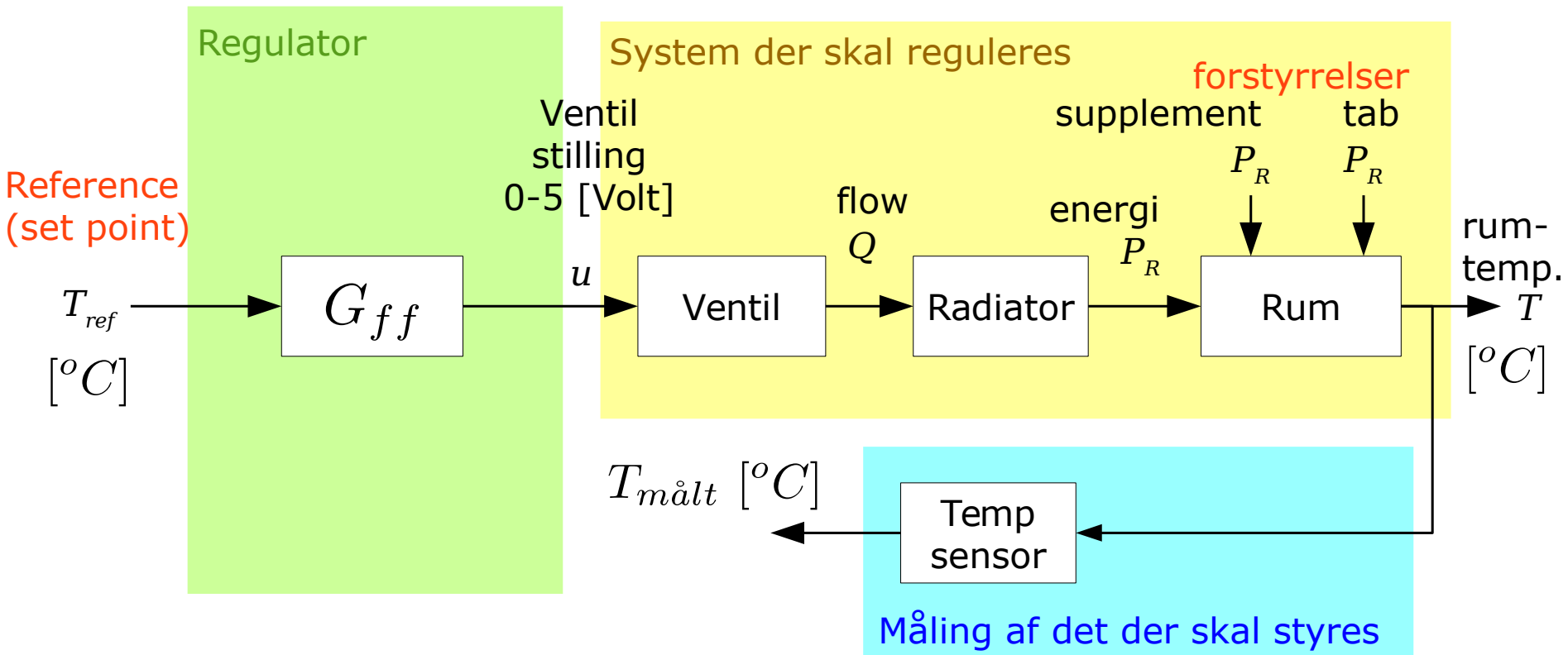
Kursusuge 2

Plan

- Blokdiagram modellering
- Regulering introduktion
- **PID regulator design – håndtuning**
 - FF : feed forward
 - P : proportionalregulator (konstant)



