

EKSAMENSFORSIDE

Skriftlig eksamen med tilsyn

Emnekode: IA3112	Emnenavn: Automatiseringsteknikk	
Dato: Porsgrunn	Tid fra / til: 30. november 2016 Kl. 09:00 - 14:00	Ant. timer: 5
Ansv. faglærer: Finn Aakre Haugen		
Campus: Porsgrunn	Fakultet: Teknologiske fag	
Antall oppgaver: 15	Antall vedlegg: 1 (10 sider)	Ant. sider inkl. forside og vedlegg: 14
<p>Tillatte hjelpemidler:</p> <p>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.</p>		
<p>Opplysninger om vedlegg:</p> <p>Vedlagt oppgavesettet er informasjon som kan være aktuell ved løsning av enkelte av oppgavene.</p>		
<p>Merknader:</p> <p>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.</p> <p>Du kan ikke kalle på læreren for å få hjelp til å tolke eller forstå oppgaven.</p> <p>%-tallet ved hver oppgave angir oppgaven vekt ved sensur.</p>		

Kryss av for type eksamenspapir

Ruter Linjer
KANDIDATEN MÅ SELV KONTROLLERE AT OPPGAVESETTET ER FULLSTENDIG

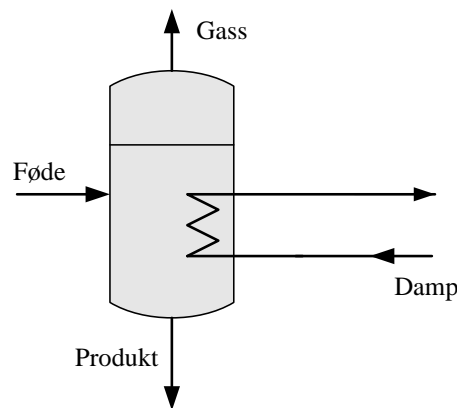
Oppgave 1 (5%)

Gitt et reguleringsystem med PI-regulator med $K_p = 3$ og $T_i = 20$ s. Reguleringsystemets stabilitetsmarginer skal bestemmes eksperimentelt. Et eksperiment viser at reguleringsystemet blir marginalt stabilt for $K_p = 9$. Hvor stor er forsterkningsmarginen, GM? I et annet eksperiment, med $K_p = 3$ og $T_i = 20$ s, er det lagt inn en økning av tidsforsinkelsen i reguleringsløyfa på 5 s, og reguleringsystemet har da stående svingninger med periode 40 s. Hva er fasemarginen, PM?

Oppgave 2 (10%)

Figur 1 viser en fordampner der ønsket produkt framkommer ved fordampning i tanken. Fordampneren skal reguleres med tre reguleringsløyfer:

- En nivåreguleringsløyfe: Sensoren måler væskenivået i tanken. Aktuatoren er en FC-ventil (Fail Closed) i produkrørledningen.
- En trykkreguleringsløyfe: Sensoren måler trykket i gassen i tanken. Aktuatoren er en FO-ventil (Fail Open) i gassrørledningen.
- En konsentrasjonssløyfe: Sensoren måler konsentrasjonen av en bestemt produktkomponent i væskefasen i tanken. Aktuatoren er en ventil som styrer dampstrømmen inn til fordampneren.



Figur 1

Tegn et teknisk flytskjema for reguleringsystemet for fordampneren. Bruk parallell nummerering. Signalene er elektriske. Ikke tegn inn piler på signalledningene. Settpunktene skal ikke tegnes inn som eksplisitte signaler. Angi bokstav- og tallkoder for fordampneren og ventilene. Konsentrasjon er ikke definert i tabellen vist i den aktuelle symboltabellen i vedlegget, men du kan selv definere en passende bokstavkode. Det er ikke krav om at symbolene skal angi plasseringen av instrumentene i anlegget (du kan altså bruke et enkelt sirkel-symbol for instrumentene). Det er ikke krav om at kodene skal vise hvorvidt måleverdier blir indikert på regulatoren.

Oppgave 3 (5%)

Gitt følgende matematiske model av et masse-fjær-demper-system (modellen er Newtons 2. lov):

$$m\ddot{y} = F - D\dot{y} - Ky$$

der m er legemets masse, D er dempekonstant og K er fjærkonstant. F er påtrykket kraft. y er legemets posisjon. Finn transferfunksjonen fra F til y .

Oppgave 4 (10%)

Tegn et blokkdiagram av et generelt reguleringsystem som består av både tilbakekopling og foroverkopling. Forklar systemets virkemåte.

Oppgave 5 (10%)

Beskriv, gjerne vha. en figur, Skogestads metode for innstilling av en PI-regulator der en betrakter prosessen som et tilnærmet «integrator med tidsforsinkelse»-system.

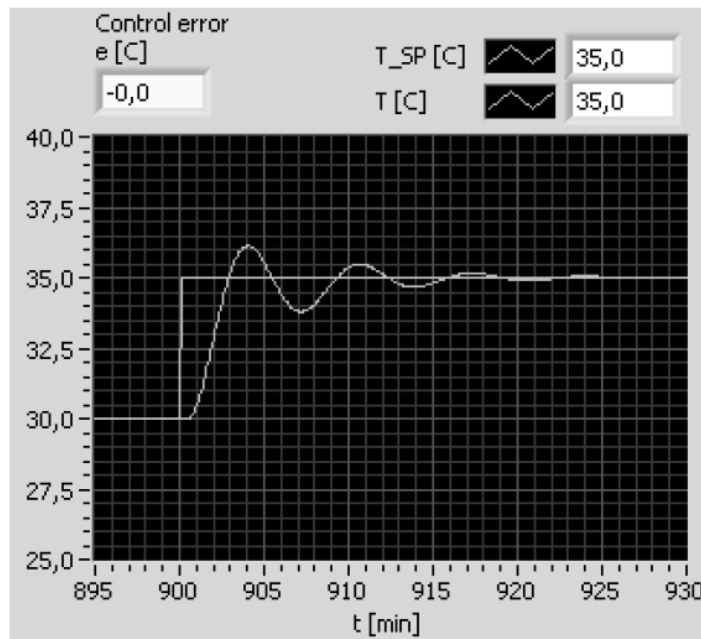
KANDIDATEN MÅ SELV KONTROLLERE AT OPPGAVESETTET ER FULLSTENDIG

Oppgave 6 (5%)

Gitt en prosess som du antar har "tidskonstant med tidsforsinkelse"-dynamikk. Skisser prinsipielt (ingen beregninger forventes) prosessens sprangrespons, og angi på sprangresponsen hvordan forsterkningen K , tidskonstanten T og tidsforsinkelsen τ framkommer (i responsen).

Oppgave 7 (5%)

Figur 2 viser responsen i et reguleringsystem der regulatoren er en PI-regulator med følgende innstilling: $K_p = 1,0$ og $T_i = 3,33$ min. Responsen viser at reguleringsystemets stabilitet er dårlig. Finn en forbedret PI-innstilling.



Figur 2

Oppgave 8 (5%)

Illustrer begrepene øvre prosessverdi, nedre prosessverdi, måleområde, måleomfang (eng.: span) og målenullpunkt (eng.: zero) i et diagram (xy-plott) der målesignalet, som er et 4-20 mA signal, angis langs x-aksen. Skriv opp den generelle formelen for beregning av prosessverdien P som funksjon av målesignalet M (du trenger ikke anta spesifikke tallverdier i formelen).

Oppgave 9 (5%)

Bestem polene for følgende transferfunksjon, og skisser dem (marker dem med kryss) i det komplekse plan. Hvilken stabilitetsegenskap (asymptotisk stabil, marginal stabil eller ustabil) har transferfunksjonen (vurdert ut fra polene du har funnet):

$$H(s) = \frac{s - 5}{(s^2 + 2s + 2)(s + 1)} = \frac{s - 5}{(s - (-1 + i))(s - (-1 - i))(s + 1)}$$

Oppgave 10 (5%)

Finn frekvensresponsen, dvs. forsterkningsfunksjonen og faseforskyvningsfunksjonen, for et system gitt ved transferfunksjonen

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

Hva er systemets forsterkning K , tidskonstant T og båndbredde f_b i Hz?

KANDIDATEN MÅ SELV KONTROLLERE AT OPPGAVESETTET ER FULLSTENDIG

Oppgave 11 (5%)

Anta at du har programmert en PI-regulator fra scratch og skal teste den, dvs. sjekke om den oppfører seg som forventet. En måte å teste den på, er å sørge for at reguleringsavviket endres som et sprang og se om responsen i pådraget er ihht. regulatorens matematiske funksjon. Beregn regulatorpådragets sprangrespons, dvs. finn $u(t)$ som funksjon av avvikets spranghøyde E , regulatorparametrene K_p og T_i og det manuelle pådraget u_{man} . Skisser $u(t)$.

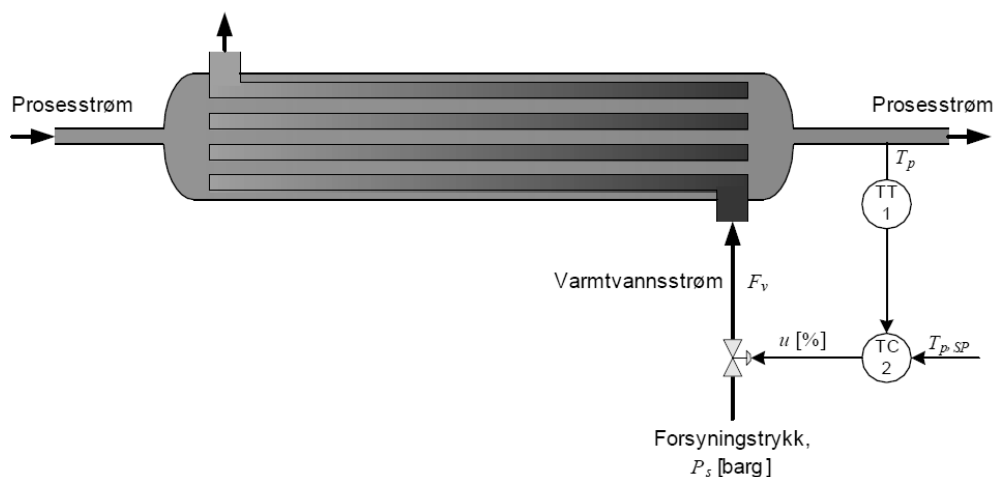
Oppgave 12 (5%)

Forklar prinsippet for modellbasert prediktiv regulering (eng.: model-based predictive control (MPC)).

Oppgave 13 (5%)

Figur 3 viser en temperaturregulert varmeveksler der en kald prosesstrøm varmes opp vha. varmtvann. Temperaturen av prosesstrømmen ut av varmeveksleren reguleres. Reguleringsystemet vist i figuren er basert på enkeltsløyferregulering. Det er dessverre ganske store variasjoner i trykket som driver varmtvannsstrømmen. Disse trykkvariasjonene gir variasjoner i varmtvannsstrømmen som arter seg som forstyrrelser på den regulerede temperaturen.

Foreslå en reguleringsstruktur som kan gi forbedret regulering (tegn teknisk flytskjema).



Figur 3

Oppgave 14 (5%)

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

Oppgave 15 (15%)

Reguleringsstrukturen for en kontinuerlig prosesslinje (prosessanlegg) kan fastlegges ut fra bl.a. følgende overordnede krav til reguleringen:

1. Produktstrømmen reguleres (til settpunkt).
2. Produktkvaliteten reguleres.
3. Massen (av væske, gass) i beholdere reguleres.
4. Temperaturen i beholdere eller strømmer reguleres.

Tegn et teknisk flytskjema for en regulert prosesslinje (fiktiv eller reell) ihht. ovenstående krav.

På de etterfølgende sider er vedlegg til oppgavene med informasjon som kan være nyttig ved løsning av enkelte av oppgavene.

KANDIDATEN MÅ SELV KONTROLLERE AT OPPGAVESETTET ER FULLSTENDIG

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

$$e = y_{SP} - y \quad (\text{C.1})$$

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

$$F_{2SP} = KF_1 \quad (\text{C.3})$$

$$y_d = \frac{b_{n-1}2^{n-1} + \dots + b_12^1 + b_02^0}{2^n - 1} (y_{a_{\text{maks}}} - y_{a_{\text{min}}}) + y_{a_{\text{min}}} \quad (\text{C.4})$$

$$R = \frac{y_{a_{\text{maks}}} - y_{a_{\text{min}}}}{2^n - 1} \quad (\text{C.5})$$

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

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

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

$$a = \frac{T_s}{T_f + T_s} \quad (\text{C.9})$$

$$\tau_{\text{rampe}} = T_f \quad (\text{C.10})$$

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

$$T_f \leq \frac{T_p}{10} \quad (\text{C.12})$$

$$T_f \leq \frac{\tau_p}{10} \quad (\text{C.13})$$

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

$$T_f \approx \frac{T_v}{2} \quad (\text{C.15})$$

$$u_{se} = \frac{u_{se2} - u_{se1}}{u_{fe2} - u_{fe1}} (u_{fe} - u_{fe1}) + u_{se1} \quad (\text{C.16})$$

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

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

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

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

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

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

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

$$R \text{ [}\Omega] = \frac{u}{i} \quad (\text{C.24})$$

$$R = \frac{S}{2^n - 1} \quad (\text{C.25})$$

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

$$T = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{a} \quad (\text{C.27})$$

$$L = \frac{vT_r}{2} \quad (\text{C.28})$$

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

$$F = k\sqrt{\Delta p} \quad (\text{C.30})$$

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

$$Q = Av \quad (\text{C.32})$$

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} \quad (\text{C.33})$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = kF \quad (\text{C.34})$$

