Høgskolen i Sørøst-Norge

EKSAMENSFORSIDE

Skriftlig eksamen med tilsyn

Emnekode: IA3112	Emnenavn: Automatiseringsteknikk	
Dato: Porsgrunn	Tid fra / til: 24. november 2017. Kl. 09:00 - 14:00	Ant. timer: 5
Ansv. faglærer: Finn Aakre Haugen		
Campus: Porsgrunn	Fakultet: Fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag	
Antall oppgaver: 12	Antall vedlegg: 1 (10 sider)	Ant. sider inkl. forside og vedlegg: 15

Tillatte hjelpemidler:

Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler. Kalkulator er ikke tillatt. Hvis du ikke kan regne ut sluttsvaret for hånd, er det godt nok som svar at du setter opp uttrykket som kan beregnes med kalkulator dersom du hadde hatt en.

Opplysninger om vedlegg:

Vedlagt oppgavesettet er informasjon som kan være aktuell ved løsning av enkelte av oppgavene.

Merknader:

Hvis du mener at det mangler forutsetninger for å løse en oppgave, skal du selv definere passende forutsetninger og angi dem i besvarelsen, slik at du allikevel kan løse oppgaven.

Læreren oppsøker normalt ikke eksamenslokalet. Du kan ikke kalle på læreren for å få hjelp til å tolke eller forstå oppgaven.

%-tallet ved hver oppgave angir oppgavens vekt ved sensur.

Kryss av for type eksamenspapir	Ruter [ ]	Linjer [x]

Oppgave 1 (10%)

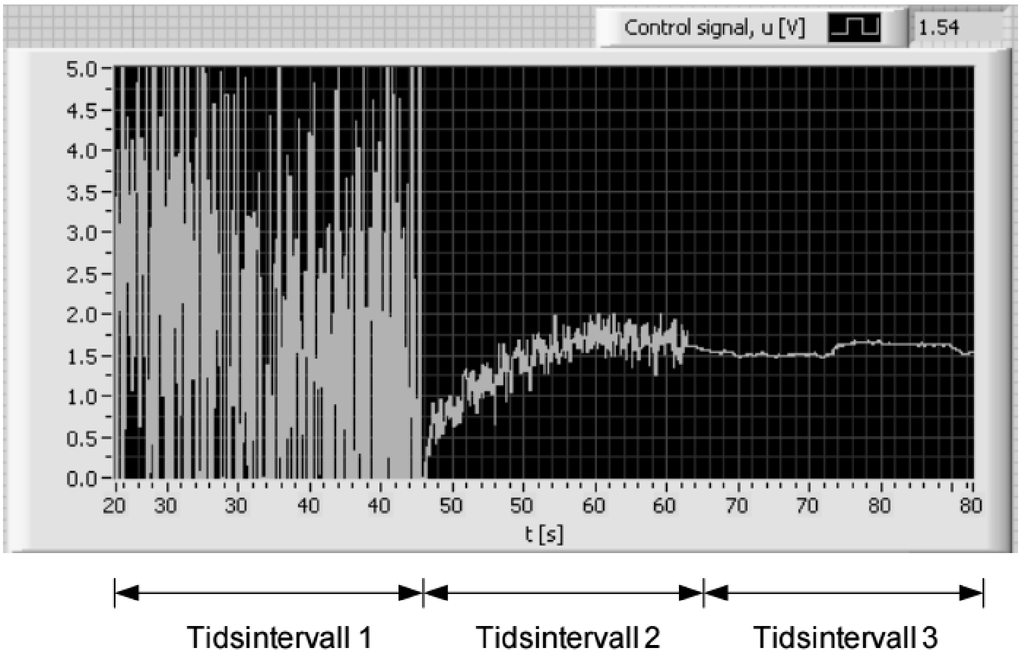
Skissér for hånd den prinsipielle sprangresponsen i *y* for hvert av følgende to dynamiske systemer. Du kan anta at det er et sprang med amplitude U på systemenes inngang. Angi hvordan de oppgitte parametrene framkommer i sprangresponsen.

a (5%). System med tidskonstant *T*, forsterkning *K* og tidsforsinkelse τ.

b (5%). Integrator med integratorforsterkning K_i.