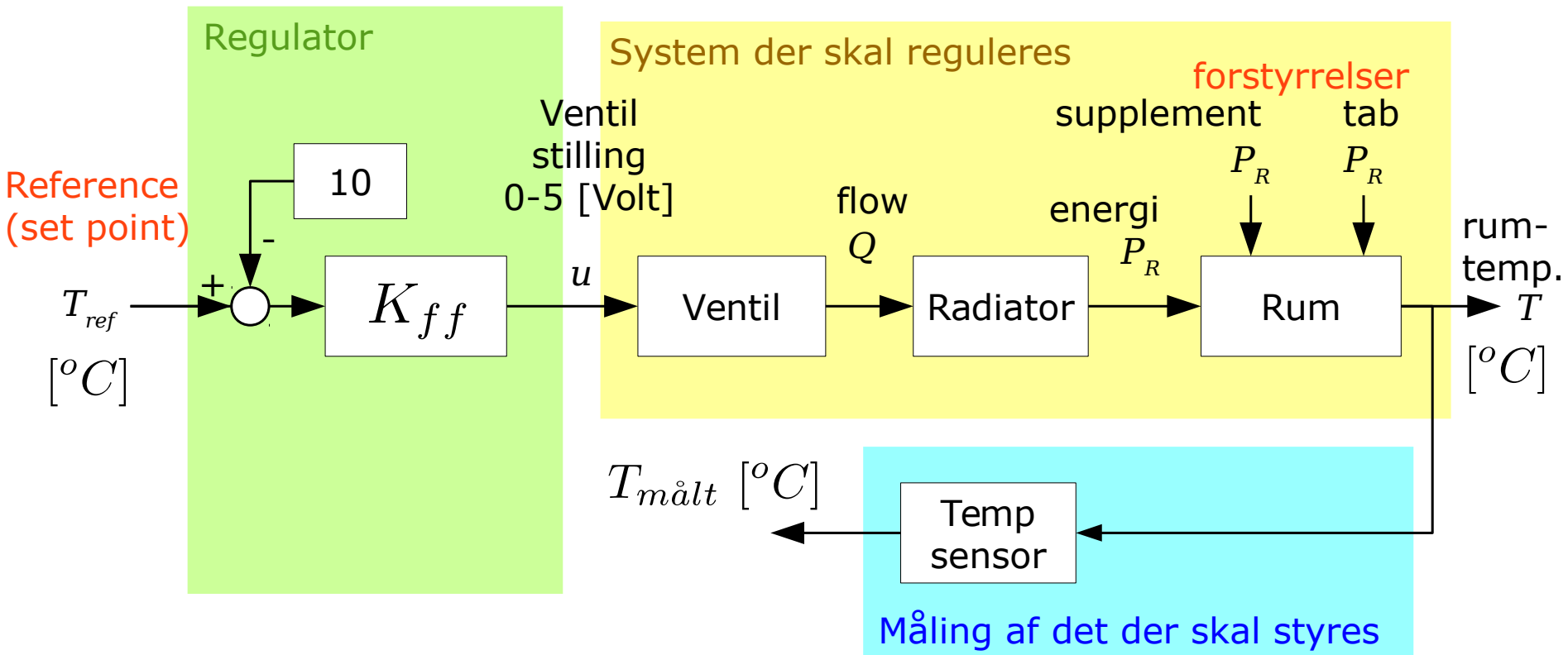
Feed forward regulator



- $u = G_{ff} \cdot T_{ref}$
- Test viser:
- $u = 0 \Rightarrow T_{målt} = 10^{\circ}C$
- $u = 5 \Rightarrow T_{målt} = 30^{\circ}C$

$$G_{ff} = ?$$

Feed forward regulator



- $u = G_{ff} \cdot T_{ref}$
- Test viser:
- $u = 0 \Rightarrow T_{målt} = 10^{\circ}C$
- $u = 5 \Rightarrow T_{målt} = 30^{\circ}C$

$$G_{ff} = 0.25(T_{ref} - 10)$$

$$G_{ff} = K_{ff}(T_{ref} - 10)$$

Udfordringer?