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

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

$$u_t = K_t v \quad (\text{C.37})$$

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

$$m = \rho V \quad (\text{C.39})$$

$$\frac{dE}{dt} = \sum Q_{\text{inn}} - \sum Q_{\text{ut}} + \sum Q_{\text{generert}} \quad (\text{C.40})$$

$$E = cmT = c\rho VT = CT \quad (\text{C.41})$$

$$m\dot{v} = m\ddot{x} = ma = \sum F \quad (\text{C.42})$$

$$J\dot{\omega} = J\ddot{\theta} = \sum T \quad (\text{C.43})$$

$$T = Fl \quad (\text{C.44})$$

$$b = \theta r \quad (\text{C.45})$$

$$u = Ri \quad (\text{C.46})$$

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (\text{C.47})$$

$$P_{\text{midlere}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} = R I_{\text{eff}}^2 = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} \quad (\text{C.48})$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} \quad (\text{C.49})$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} \quad (\text{C.50})$$

$$u = u_t + u_f \quad (\text{C.51})$$

$$K = \frac{y_2 - y_1}{u_2 - u_1} = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad (\text{C.52})$$

$$T\dot{y} = Ku - y \quad (\text{C.53})$$

$$T\dot{y} = K_1 u_1 + K_2 u_2 - y \quad (\text{C.54})$$

$$\dot{y} = K_i u \quad (\text{C.55})$$

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

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

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

$$e = y_{SP} - y_{mf} \quad (\text{C.58})$$

Tabell C.1:

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

$$PB = \frac{100}{K_p} \quad (C.59)$$

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

$$u_p(t_k) = K_p e(t_k) \quad (C.61)$$

$$u_i(t_k) = \frac{K_p T_s}{T_i} [e(t_0) + e(t_1) + \dots + e(t_{k-1}) + e(t_k)] \quad (C.62)$$

$$= u_i(t_{k-1}) + \frac{K_p T_s}{T_i} e(t_k) \quad (C.63)$$

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

$$\text{“Opp-Ned”} \implies \text{Revers} \equiv K_p > 0 \quad (C.65)$$

$$\text{“Opp-Opp”} \implies \text{Direkte} \equiv K_p < 0 \quad (C.66)$$

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

$$K_p = 0,32K_{pu}, \quad T_i = P_u \quad (C.68)$$

$$K_p = 0,45K_{p0}, \quad T_i = \frac{P_{u0}}{1,2} \quad (C.69)$$

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

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

$$K_p = 0,8K_{GG}, \quad T_i = 1,5T_{ou} \quad (\text{C.72})$$

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

$$T_C = \tau, \quad K_p = \frac{1}{2K_i\tau}, \quad T_i = 4\tau \quad (\text{C.74})$$

$$K_p = \frac{1}{K_i T_c}, \quad T_i = 2T_c \quad (\text{C.75})$$

$$T_d = T_{\text{aktuator}} \quad (\text{C.76})$$

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

$$K_p = K_{pp} = \frac{2}{K_{ii} T_C^2} \quad (\text{C.77})$$

$$T_i = T_{ip} = 4T_C \quad (\text{C.78})$$

$$T_d = T_{dp} = T_C \quad (\text{C.79})$$

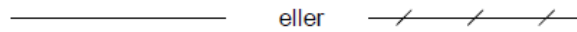
Fra boka **Reguleringsteknikk** (nedenstående symboler og formler kommer i tillegg til formellista fra Reguleringsteknikk som allerede er oppgitt på emnets hjemmeside og som oppgis til eksamen):

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)	

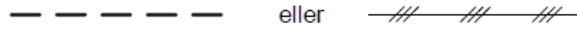
Bokstavkode	Utstyr
C	Column (norsk: kolonne, f.eks. destillasjonskol.)
D	Drum (kar, fat, dunk)
F	Furnace (ovn)
H	Heat exchanger (varmeveksler)
K	Compressor
M	Motor
P	Pump
R	Reactor
T	Tank
V	Valve, vessel (ventil, beholder)



Generelt (udefinert) signal:



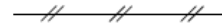
Elektrisk signal:



Digitalt signal:



Pneumatisk signal:



$$GM = \Delta K_u$$

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

$$1,7 \leq GM \leq 4,0$$

$$30^\circ \leq PM \leq 45^\circ$$

Fra boka [Basic Dynamics and Control](#):

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

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

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

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

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

$$k_1 F_1(s) + k_2 F_2(s) \iff k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t)$$

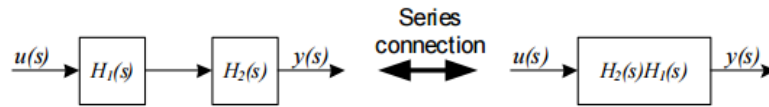
$$F(s)e^{-\tau s} \iff f(t - \tau)$$

First order time derivative with zero initial condition:

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

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

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



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

Fra utdraget av boka [Dynamiske systemer](#):

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

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

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

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

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

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

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

Oppdatert 30.10 2016 av [Finn Aakre Haugen](#), emneansvarlig. Epost: Finn.Haugen@hit.no.