Oppgave 2 (5%)

Figur 1 viser pådragssignalet til varmeelementet i et temperaturreguleringssystem for en varmluftprosess. Nederst i figur 1 er tre ulike tidsintervaller angitt.

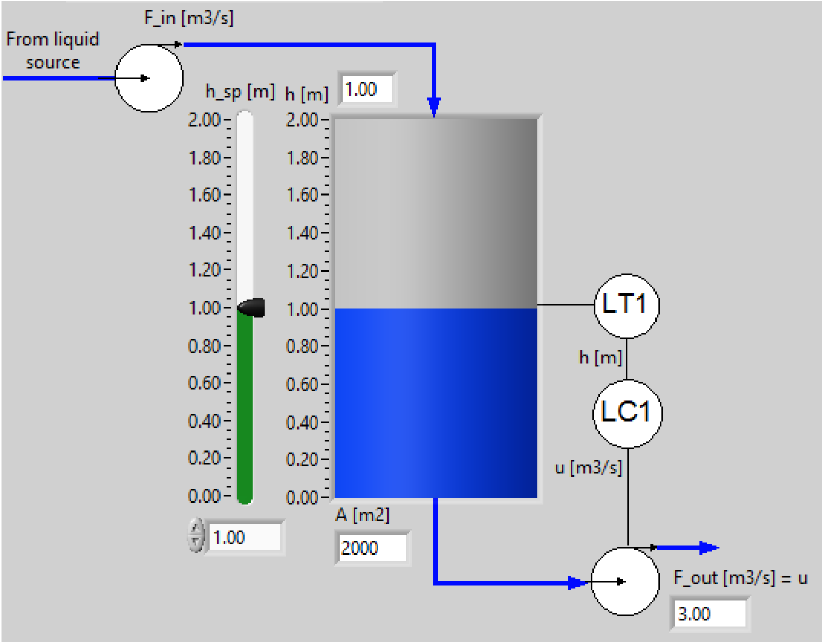


Figur 1

For hvert av de tre tidsintervallene: Angi, med kort begrunnelse, hvilken av følgende tre regulatorer som er i bruk. (1) PID-regulator med målefilter. (2) PI-regulator med målefilter. (3) PID-regulator uten målefilter. Svar uten begrunnelse honoreres ikke.

Oppgave 3 (25%)

Figur 2 viser et nivåreguleringssystem for en væsketank.



Figur 2

a (3%) Vis at en matematisk, dynamisk prosessmodell for nivået i tanken er

$$A\frac{dh}{dt} = F_{in} - F_{out}$$

Anta at regulatoren er en P-regulator:

$$u = K_p e = K_p(h_{sp} - h)$$

der u [m^3/s] er pådrag og e [m] er reguleringsavvik. Anta $F_{out} = u$. Ved å kombinere regulatorfunksjonen med prosessmodellen, dvs. ved å sette u som gitt ovenfor, inn for F_{out} i prosessmodellen, får vi reguleringssystemets modell:

$$A\frac{dh}{dt} = F_{in} - K_p(h_{sp} - h)$$

b (5%) Anta statiske forhold, dvs. at alle variable har konstante verdier. Uttrykk den statiske nivåverdien, h_s, som funksjon av nivåsettpunktet h_{sp} og innstrømmen F_{in}.

c (5%) Generelt kalles transferfunksjonen fra settpunkt til nivå for et reguleringssystem for følgeforholdet, symbolisert med f.eks. $M(s)$. Vis at følgeforholdet for nivåreguleringssystemet er

$$M(s) = \frac{h(s)}{h_{sp}(s)} = \frac{-K_p}{As - K_p}$$

d (5%) Finn, med utgangspunkt i $M(s)$, reguleringssystemets tidskonstant, T_c. (Oppgitt: Standard-transferfunksjonen for et tidskonstantsystem er K/(Ts+1).)

e (3%) Vis at reguleringssystemets pol er

$$p = K_p/A$$

f (4%) Skal K_p ha en positiv verdi (reversvirkning i regulatoren) eller en negativ verdi (direktevirkning i regulatoren) for at reguleringssystemet skal være stabilt? Begrunn svaret.

