

Reglerteknik, Föreläsning 1: Inledning och grundläggande regulatorstrukturer

Anders Hansson

Avdelningen för reglerteknik
Linköpings universitet

Innehåll

1. Organisation
2. Reglerproblemet
3. Tillämpningar
4. Grundläggande regulatorstrukturer

Organisation

- ▶ Föreläsare och examinerator: Anders Hansson, e-mail: anders.g.hansson@liu.se
- ▶ Lektionasssistenter: Mattias Uvesten, e-mail: matuv053@student.liu.se och William Olsson, e-mail: wilol978@student.liu.se
- ▶ Laborationsansvarig: Reza Jafari, e-mail: seyyed.reza.jafari@liu.se
- ▶ Kurshemsida:
<https://isy.gitlab-pages.liu.se/rt/courses/TSRT93/>
- ▶ Detta är en ny kurs och alltså finns inga tidigare kursutvärderingar

Vad är reglerteknik?

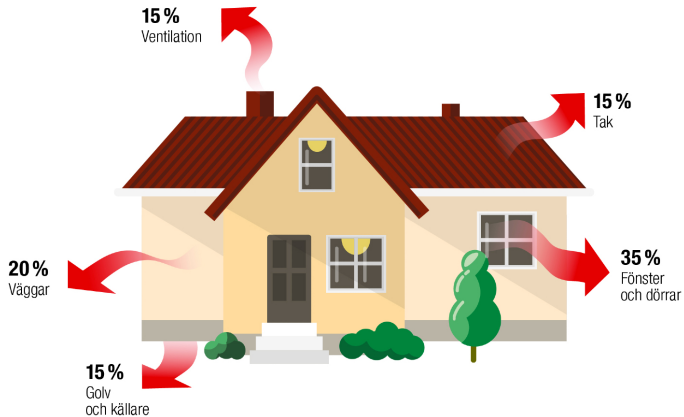
Återkoppling



Framkoppling



Störningar



Utomhustemperatur, solstrålning, vind, ventilation,

Reglerproblemet

Få ett system att bete sig som vi vill trots inverkan av *störningar*.

Tillämpning	Börvärde (r)	Ärvärde (y)	Störning
Balansering	Önskad lutning	Verkliga lutning	Markens ojämnhet
Tvätta	Önskad renhet	Verklig renhet	Mängd smuts
Husuppvärmning	Önskad temp.	Verklig temp.	Utomhustemp.

Hur väl vi lyckas ges av *reglerfelet*

$$e = r - y$$

De flesta lösningar på reglerproblemet använder *mätningar* av ärvärde och/eller störning.

Börvärde kallas också *referensvärde*.

Historia



- ▶ Vattenklockor under antiken
- ▶ Varvtalsreglering av ångaskiner (James Watt sent 1700-tal)
- ▶ Autopilot för flygplan (Lawrence Sperry 1914)
- ▶ Återkopplad förstärkare (Stephen Black slutet av 1920-talet)
- ▶ Vapensystem för styrning av båtar, flygplan, kanoner och radarantennar under andra världskriget

Tillämpningar 1

- ▶ *Industriell Automation:* Övervaka och styra processer som produktion av kemiska produkter, livsmedelsförädling, och tillverkning av elektronik. Hjälper till att säkerställa produktkvalitet, minimera avfall och optimera produktionsprocesserna.
- ▶ *Robotik och automation:* Styra rörelser, positionering och prestanda hos robotar och automatiserade maskiner. Möjliggör precision och repeterbarhet i tillverkningsprocesser.
- ▶ *Kemisk och farmaceutisk produktion:* Styra komplexa kemiska reaktioner och processer. Säkerställa att produkterna uppfyller höga kvalitetsstandarder och är säkra för konsumenter.