Feed forward

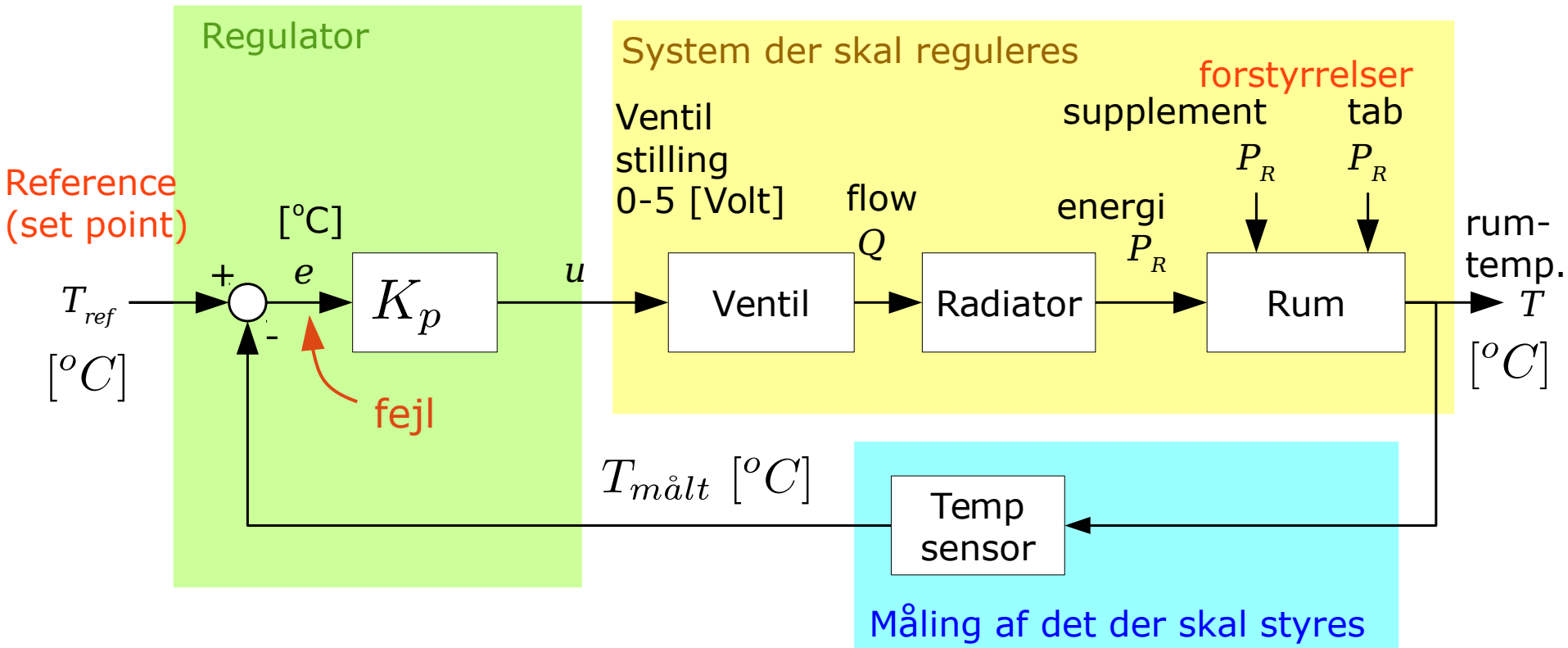
- Feed forward regulator (med konstant gain)
 - Kræver:
 - at output er proportionalt med input
(her temperatur er proportional med ventilsignal u)
 - Fordel:
 - Giver ikke ustabilitet
 - U -signalet (aktuator-signal) er konstant (for konstant reference)
 - Ulemper:
 - Tager ikke hensyn til forstyrrelser
- Hvad så med en P-regulator?

