DATO: 9. desemnber 2009

Universitetet i Stavanger

EKSAMEN I: BIE 240 Reguleringsteknikk

VARIGHET: 4 timer

TILLATTE HJELPEMIDLER: Bestemt enkel kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV 2 OPPGAVER PÅ 5 SIDER

Delspørsmålene har lik vekt. Formelsamling vedlagt.
Legg ved side 8 sammen med besvarelsen.

KONTAKTPERSON: Tormod Drengstig, E-423a, tlf. (518)32025/93885533.

---

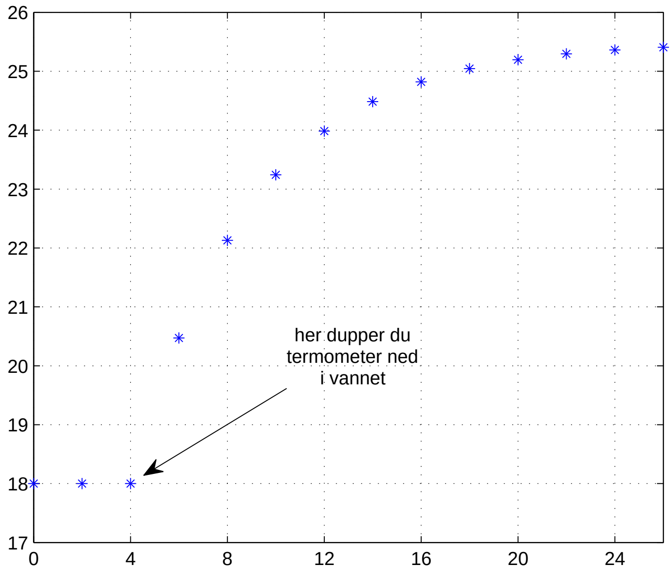
1 Estimering av prosessmodell av vannkoker

Du skal i denne oppgaven lage en matematisk modell av en vannkoker ved å gjøre praktiske forsøk (dvs. sprangrespons og frekvensrespons) på vannkokeren. For å måle temperaturen, benytter du et elektronisk steketermometer (slike som du benytter i julesteika). Du kjenner ikke dynamikken til dette steketermometeret (forsterkning, tidskonstant), men det skal du finne ut av. I vannkokeren er det er et varmeelement på 2kW som du har koplet til en PC som igjen kan styre pådraget trinnløst fra 0-2kW ved hjelp av en triac. På denne PC'en har du Matlab installert. I vannkokeren er det 0.1 liter vann, dvs 0.1 kg vann.

a) Ut fra prosessbeskrivelsen, hvilken orden mener du selve prosessen har og hvilken orden mener du at måleinstrumentet sannsynligvis har. Begrunn svaret.

   Hva er forsterkningen K_m til måleinstrumentet. Begrunn svaret.

   For å finne måleinstrumentets transferfunksjon, varmer du opp vannet til en temperatur høyere enn romtemperaturen som er 18°C (anta at termometeret holder romtemperatur). Deretter dypper du termometeret nedi vannet (ved $t = 4$ sekund som vist i figur 1) og avleser temperaturen annenhvert sekund. Dette gir deg følgende repons



Figur 1: Sprangrespons for måleinstrumentet.

Basert på denne responsen, finn et estimat av steketermometerets tidskonstant T_m og sett opp transferfunksjonen $H_m(s)$ til steketermometeret. På siste side er figur 1 gjengitt. Benytt gjerne denne og lever sammen med besvarelsen.

b) La oss i det videre anta at varmeelementet på 2kW har veldig rask dynamikk, og at vi derfor kan se bort den. For å finne modellen (transferfunksjonen) fra effektpådrag til vanntemperaturen i selve vannkokeren skal du gjøre et nytt eksperiment.