Oppgave 4 (10%)

a (7%) Tegn et blokkdiagram av et generelt reguleringssystem som består av både tilbakekopling og foroverkopling. Forklar systemets virkemåte.

b (3%) Nevn tre eksempler på prosessforstyrrelser som det kan være fordelaktig å foroverkople fra (eksemplene kan være fra forskjellige anvendelser).

Oppgave 5 (5%)

En PI-regulator for en gitt prosess skal stilles inn med Skogestads metode. Når prosessen påtrykkes et sprang med amplitude 20%, viser responsen i prosessmålingen først en tidsforsinkelse på 1 min. Deretter (etter tidsforsinkelsen) stiger responsen som en rampe med stigningstall 10 %/min. Still inn regulatoren.

Oppgave 6 (5%)

Gitt en prosess som blir regulert av en P-regulator med forsterkning 1,0. Systemets prosessvariabel (utgangsvariabel) svinger da periodisk med periodetid 12 minutter. Still inn en PI-regulator for prosessen med Ziegler-Nichols' metode og med Relaxed Ziegler-Nichols' metode.

Anta at det viser seg at reguleringssystemet får for dårlig stabilitet etter regulatorinnstillingen. Hvordan kan du enkelt etterjustere regulatoren for å prøve å forbedre stabiliteten?

Oppgave 7 (5%)

For hver av følgende tre prosessvariable, nevn to forskjellige typer sensorer som kan brukes for måling av prosessvariabelen: (1) Temperatur. (2) Væskestrøm (-flow). (3) Nivå. (Du skal altså navngi totalt 6 sensorer. Det er ikke nødvendig å beskrive sensorenes konstruksjon og virkemåte.)

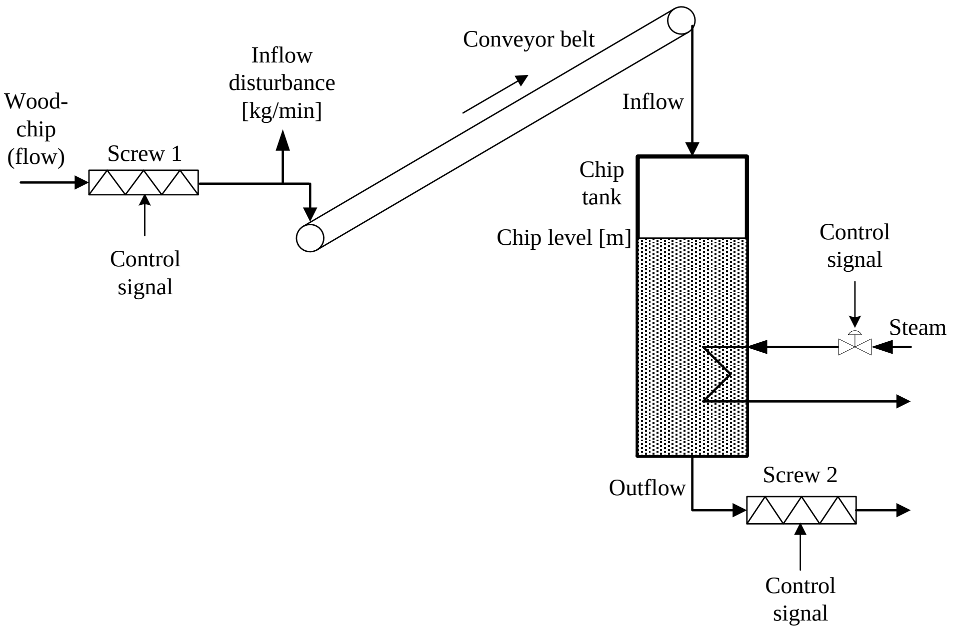
Oppgave 8 (5%)

Gitt et varmeelementet som styres med en pulsbreddemodulator med periodetid lik 0,5 s. Når pulsbreddemodulatoren er i på-tilstand, er nettspenningen tilkoplet varmeelementet, og elementet leverer da 1 kW. Når modulatoren er i av-tilstand, leverer elementet null effekt. Anta at varmeelementet skal styres slik at det leverer 400 W (konstant).