Tillämpningar 2

- ▶ *Byggautomation:* Automatisera och styra system som uppvärmning, ventilation och luftkonditionering samt belysningsystem i byggnader. Resulterar i ökad komfort och energieffektivitet.
- ▶ *Miljöskydd:* Övervaka och reglera miljöparametrar som vattenkvalitet, luftkvalitet och avfallshantering. Inom vatten- och avloppsbranschen används reglerteknik för att övervaka och reglera vattenreningsprocesser, distribution av dricksvatten och avloppsbehandling. Bidrar till att säkerställa att vattnet är säkert att konsumera och att avloppsvattnet behandlas effektivt innan det släpps tillbaka i miljön.
- ▶ *Energiförsörjning:* Övervaka och reglera kraftproduktion och distribution. Balansera energiflödet, optimera kraftverkens effektivitet och hantera belastningssvängningar.

Vattenrening och Vindkraft



Tillämpningar 3

- ▶ *Fordonssystem:* Automatisera och förbättra prestandan hos fordonssystem, som antisladdsystem, farthållare och autonom körning. Den bidrar också till ökad säkerhet och bränsleeffektivitet.
- ▶ *Flyg- och rymdteknik:* Styra flygplan, satelliter och raketfarkoster. Säkerställer korrekt navigering, stabil flygning och kurs.
- ▶ *Fjärrstyrning:* Fjärrstyrning av olika system, inklusive drönare och undervattensfordon, för att utföra uppgifter i svåråtkomliga eller farliga miljöer.

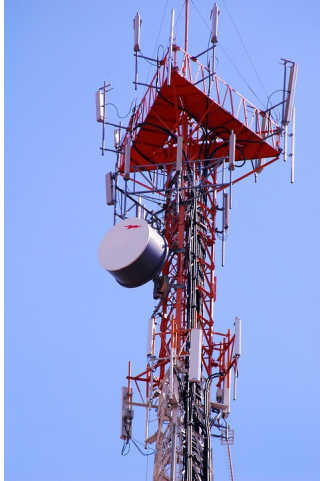
Lastbil och Flygplan



Tillämpningar 4

- ▶ *Väg- och trafikstyrning*: Reglera trafikljus, vägskyltar och variabla hastighetsgränser för att optimera trafikflöden och minska trafikstockningar.
- ▶ *Medicinsk utrustning*: Utveckla avancerad medicinsk utrustning såsom blodtrycksmätare, respiratorer och insulinpumpar. Säkerställa exakt dosering av mediciner.
- ▶ *Telekommunikation*: Reglera signalöverföring och förstärkning i kommunikationssystem, vilket säkerställer att signalen är stark och tydlig vid mottagaren.
- ▶ *Finans- och ekonomisystem*: Utveckla algoritmer för automatisk handel och portföljhantering. Övervaka och justera investeringar i realtid.

Antennensystem



Framtiden

- ▶ Artificiell intelligens
- ▶ Hållbara strategier för generering, lagring och distribution av energi
- ▶ Tillämpningar inom biologi för att främja människors hälsa
- ▶ Självkörande bilar
- ▶ Integrering av robotar som assistenter för människor

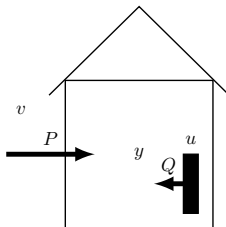
FN:s Hållbarhetsmål



Repetition

1. Vad är skillnaden mellan framkoppling och återkoppling?
2. När skedde reglerteknikens moderna utveckling?
3. Ge exempel på tidiga reglertekniska lösningar.
4. Ge exempel på moderna tillämpningar av reglerteknik.
5. Vad förväntas de framtida reglertekniska utmaningarna vara?
6. Hur kopplar reglerteknik till FN:s hållbarhetsmål?

Husuppvärmning



- ▶ u framvattnets och radiatorernas temperatur
- ▶ y inomhustemperatur (ärvärde)
- ▶ v utomhustemperatur (störning)
- ▶ r önskad inomhustemperatur (börvärde eller referensvärde)

Mål: Vill styra med hjälp av u så att y nära r trots inverkan av v med hjälp av mätning av v .

Matematisk Modell

Om alla storheter är konstanta så ger effektbalans att

$$P + Q = 0$$

Konduktiv värmetransport ger

$$P = h(v - y)$$

$$Q = k(u - y)$$

där h och k värmeövergångstal för vägg och element. Lite räkningar ger

$$y = g(u, v) = \alpha u + \beta v \tag{1}$$

där $\alpha = k/(h + k)$ och $\beta = h/(h + k)$.

Den linjära funktionen g ovan är en s.k. *modell* av systemet vi vill reglera.

Framkoppling

Reglermålet $y = r$ ger

$$r = \alpha u + \beta v$$

eller om $\alpha \neq 0$

$$u = \frac{r - \beta v}{\alpha}$$

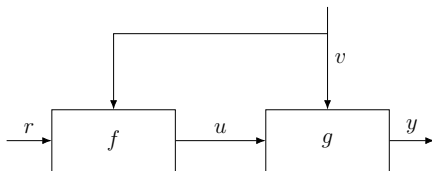
Inför funktionen f för hur u beror av v och r , d.v.s.

$$f(r, v) = \frac{r - \beta v}{\alpha} = f_r r + f_v v \quad (2)$$

där $f_r = 1/\alpha$ och $f_v = -\beta/\alpha$. Funktionen f beskriver en s.k. *framkoppling*

Vi inser att $y = r$ oavsett vad v är. Detta kräver dock att vi känner h och k exakt. Kan kräva experiment för att bestämma dem. Om konvektion måste beaktas så är modellen av systemet inte linjär.

Blockschema för Framkoppling



Blocket f symboliserar regulatoren, som är en framkoppling, och blocket g symboliserar modellen av systemet vi reglerar.

Emellan blocken finns pilar som visar hur olika signaler påverkar eller genereras från blocken.

Om pilen går in till ett block så är signalen en *insignal* för blocket, och om pilen går ut från ett block så är signalen en *utsignal* för blocket.

En insignal för ett block kan vara en utsignal för ett annat block.

Dynamisk Modell

Inneboende tröghet i hus kan beskrivas med Newtons avsvalningslag

$$C \frac{dy(t)}{dt} = P(t) + Q(t)$$

där C husets värmekapacitet, och där P och Q samt y är funktioner av tiden t , d.v.s.

$$P(t) = h(v(t) - y(t))$$

$$Q(t) = k(u(t) - y(t))$$

där också u och v är funktioner av tiden. Detta ger

$$C \frac{dy(t)}{dt} + (h + k)y(t) = ku(t) + hv(t) \quad (3)$$

Modellen ovan är en s.k. *dynamiska modell*, och är beskriven med en *differentialekvation*.

Framkoppling med Dynamisk Modell

Vår tidigare framkoppling ges av

$$u(t) = f_r r(t) + f_v v(t) = \frac{1}{\alpha} r(t) - \frac{\beta}{\alpha} v(t) = \frac{k+h}{k} r(t) - \frac{h}{k} v(t)$$

och därför ges högerledet för (3) av

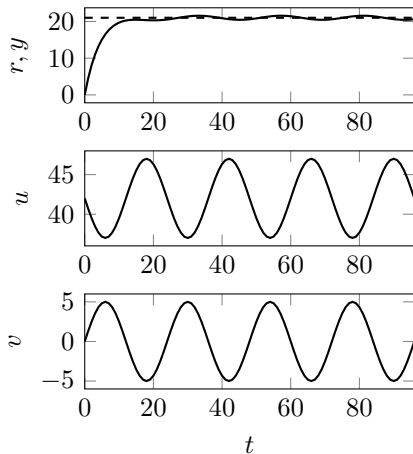
$$ku(t) + hv(t) = k \left(\frac{k+h}{k} r(t) - \frac{h}{k} v(t) \right) + hv(t) = (k+h)r(t)$$