Men først skal du finne et analytisk uttrykk for tidskonstanten til selve vannkokeren. Sett opp energibalansen til vannkokeren og vis at forsterkningen og tidskonstanten til vannkokeren er gitt ved

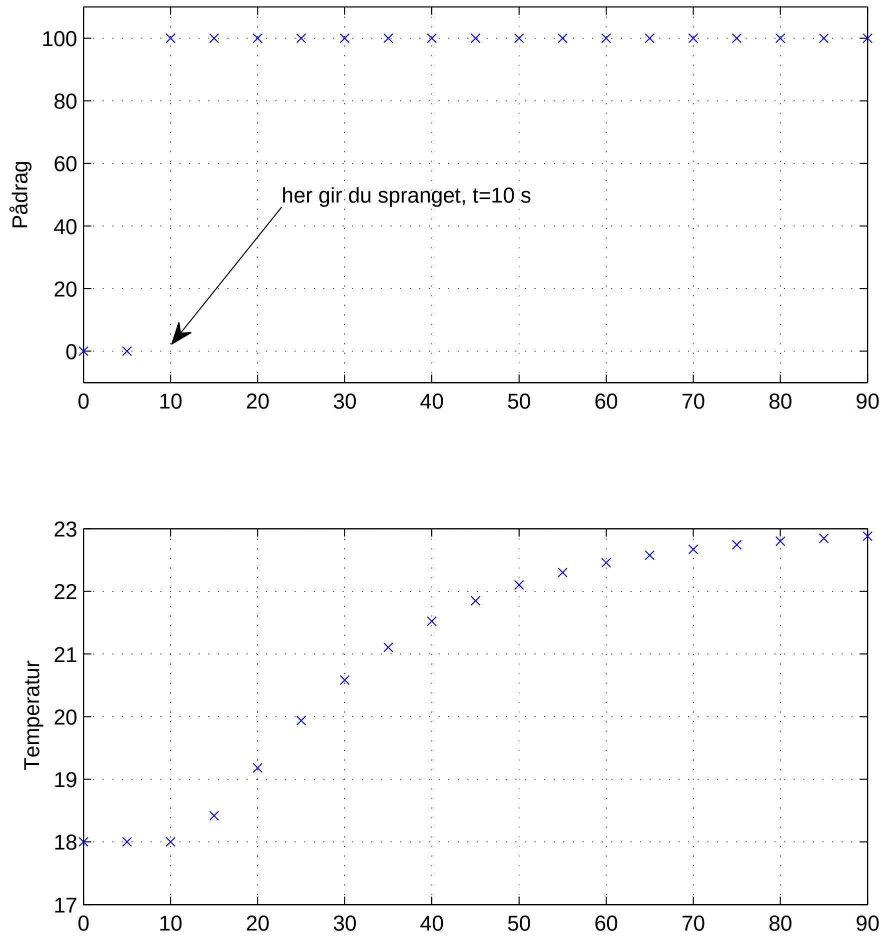
$$K = \frac{1}{h{\cdot}A}, \quad T = \frac{c_p{\cdot}m}{h{\cdot}A} \tag{1}$$

hvor

m	: mengden vann i vannkokeren, 0.1 kg
c_p	: spesifikk varmekapasitet for vann, 4000 J/(kg°C)
h	: spesifikt varmeovergangstall vannkoker/omgivelser [J/(m^{2}s°C)]
A	: ytre areal av vannkokeren [m^2]
T_{omg}	: romtemperatur, 18 °C

c) Det nye eksperimentet du skal gjøre er en ny sprangrespons. Du fyller vannkokeren med 0.1 kg vann fra vannkranen og legger steketermometeret oppi og venter til alt at har svingt seg inn til romtemperaturen, T_{omg}, på 18°C.

Deretter gir du et sprang i effekt (fra PC'en) på 100W (ved tidspunkt $t = 10$ sekund) og skriver ned temperaturen som steketermometeret viser hvert 5 sekund.



Figur 2: Sprangrespons for måleinstrumentet.

Hva er responstiden T_r til totalsystemet (vannkoker og steketermometer)?

På siste side er figur 2 gjengitt. Benytt denne og lever sammen med besvarelsen.

Basert på denne responstiden og kunnskap om steketermometerets tidskonstant, beregn et estimat av $h{\cdot}A$ i vannkokerens tidskonstant gitt i ligning 1.

Hva blir forsterkningen K og tidskonstanten T til vannkokeren?

Sett opp vannkokerens transferfunksjon $H_p(s) = \frac{T(s)}{P(s)}$

d) Dersom du hittil i oppgaven ikke har funnet verken $H_m(s)$ eller $H_p(s)$, benytt selv 2 helt tilfeldige første ordens transferfunksjoner som utgangspunkt for videre arbeid.