Hvor stor er pulsbreddemodulatorens duty cycle? Hvor lang tid er pulsbreddemodulatoren i på-tilstand?

Oppgave 9 (10%)

Figur 3 viser en flistank som står i begynnelsen av en papirmassefabrikk. Flis tilføres tanken via et transportbånd som går med fast hastighet. Fjerning av store flisstykker o.l. før beltet er opphav til en flisstrømforstyrrelse.



Figur 3. Engelsk/norsk ordliste: Flow = strøm. Conveyor belt = transportbånd. Chip = flis. Steam = damp. Screw = skrue.

Tegn et teknisk flytskjema for et reguleringssystem for prosessavsnittet ut fra følgende spesifikasjoner:

- Flisnivået i tanken skal reguleres til et gitt settpunkt ved manipulering av flisstrømmen inn til transportbåndet.
- En strømningsreguleringssløyfe skal kompensere for strømningsforstyrrelsen.
- Produksjonsraten, som er flisstrømmen gjennom skrue 2, skal reguleres til et gitt settpunkt ved manipulering av denne skruen.
- Temperaturen i tanken skal reguleres til et gitt settpunkt ved manipulering av dampventilen.

Oppgave 10 (10%)

Forklar, og suppler gjerne med figur, prinsippet for modellbasert prediktiv regulering (eng.: model-based predictive control (MPC)). Tegn en figur for å illustrere poenget Hvorfor er en tilstandsestimator, som typisk er i form av et Kalmanfilter, en viktig del av en MPC-regulator?

Oppgave 11 (5%)

Gi et eksempel på split-range-regulering. Tegn teknisk flytskjema, og beskriv kort systemets virkemåte. Ingen matematisk modell trengs.

Oppgave 12 (5%)

Tegn et teknisk flytskjema av et generelt forholdsreguleringssystem (du trenger altså ikke beskrive et konkret eksempel). Forklar systemets virkemåte.

Formelliste (identisk med formellisten i Reguleringsteknikk, 2. utgave)

$$e = y_{SP} - y \tag{C.1}$$

$$\mathrm{IAE} = \int_{t_{\mathrm{start}}}^{t_{\mathrm{slutt}}} |e(t)|dt \approx T_s \sum_{t_1 = t_{\mathrm{start}}}^{t_N = t_{\mathrm{slutt}}} |e(t_k)| \tag{C.2}$$

$$F_{2_{SP}} = KF_1 \tag{C.3}$$

$$y_d = \frac{b_{n-1}2^{n-1} + ... + b_1 2^1 + b_0 2^0}{2^n - 1}(y_{a_{\mathrm{maks}}} - y_{a_{\mathrm{min}}}) + y_{a_{\mathrm{min}}} \tag{C.4}$$

$$R = \frac{y_{a_{\mathrm{maks}}} - y_{a_{\mathrm{min}}}}{2^n - 1} \tag{C.5}$$

$$P = \frac{P_2 - P_1}{M_2 - M_1}(M - M_1) + P_1 \tag{C.6}$$

$$T_f \dot{y}_{mf}(t) = y_m(t) - y_{mf}(t) \tag{C.7}$$

$$y_{mf}(t_k) = (1-a)y_{mf}(t_{k-1}) + ay_m(t_k) \tag{C.8}$$

$$a = \frac{T_s}{T_f + T_s} \tag{C.9}$$

$$\tau_{\text{rampe}} = T_f \tag{C.10}$$

$$T_f \approx \frac{T_s}{2} \frac{1}{\left(\sigma_{y_{mf}}/\sigma_{y_m}\right)^2} \tag{C.11}$$

$$T_f \leq \frac{T_p}{10} \tag{C.12}$$

$$T_f \leq \frac{\tau_p}{10} \tag{C.13}$$

$$y_{mf}(t_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=k-(N-1)}^{j=k} y_m(t_j) \tag{C.14}$$

$$T_f \approx \frac{T_v}{2} \tag{C.15}$$

$$u_{se} = \frac{u_{se_2} - u_{se_1}}{u_{fe_2} - u_{fe_1}} \left(u_{fe} - u_{fe_1}\right) + u_{se_1} \tag{C.16}$$

$$\tau_{\text{DA-omsetter}} \approx \frac{T_s}{2} \tag{C.17}$$

$$D = \frac{T_{\text{on}}}{T_p} \cdot 100\% = \frac{u_{\text{mean}}}{U_{\text{on}}} \cdot 100\% \tag{C.18}$$

$$Q = K_v(z)\sqrt{\frac{p_v}{G}} \text{ eller } K_v\sqrt{\frac{p_v}{G}} \tag{C.19}$$

$$K_v(z) = K_{v_{\max}} z \tag{C.20}$$

$$K_v(z) = K_{v_{\max}} R^{1-z} \tag{C.21}$$

$$P_{\text{midlere}} = \frac{{U_{\text{eff}}}^2}{R} \tag{C.22}$$

$$R_s = \frac{R}{L}\ [\Omega/\text{m}] \tag{C.23}$$

$$R\ [\Omega] = \frac{u}{i} \tag{C.24}$$

$$R = \frac{S}{2^n - 1} \tag{C.25}$$

$$v_0(T_m) = v + v_0(T_r) \tag{C.26}$$

$$T = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{a} \tag{C.27}$$

$$L = \frac{vT_r}{2} \tag{C.28}$$

$$p = \rho g(h + h_0) \tag{C.29}$$

$$F = k\sqrt{\Delta p} \tag{C.30}$$

$$v = k\left(t_{\text{mot}} - t_{\text{med}}\right) \tag{C.31}$$

$$Q = Av \tag{C.32}$$

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} \tag{C.33}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = kF \tag{C.34}$$

$$v(t_k) = \frac{ds(t_k)}{dt} \approx \frac{s(t_k) - s(t_{k-1})}{T_s} \tag{C.35}$$

$$v(t_k) \approx \frac{s(t_{k+1}) - s(t_{k-1})}{2T_s} \tag{C.36}$$

$$u_t = K_t v \tag{C.37}$$

$$\frac{dm(t)}{dt} = \sum w_{\mathrm{inn}}(t) - \sum w_{\mathrm{ut}}(t) + \sum w_{\mathrm{generert}}(t) \tag{C.38}$$

$$m = \rho V \tag{C.39}$$

$$\frac{dE}{dt} = \sum Q_{\mathrm{inn}} - \sum Q_{\mathrm{ut}} + \sum Q_{\mathrm{generert}} \tag{C.40}$$

$$E = cmT = c\rho VT = CT \tag{C.41}$$

$$m\dot{v} = m\ddot{x} = ma = \sum F \tag{C.42}$$

$$J\dot{\omega} = J\ddot{\theta} = \sum T \tag{C.43}$$

$$T = Fl \tag{C.44}$$

$$b = \theta r \tag{C.45}$$

$$u = Ri \tag{C.46}$$

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \tag{C.47}$$

$$P_{\text{midlere}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} = R\, {I_{\text{eff}}}^2 = \frac{{U_{\text{eff}}}^2}{R} \tag{C.48}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} \tag{C.49}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} \tag{C.50}$$

$$u = u_t + u_f \tag{C.51}$$

$$K = \frac{y_2 - y_1}{u_2 - u_1} = \frac{\Delta y}{\Delta u} \tag{C.52}$$

$$T\dot{y} = Ku - y \tag{C.53}$$

$$T\dot{y} = K_1 u_1 + K_2 u_2 - y \tag{C.54}$$

$$\dot{y} = K_i u \tag{C.55}$$

$$y(t) = K_i \int_0^t u\,(\tau)\ d\tau \tag{C.56}$$

$$y(t) = u(t - \tau) \tag{C.57}$$

$$u(t) = u_{\text{man}} + K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau)\, d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$e = y_{SP} - y_{mf} \tag{C.58}$$

Tabell C.1:

	K_p	T_i	T_d
P-regulator	$0,5K_{p_u}$	∞	0
PI-regulator	$0,45K_{p_u}$	$\frac{P_u}{1,2}$	0
PID-regulator	$0,6K_{p_u}$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{8} = \frac{T_i}{4}$

$$\text{PB} = \frac{100}{K_p} \tag{C.59}$$

$$u(t_k) = u_{\text{man}} + u_p(t_k) + u_i(t_k) + u_d(t_k) \tag{C.60}$$

$$u_p(t_k) = K_p e(t_k) \tag{C.61}$$

$$\begin{aligned} u_i(t_k) &= \frac{K_p T_s}{T_i}\left[e(t_0) + e(t_1) + \ldots + e(t_{k-1}) + e(t_k)\right] && \text{(C.62)} \\ &= u_i(t_{k-1}) + \frac{K_p T_s}{T_i} e(t_k) && \text{(C.63)} \end{aligned}$$

$$u_d(t_k) = K_p T_d \frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{T_s} \tag{C.64}$$

$$\text{“Opp-Ned”} \Longrightarrow \text{Revers} \equiv K_p > 0 \tag{C.65}$$

$$\text{“Opp-Opp”} \Longrightarrow \text{Direkte} \equiv K_p < 0 \tag{C.66}$$

$$u = \left\{ \begin{array}{l} u_{\text{maks}} \text{ når } e \geq d_e \\ u_{\text{min}} \text{ når } e < -d_e \end{array} \right\} \tag{C.67}$$

$$K_p = 0,32K_{p_u},\ T_i = P_u \tag{C.68}$$

$$K_p = 0,45K_{p_0},\ T_i = \frac{P_{u_0}}{1,2} \tag{C.69}$$

$$K_{p_u} = \frac{\text{Ut-amplitude}}{\text{Inn-amplitude}} = \frac{\frac{4A}{\pi}}{E} = \frac{4A}{\pi E} \approx 1,27\frac{A}{E} \tag{C.70}$$

$$A = \frac{u_{\text{maks}} - u_{\text{min}}}{2} \tag{C.71}$$

$$K_p = 0.8K_{GG},\ T_i = 1.5T_{ou} \tag{C.72}$$

$$K_p = \frac{1}{K_i\left(T_C + \tau\right)},\ T_i = 2\left(T_C + \tau\right) \tag{C.73}$$

$$T_C = \tau,\ K_p = \frac{1}{2K_i\tau},\ T_i = 4\tau \tag{C.74}$$

$$K_p = \frac{1}{K_iT_c},\ T_i = 2T_c \tag{C.75}$$

$$T_d = T_{\text{aktuator}} \tag{C.76}$$

$$\ddot{y} = K_{ii}u$$

$$K_p = K_{p_p} = \frac{2}{K_{ii}\,{T_C}^2} \tag{C.77}$$

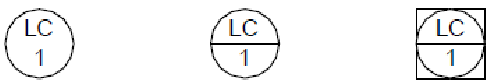
$$T_i = T_{i_p} = 4T_C \tag{C.78}$$

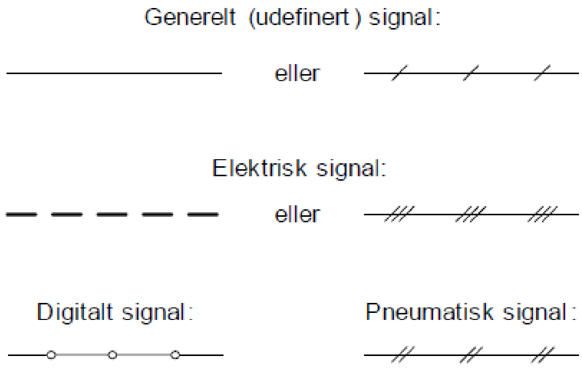
$$T_d = T_{d_p} = T_C \tag{C.79}$$

Fra boka **Reguleringsteknikk** (nedenstående symboler og formler kommer i tillegg til formellista fra Reguleringsteknikk som allerede er oppgitt på emnets hjemmeside og som oppgis til eksamen):

Bokstav- kode	1. bokstav	Etterfølgende modifikator til 1. bokstav	Etterfølgende bokstav
A	Analysis		Alarm
B	Burner, Combustion		
C	User's choice		Control
D	User's choice	Differential	
E	Voltage		Sensor, Primary element
F	Flow rate	Ratio	
G	User's choice		Glass, Gauge
H	Hand		High
I	Current (electrical)		Indicate
J	Power		
L	Level		Low
P	Pressure		
Q	Quantity	Integrate, Totalize	
R	Radiation		Record
S	Speed, Frequency		Switch
T	Temperature		Transmit
V	Vibration		Valve
W	Weight, Force		
Y			Computation
Z	Position	Safety Instrumented System (Interlock)	

Bokstavkode	Utstyr
C	Column (norsk: kolonne, f.eks. destillasjonskol.)
D	Drum (kar, fat, dunk)
F	Furnace (ovn)
H	Heat exchanger (varmeveksler)
K	Compressor
M	Motor
P	Pump
R	Reactor
T	Tank
V	Valve, vessel (ventil, beholder)





$$\mathrm{GM} = \Delta K_u$$

$$\mathrm{PM} = \frac{\Delta \tau_u}{P_u} \cdot 360^{\circ}$$

$$1,7 \leq \mathrm{GM} \leq 4,0$$

$$30^{\circ} \leq \mathrm{PM} \leq 45^{\circ}$$

Fra boka **Basic Dynamics and Control**:

$$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t)\, dt$$

$$F(s) = k \quad \Longleftrightarrow \quad f(t) = k\delta(t) \qquad \text{(impulse of strength or area } k\text{)}$$

$$\frac{k}{s} \quad \Longleftrightarrow \quad k \qquad \text{(step of amplitude } k\text{)}$$

$$\frac{k}{s^2} \quad \Longleftrightarrow \quad kt \qquad \text{(ramp of slope } k\text{)}$$

$$\frac{k}{Ts+1} \quad \Longleftrightarrow \quad \frac{ke^{-t/T}}{T}$$

$$k_1F_1(s) + k_2F_2(s) \Longleftrightarrow k_1f_1(t) + k_2f_2(t)$$

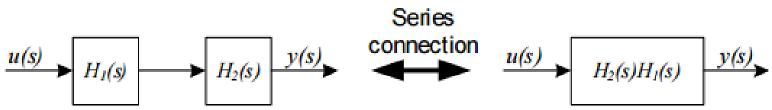
$$F(s)e^{-\tau s} \quad \Longleftrightarrow \quad f(t-\tau)$$

First order time derivative with zero initial condition:

$$sF(s) \quad \Longleftrightarrow \quad \dot{f}(t) \tag{4.20}$$

$$\frac{1}{s}F(s) \quad \Longleftrightarrow \quad \int_0^t f(\tau)d\tau$$

$$\lim_{s \to 0} sF(s) \iff \lim_{t \to \infty} f(t)$$



(Andre regler for blokkdiagrammanipulering enn den ovenstående vil ikke bli aktuelle på eksamen.)

Fra utdraget av boka **Dynamiske systemer**:

$$h(t) = \sum_i \lim_{s \to p_i} \left\{ (s - p_i) \underbrace{H(s)}_{h(s)} e^{st} \right\}$$

$$u(t) = U \sin \omega t$$

$$\begin{aligned} y_s(t) &= Y \sin(\omega t + \phi) \\ &= \underbrace{UA}_{Y} \sin(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

$$x \text{ [dB]} = 20 \log_{10} x$$

$$A(\omega) = |H(j\omega)|$$

$$\phi(\omega) = \arg H(j\omega)$$

$$H(s) = \frac{1}{\frac{s}{\omega_b} + 1}$$