P-regulator

Lukket sløjfe regulator

$$u = 0 \Rightarrow T_{m\grave{a}lt} = 10^{\circ}C$$

$$u = 5 \Rightarrow T_{m\grave{a}lt} = 30^{\circ}C$$



$$u = K_p \cdot e$$

$$e = T_{ref} - T_{m\grave{a}lt}$$

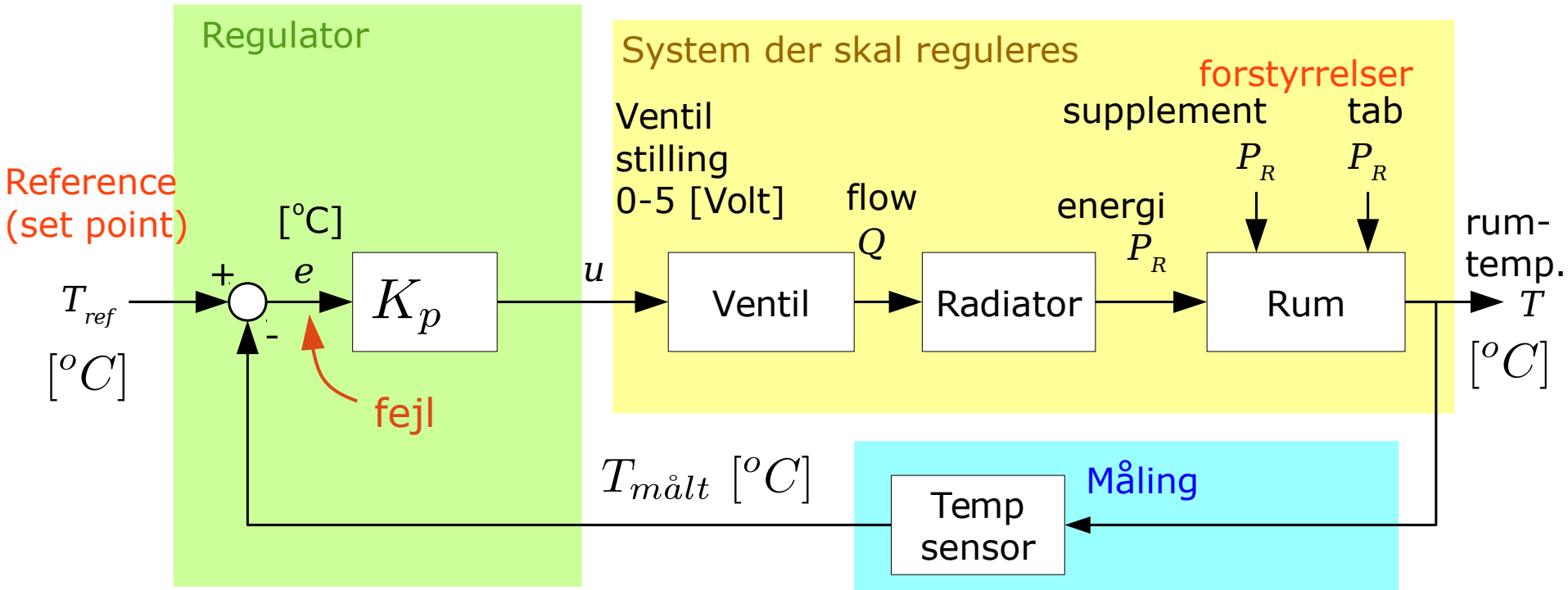
$$K_p = ?$$

P-regulator

Lukket sløjfe regulator

$$u = 0 \Rightarrow T_{m\grave{a}lt} = 10^{\circ}C$$

$$u = 5 \Rightarrow T_{m\grave{a}lt} = 30^{\circ}C$$



$$u = K_p \cdot e$$

$$e = T_{ref} - T_{m\grave{a}lt}$$

$$K_p = ?$$

Eksempel:

$$T_{ref} = 20^{\circ}C$$

kræver: $u = 2.5 \text{ V}$

$$\Rightarrow e = \frac{2.5}{K_p} \Rightarrow$$

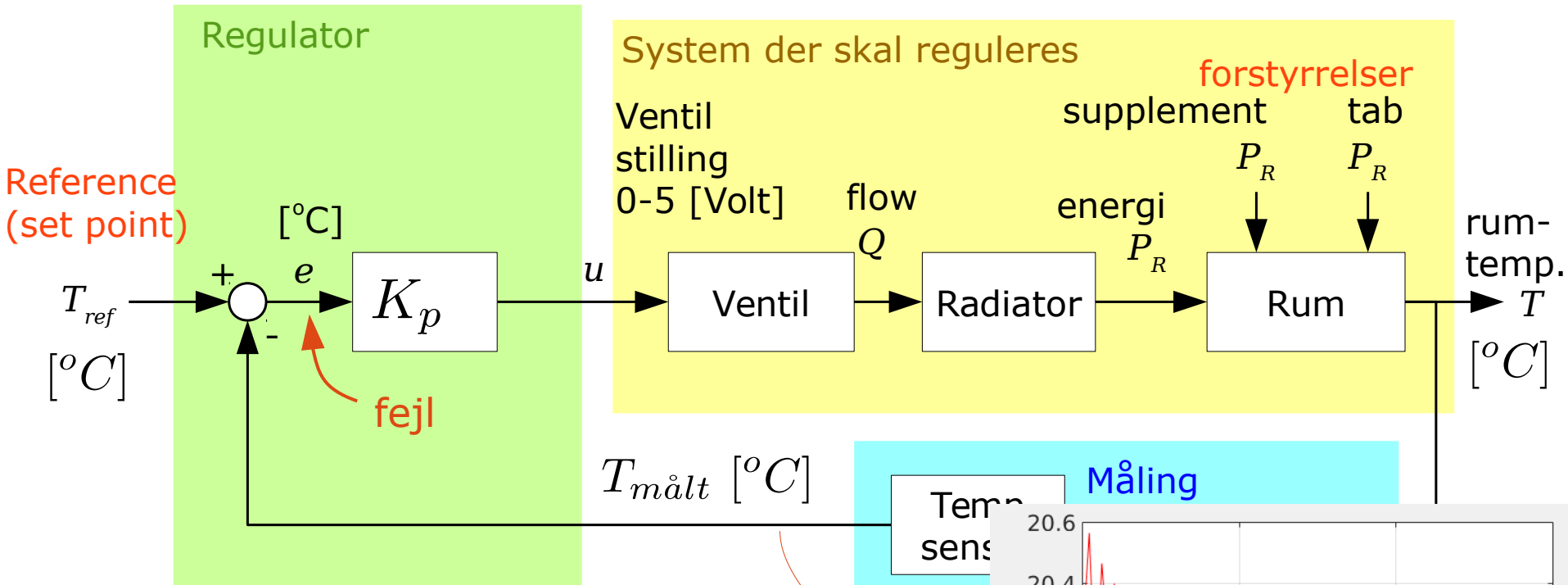
$$T_{m\grave{a}lt} = T_{ref} - e$$

$$T_{m\grave{a}lt} = T_{ref} - \frac{2.5}{K_p}$$

$$\lim_{K_p \rightarrow \infty} \Rightarrow T_{m\grave{a}lt} \rightarrow T_{ref}$$

P-regulator udfordringer - støj

Lukket sløjfe regulator



Problem?

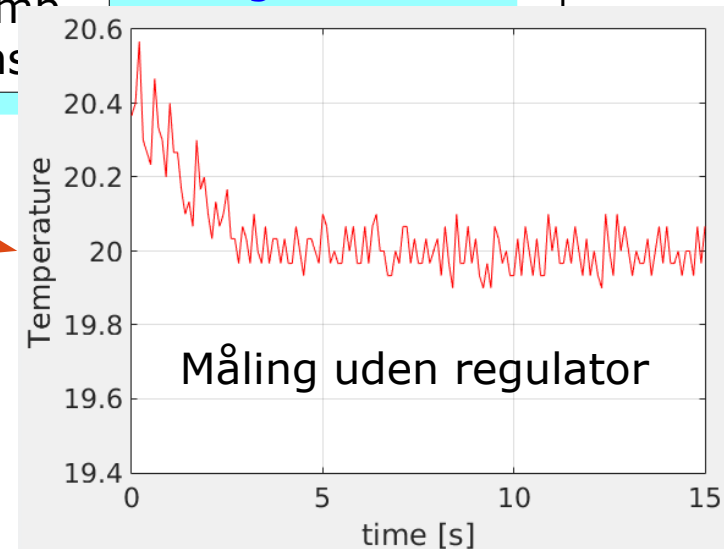
$$K_p = 1000$$

Hvis måling, som her, har støj på ca. 0.1 °C.