Med utgangspunkt i $H_m(s)$ og $H_p(s)$ skal du i neste deloppgave skissere frekvensresponsen til systemet for 3 ulike frekvenser.

Men for å klare det må du finne et uttrykk for amplitudeforsterkningen og fasen for totalsystemet $H_{sys}(s) = H_p(s) \cdot H_m(s)$, dvs. du skal i denne deloppgaven finne et analytisk uttrykk for $|H_{sys}(j\omega)|$ og $\angle H_{sys}(j\omega)$.

e) Med utgangspunkt i $|H_{sys}(j\omega)|$ og $\angle H_{sys}(j\omega)$, beregne amplitudeforsterkningen og fasen ved de 3 frekvensene $w = 0.01$, $w = 0.1$ og $w = 1.0$ rad/sek.

f) Du skal nå gjøre 3 frekvensresponsforsøk på vannkokeren ved at du skal la PC'en styre sinuspådrag til varmeelementet med de 3 frekvensene i forrige deloppgave.

Amplituden i sinuspådraget på varmeelementet er 50W omkring arbeidspunktspådraget $P_A = 500$W. Den tilsvarende arbeidspunktstemperaturen er $T_A = 60°$C.

For hver av de tre frekvensene, skisser en figur tilsvarende figur 2 med sinuspådrag øverst og temperaturmåling nederst. Siden temperaturmålingen blir gjort manuelt ved avlesing fra steketermometeret, vil selve kurven bestå av punkter. Men for enkelhets skyld kan du tegne en heltrukket strek som representerer den avleste målingen.

Du skal altså tegne 3 figurer, hver med 2 delplot.

Indiker i hver figur periodetiden T_p.

2 Regulering

Nå forlater vi vannkokeren og går over på en helt annen prosess med dødtid (slik som f.eks. varmtluftsvifta på lab'en).

$$H_p(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{0.2}{15s+1}e^{-2s} \tag{2}$$

Målet er å bestemme PI-regulatorparametre til denne ved bruk av en egnet regulatorparametermetode. Anta at måleelementet har rask dynamikk i forhold til selve prosessen og at måleforsterkningen er 1, dvs. $H_m(s) = 1$

a) Bestem polen(e) til prosessen og benytt dette til å bestemme stabilitetsegenskapene til systemet (marginalt stabilt, ustabilt, asymptotisk stabilt).

Anta at $u(t)$ er et enhetssprang. Skisser sprangresponsen til prosessen. Indiker mest mulig detaljer på skissen.

Utled deretter transferfunksjonen $H_r(s)$ til en generell PI-regulator.

b) Benytt en egnet regulatorparametermetode (se vedlegg) og bestem K_p og T_i i en PI-regulator. Der hvor kvalifiserte valg må gjøres, argumenter for valgene du gjør. I vedlegget vises også sammenehengen mellom ζ og δ dersom du ønsker å bruke denne.

c) La oss nå anta (for digresjonens skyld) at dødtiden i prosessen ikke eksisterte, dvs. at $H_p(s) = \frac{0.2}{15s+1}$ og at du skulle bestemme nye regulatorparametre.

Benytt en egnet regulatorparametermetode (se vedlegg) og bestem K_p og T_i i en ny PI-regulator. Der hvor kvalifiserte valg må gjøres, argumenter for valgene du gjør. I vedlegget vises også sammenehengen mellom ζ og δ dersom du ønsker å bruke denne.

d) Sammenlign regulatorparametrene fra oppgave b) og c). Hvordan forventer du at regulatorparametrene skal endre seg når du tar bort dødtiden? Er forskjellene som forventet? Forklar med ord hvorfor/hvorfor ikke.

e) Med utgangspunkt i prosessen i ligning (2) og PI-regulatorparametrene fra oppgave b), finn sløyfetransferfunksjonen $H_0(s)$.

Med de regulatorparametrene du har funnet er reguleringssystemet asymptotisk stabilt. Skisser en prinsipiell skisse av Bodeplottet av $H_0(s)$ for vårt asymptotisk stabile system. Indiker hvor kryssfrekvensen w_c og fasekryssfrekvensen w_{180} (dersom den finnes) avleses. Vis også hvor forsterknings- og fasemarginene ΔK og ϕ avleses.

f) Dersom du ønsker å øke fasemarginen ϕ med f.eks. 20 grader, beskriv (gjerne med referanse til din egen figur) hvordan du vil klare det. Bruk gjerne noen fiktive tall for å få frem poenget.