som är oberoende av $v(t)$, och vi erhåller

$$C \frac{dy(t)}{dt} + (h+k)y(t) = (k+h)r(t)$$

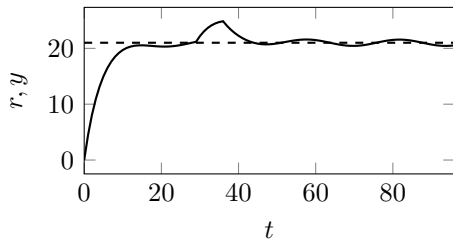
Alltså beror lösningen y endast av r , och om $dy(t)/dt = 0$ så är $y(t) = r(t)$.

Simulering

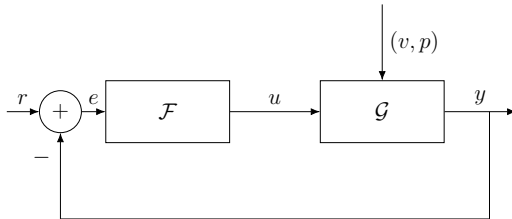


Här använder vi inte de sanna värmeövergångstalen för framkopplingen. Trots allt rätt så bra reglering.

Om Solen Skiner



Återkoppling



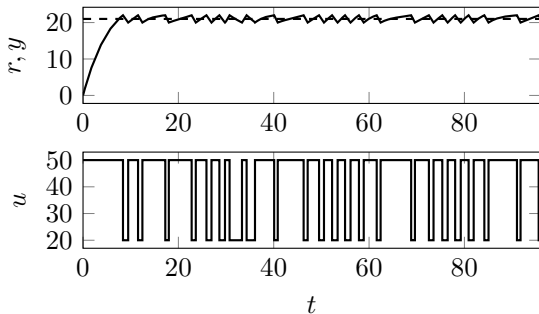
Blocket \mathcal{G} representerar systemet som ska styras.

Blocket \mathcal{F} representerar regulatorn.

Systemet har u samt störningarna v (utomhustemperaturen) och p (solinstrålningen) som insignaler, och inomhustemperaturen y som utsignal.

Regulatorn har reglerfelet e som insignal och framvattnets temperatur u som utsignal.

På-Av-Reglering



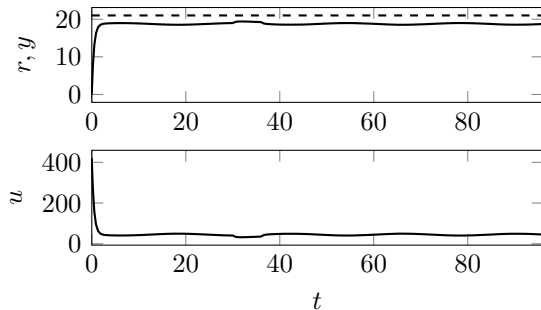
$$u(t) = \begin{cases} u_{\max}, & y(t) < r(t) - \Delta \\ u_{\min}, & y(t) \geq r(t) + \Delta \end{cases}$$

där $\Delta > 0$ skapar en hysteres.

Kan med $e(t) = r(t) - y(t)$ skrivas

$$u(t) = \begin{cases} u_{\max}, & e(t) > \Delta \\ u_{\min}, & e(t) \leq -\Delta \end{cases}$$

Proportionell (P) Reglering



$$u(t) = K_P e(t) + u_0$$

där K_P kallas *proportionalförstärkning* och u_0 offset.

Statisk Analys

Antag y ges av (1). Då blir

$$y = \alpha(K_P e + u_0) + \beta v = \alpha(K_P(r - y) + u_0) + \beta v$$

från vilket man kan lösa ut y som

$$y = \frac{\alpha K_P}{1 + \alpha K_P} r + \frac{\alpha}{1 + \alpha K_P} u_0 + \frac{\beta}{1 + \alpha K_P} v \quad (4)$$

Från detta erhåller vi att

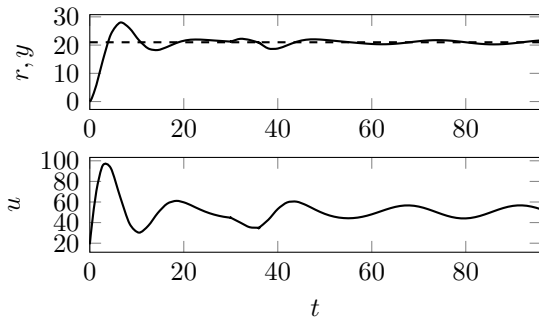
$$e = \frac{1}{1 + \alpha K_P} r - \frac{\alpha}{1 + \alpha K_P} u_0 - \frac{\beta}{1 + \alpha K_P} v \quad (5)$$

som är noll om

$$u_0 = \frac{1}{\alpha}(r - \beta v)$$

Ett annat göra e liten är att välja K_P stort, och detta fungerar utan att vi vet α och β , d.v.s. utan att veta värmeövergångstalen.

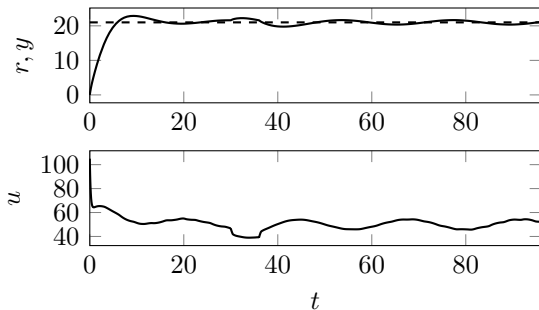
Proportionell och Integrerande (PI) reglering



$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(s) ds$$

Konstanten K_I kallas för *integralförstärkning*.

Proportionell, Integrerande och Deriverande (PID) reglering



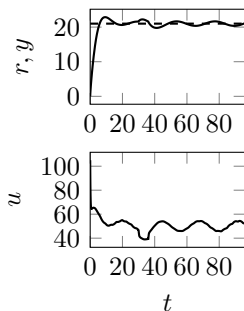
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(s) ds - K_D \frac{dy(t)}{dt} \quad (6)$$

Konstanten K_D kallas *derivataförstärkning*. Man kan skriva

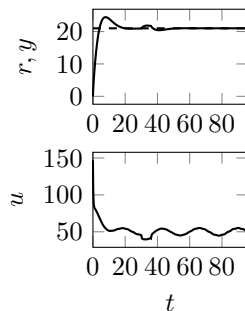
$$K_P y(t) + K_D \frac{dy(t)}{dt} = K_P \left(y(t) + \frac{K_D}{K_P} \frac{dy(t)}{dt} \right) \approx K_P y(t + K_D/K_P)$$

och PID-regulatorn reglerar på framtida reglerfel.

Framkoppling tillsammans med Återkoppling



(a) PID-reglering utan framkoppling.



(b) PID-reglering med framkoppling.

Repetition

1. Vad är en regulatorstruktur?
2. Förklara begreppen styrsignal, störsignal, börvärde och ärvärde. Hur definieras reglerfelet?
3. Vad är ett system?
4. Vad är en regulator?
5. Förklara begreppen insignal och utsignal.
6. Vad är en modell för ett system?
7. Vad är skillnaden mellan en dynamisk modell och en statisk modell?
8. Vad skiljer återkoppling från framkoppling?
9. Vad är fördelarna respektive nackdelarna med återkoppling och framkoppling.
10. Varför kan det vara bra att kombinera fram- och återkoppling?
11. Ge exempel på återkopplade regulatorer.