$$\Delta T_{målt} \approx 0.1$$

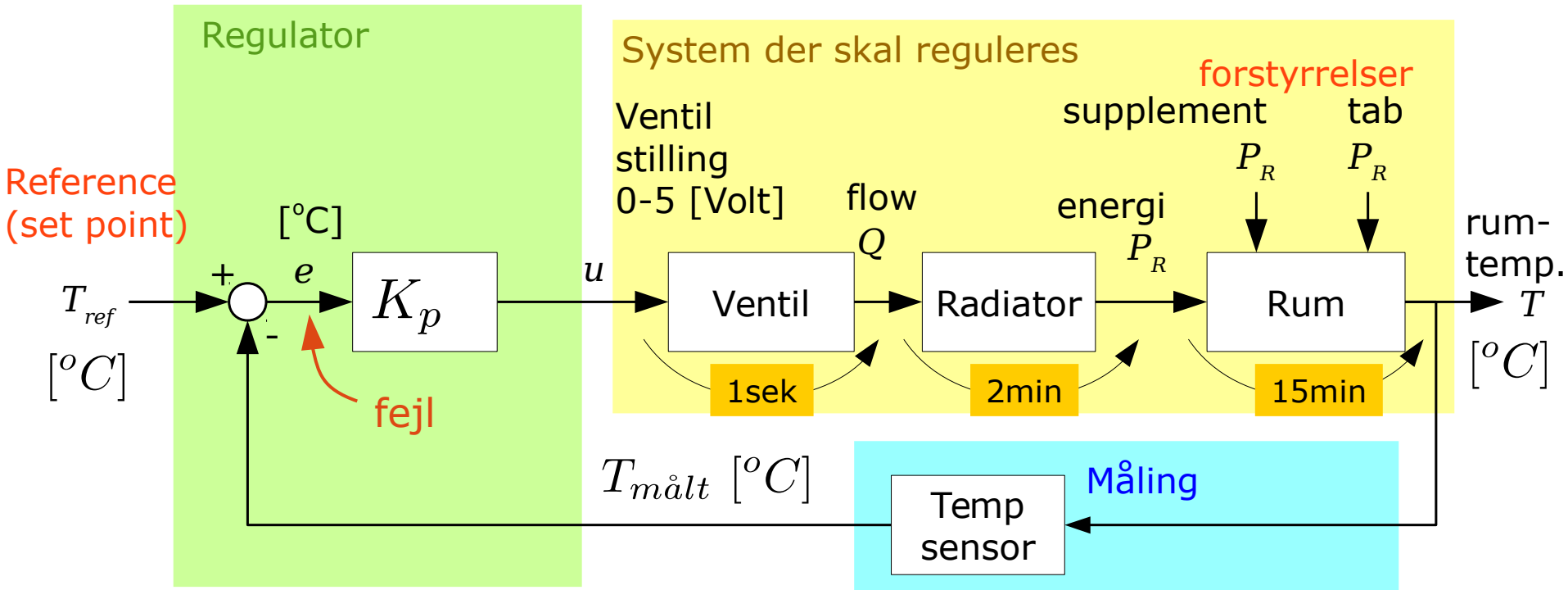
\Rightarrow

$$\Delta u \approx 100$$



P-regulator udfordringer - stabilitet

Lukket sløjfe regulator



Stabilitet?

$$K_p = 1000$$

Hvis det er lidt for koldt, og K_p er stor, vil

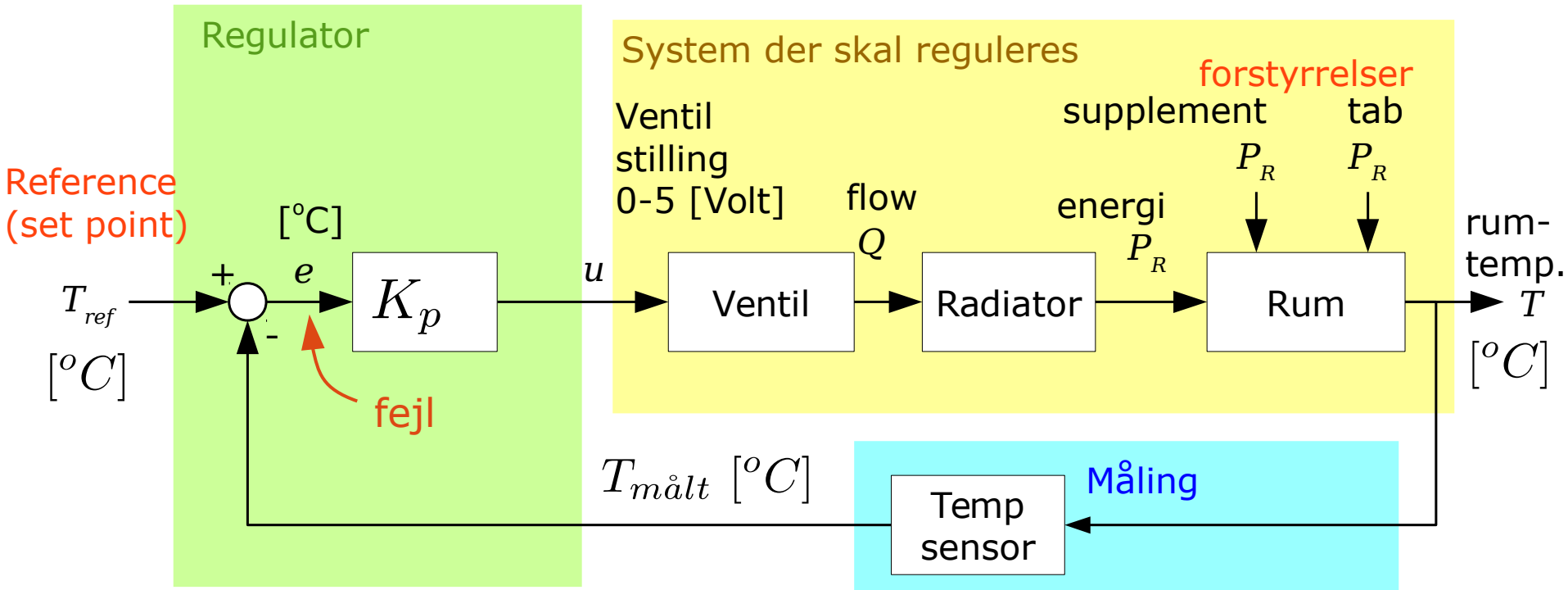
- u åbner ventil meget – det tager kort tid
 - Flow vil varme radiator op (langsomt)
 - Radiator afgiver stigende effekt til luften nær radiator
 - Efter en tid registreres at temperaturen er steget
 - e bliver mindre, og ventilen lukker, men
 - Radiatoren afgiver fortsat meget energi, og temp stiger fortsat
 - Ventilen lukkes i lang tid, hvorefter det gentager sig, forstærket
- Ustabilitet!

P-regulator – mindre Kp

Lukket sløjfe regulator

$$u = 0 \Rightarrow T_{m\grave{a}lt} = 10^{\circ}C$$

$$u = 5 \Rightarrow T_{m\grave{a}lt} = 30^{\circ}C$$



Problem?

$$K_p = 1$$

$$T_{m\grave{a}lt} = T_{ref} - \frac{2.5}{K_p}$$

$$\Rightarrow T_{m\grave{a}lt} = T_{ref} - 2.5$$

2.5 °C fejl!

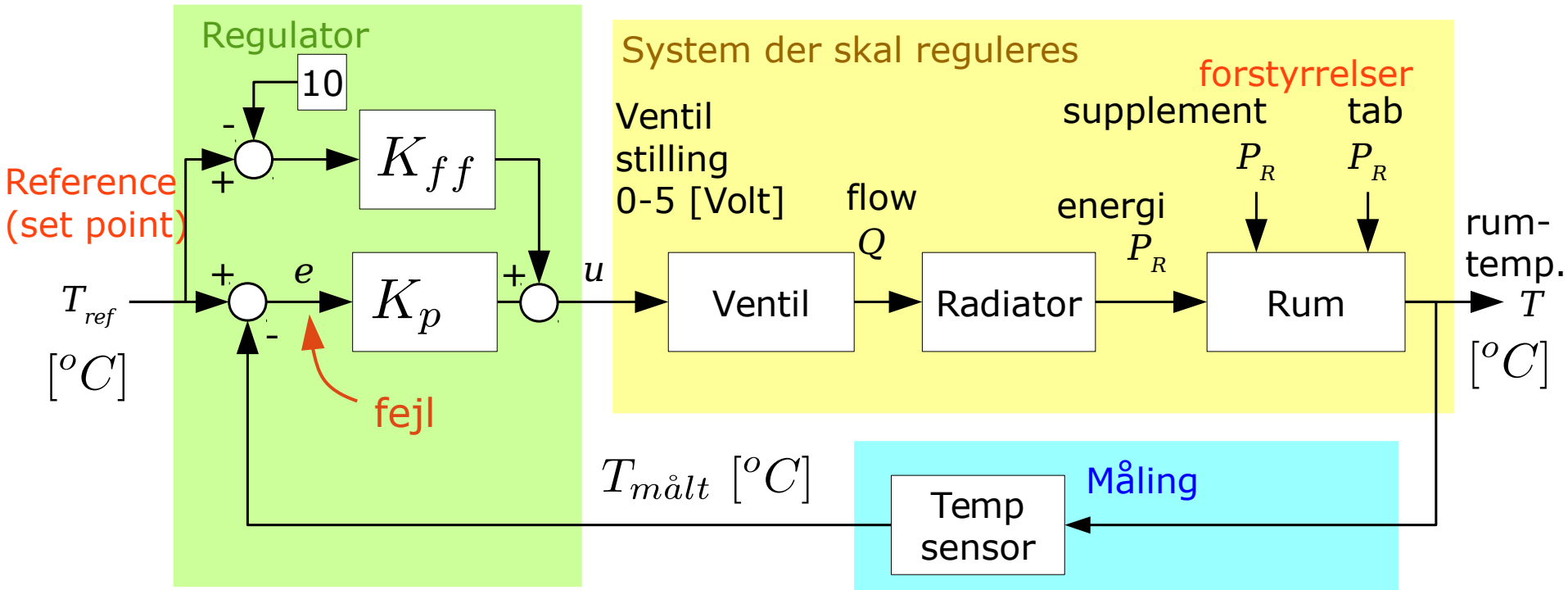
P - regulator

- Proportionalregulator
 - Kræver:
 - at u (aktuatorsignal) kan påvirke output
 - Fordele:
 - Kan undertrykke forstyrrelser
 - Udfordringer:
 - Kan – for visse typer af systemer – give give **stationær fejl** for $t \rightarrow \infty$.
 - Kan give store u (aktuator) **svingninger**, især hvis der er **støj** på måling.
 - Kan give **ustabilitet**.

Kombination Lukket sløjfe regulator med feed forward

$$u = 0 \Rightarrow T_{m\ddot{a}lt} = 10^{\circ}C$$

$$u = 5 \Rightarrow T_{m\ddot{a}lt} = 30^{\circ}C$$



Problem?

$$G_{ff} = 0.25(T_{ref} - 10)$$

$$K_p = 1$$

$$T_{ref} = 20$$

En forstyrrelse gør at 2 grader lavere end forventet.

$$T_{m\ddot{a}lt} = 10 + 4u - 2$$

$$u = K_{ff}(\cdot T_{ref} - 10) + K_P(T_{ref} - T_{m\ddot{a}lt})$$

$$\Rightarrow T_{m\ddot{a}lt} = 18.6^{\circ}$$

P-regulator og betegnelser

- P-regulator gain K:

- Højere gain kan give mindre **stationær fejl** (forskel mellem **ønsket** og **stationær**)
- Højere gain kan give hurtigere **stigetid**
- Højere gain kan give **oversving** og måske ustabilitet
- Lavere gain kan give større **stationær fejl**
- Lavere gain giver langsommere **indsvingningstid**

Generelle betegnelser for signaler