Hva betyr det for reguleringssystemets sprangrespons når fasemarginen øker?

Formelsamling

- Massetransport $w(t)$ som funksjon av volumflow $q(t)$ [m^3/s] og tetthet ρ [kg/m^3].

$$w(t) = q(t) \cdot \rho \tag{3}$$

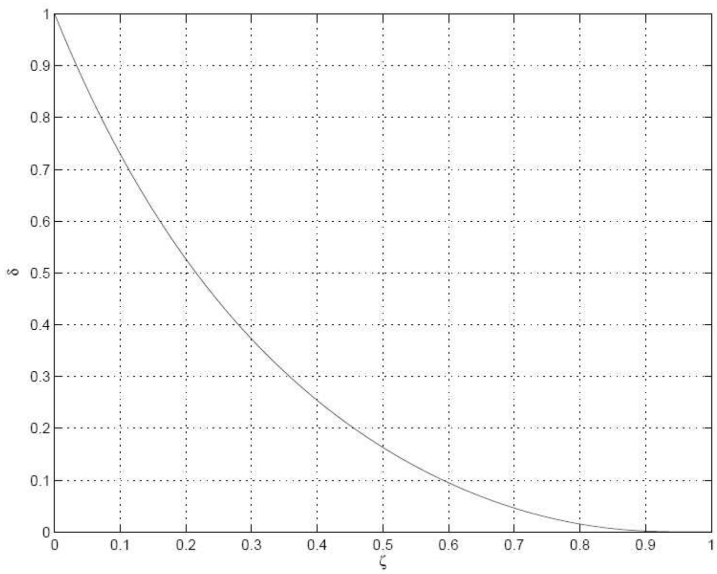
- Varmetransport (antatt referansetemperatur $T_0 = 0$)

$$Q(t) = c_p \cdot w(t) \cdot T(t) \tag{4}$$

Varmeovergang

$$Q(t) = h \cdot A \cdot \big(T_v(t) - T_k(t)\big) \tag{5}$$

- Sammenhengen mellom relativ dempingsfaktor ζ og oversvingsfaktor δ.



- Polplassering for 1 ordens system (PI-regulator):

$$K_p = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{K} \tag{6}$$

$$T_i = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{w_0^2 T} \tag{7}$$

- Pol-nullpunktkansellering 1 ordens system (PI-regulator):

$$K_p = \frac{T}{T_M \cdot K} \tag{8}$$

$$T_i = T \tag{9}$$

- Ziegler Nichols åpen sløyfe metode:

$$K_p = \frac{0.9 \cdot U}{L \cdot R} \tag{10}$$
$$T_i = 3.3 \cdot L \tag{11}$$

hvor L er tidsforsinkelsen, R er stigningstallet på sprangresponsen og U er sprangets høyde. For en første ordens prosess med dødtid kan det vises at

$$R = \frac{KU}{T} \tag{12}$$
$$L = \tau \tag{13}$$

- Et generelt 2-ordens system kan skrives som

$$H(s) = \frac{K}{(\frac{s}{\omega_0})^2 + 2\frac{\zeta}{\omega_0}s + 1} \tag{14}$$

- Et komplekst tall z kan skrives på kartesisk form slik:

$$z = \mathrm{Re}(z) + j\mathrm{Im}(z) \tag{15}$$

eller på polar form slik:

$$z = |z|e^{j\angle z} \tag{16}$$

- Sammenheng mellom kartesisk og polar form er:

$$|z| = \sqrt{\mathrm{Re}(z)^2 + \mathrm{Im}(z)^2} \tag{17}$$

$$\angle z = \arctan\frac{\mathrm{Im(z)}}{\mathrm{Re(z)}} \tag{18}$$

- Sluttverditeorem

$$\lim_{t\to\infty} f(t) = \lim_{s\to 0} s \cdot f(s) \tag{19}$$

Fag: BIE240, Reguleringsteknikk
Dato: 9. desember 2009
Kandidatnr:
Sidenr: