



Høgskolen i Telemark

Avdeling for teknologiske fag

EKSAMENSOPPGAVE

EMNE: EK3112 Automatiseringsteknikk for elkraft.

EMNEANSVARLIG: Finn Haugen (tlf. 97019215).

KLASSE(R):	DATO: 18.12.2013	EKSAMENSTID: 5 timer	
Eksamensoppgaven består av følgende:	Antall sider: 11 (utenom denne forsiden)	Antall oppgaver: 17	Antall vedlegg: 1
Tillatte hjelpemidler:	Ingen (heller ikke kalkulator)		
	Lærerne i emnet besøker ikke eksamenslokalene med mindre emneansvarlig eller eksamensansvarlig finner det nødvendig. Studenter kan ikke kalle på noen av lærerne for å få hjelp til å tolke eksamensoppgavene.		
KANDIDATEN MÅ SELV KONTROLLERE AT OPPGAVESETTET ER FULLSTENDIG.			

Høgskolen i Telemark. Emneansvarlig: Finn Haugen (finn.haugen@hit.no).

Eksamen i EK3112 Automatiseringsteknikk for elkraft

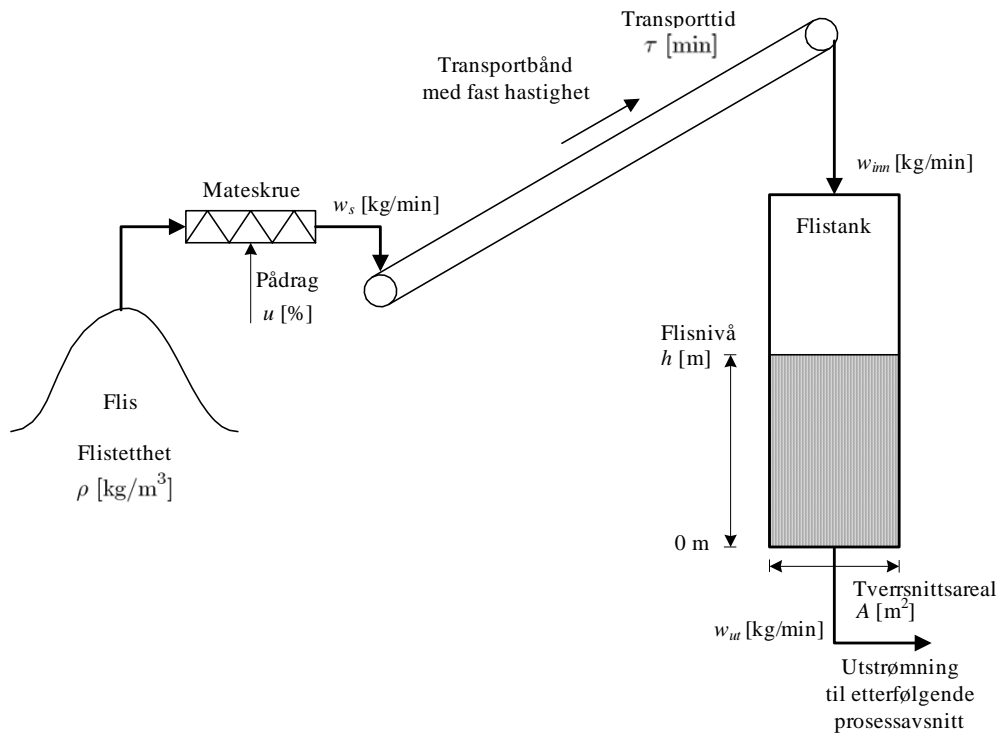
Eksamensdato: 18. desember 2013. Varighet 5 timer. Vekt i slutt karakteren: 100%.

Hjelpemidler: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler. Kalkulator 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).
Formler og instrumenteringssymboler som kan være nyttige, er gitt i vedlegg A.

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.

Som opplyst før eksamen, er noen av oppgavene lik noen av øvingene i emnet.

1. (5%) Fra øvingene: Figur 1 viser en flistank med mateskrue og transportbånd (båndet går med konstant hastighet). Det er forbruk



Figur 1:

av flis fra bunnen av tanken. Massestrømmen w_s fra mateskruen til

båndet antas å være proporsjonal med skruestyresignalet u :

$$w_s = K_s u \quad (1)$$

Massestrømmen w_{inn} inn til flistanken (ut av transportbåndet) antas å være lik w_s tidsforsinket tiden τ (transporttiden på båndet):

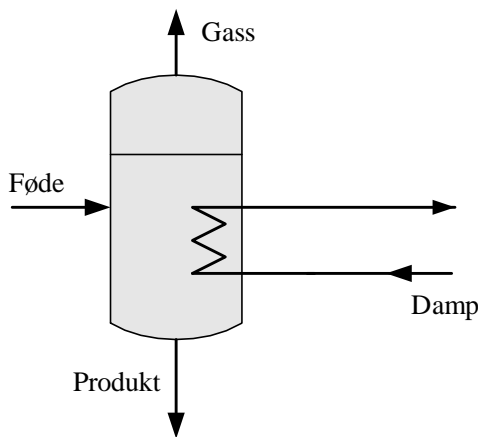
$$w_{inn}(t) = w_s(t - \tau) \quad (2)$$

Sett opp en matematisk modell for flisnivået. Modellen skal uttrykke endringsraten, dvs. den tidsderiverte, av flisnivået. Hvilken enhet har denne endringsraten?

2. (5%) Fra øvingene: Gitt et simulert reguleringsystem med PI-regulator med $K_p = 3$ og $T_i = 20$ s. Et eksperiment (en simulering) viser at reguleringsystemet blir marginalt stabilt for $K_p = 9$. Hvor stor er forsterkningsmarginen, GM? Er GM akseptabel?

I et annet eksperiment, med $K_p = 3$ og $T_i = 20$ s, er det lagt inn en økning av tidsforsinkelsen i sløyfa på 5 s, og reguleringsystemet svinger da udempet med periode 40 s. Hva er fasemarginen, PM? Er PM akseptabel?

3. (10%) Fra øvingene (men litt forenklet oppgaveformulering her): Figur 2 viser en fordampner (eng.: evaporator) der ønsket produkt framkommer ved fordampning i tanken. (Et eksempel på en



Figur 2:

fordampner er fordampneren som fjerner vann fra halvferdig kunstgjødse i en kunstgjødselfabrikk.) Fordampneren skal reguleres med tre reguleringsløyfer:

- En nivåreguleringssløyfe: Sensoren måler væsknivået i tanken. Aktuatoren er en FC-ventil (Fail Closed) i produktørledningen.
- En trykkreguleringssløyfe: Sensoren måler trykket i gassen i tanken. Aktuatoren er en FO-ventil (Fail Open) i gassørledningen.
- En konsentrasjonssløyfe: Sensoren måler konsentrasjonen av en bestemt produktkomponent i væskefasen i tanken. Aktuatoren er en ventil som styrer dampstrømmen inn til fordampere.

Tegn et teknisk flytskjema (Piping & Instrumentation Diagram) for reguleringssystemet for fordampere.

4. (5%) Fra øvingene: Gitt følgende matematisk modell av et masse-fjær-demper-system (modellen er Newtons 2. lov):

$$m\ddot{y}(t) = F(t) - D\dot{y}(t) - Ky(t) \quad (3)$$

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 .

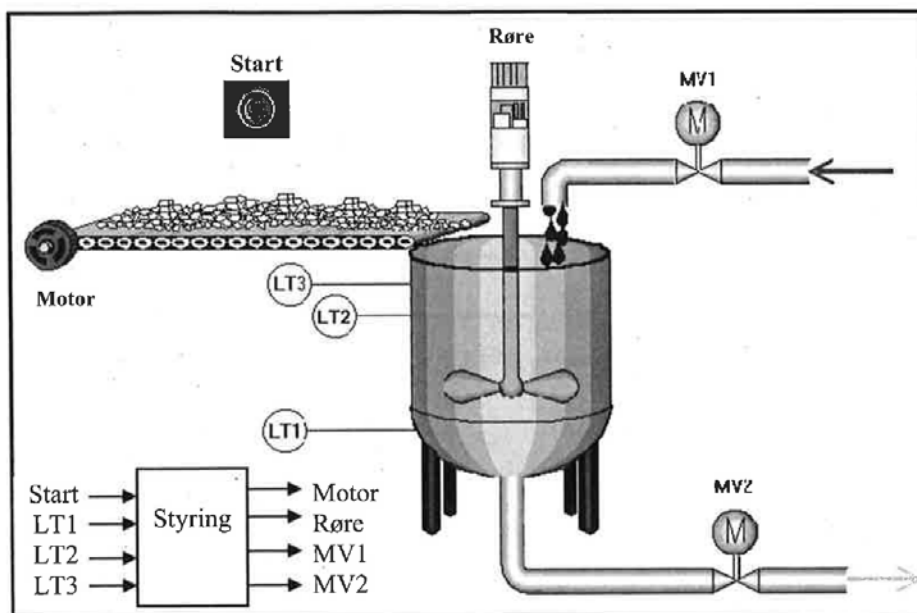
5. (5%) Gitt en vanntank med innløp og utløp. Nivået i tanken reguleres. Nivåregulatoren manipulerer innstrømmingen av tanken vha. en ventil i innløpet. Anta at økende ventilstyresignal fra regulatoren reduserer ventilåpningen. Skal regulatoren ha revers- eller direktevirkning? Forklar hvordan du kom fram til svaret. (Svar uten forklaring honoreres ikke.)
6. (5%) Gitt en væske/gasstrømsensor (flowsensor) med måleområde 0-2,2 tonn/h (h = hour) med en nøyaktighet på 0,1% av URL (Upper Range Limit). Hvor stor målefeil må du anta at enhver måling har? Er det gjennom *justering* eller *kalibrering* at nøyaktigheten til en sensor bestemmes?
7. (5%) En PI-regulator for en gitt prosess skal stilles inn med Skogestads metode. Når prosessen påtrykkes et sprang med amplitude 10%, viser responsen i prosessmålingen først en tidsforsinkelse på 5 s. Deretter (etter tidsforsinkelsen) stiger responsen som en rampe med stigningstall 20 %/s. Still inn regulatoren.

8. (5%) Gitt følgende prosessmodell:

$$\dot{y}(t) = -2y(t) + 5u(t) \quad (4)$$

der y er prosessutgangen og u er prosessinngangen (pådragsvariabelen). Finn modellens forsterkning og tidskonstant.

9. (5%) Tegn et blokkdiagram av et (generelt) kaskadereguleringssystem. Forklar systemets virkemåte. (Du trenger ikke anta et konkret eksempel.)
10. (5%) For hver av følgende tre prosessvariable, nevnto forskjellige typer sensorer som kan brukes for måling av prosessvariabelen: Temperatur. Væskestrøm (-flow). Nivå. (Du skal altså navngi totalt 6 sensorer. Det er ikke nødvendig å beskrive sensorenes konstruksjon og virkemåte.)
11. (15%) Figur 3 viser en prosess som blander vann og pulver i et gitt forhold. En Logol-PLS skal styre prosessen.



Figur 3:

Blandeprosessen foregår slik: Anta at tanken i utgangspunktet er tom. Når startknappen betjenes (Start) skal magnetventilen MV1 åpne for å slippe vann inn i tanken. Samtidig startes motoren på transportbåndet for å tilføre pulver. Når nivået i tanken når nivåtransmitter LT2 skal vanntilførselen stenges. Deretter startes røreverket som skal røre i fem minutter etter at alt pulveret er tilført. Når tiden er ute, åpnes utløpsventilen MV2 for å slippe ut det ferdige produktet. Når nivået kommer under nivåtransmitteren LT1 skal røreverket stoppe og utløpsventilen MV2 stenge. Sekvensen kan gjentas ved å aktivere startknappen.

Merk: Mengden pulver som skal tilsettes blandingen kan variere fra produkt til produkt. For å håndtere dette, utvides anlegget med en mengdemåler for pulveret. Denne måleren gir en puls for hver 100g pulver som forlater båndet. Denne mengdemåleren er ikke angitt i figuren.

Lag et SFC-diagram som beskriver denne sekvensen. Bruk korrekte symboler og attributter. Skriv opp hvilke antagelser du gjør når du løser oppgaven.

Vis hvordan du vil programmere starttrinnet i sekvensen i FBD eller Ladder i Logosoft Comfort (du kan selv velge mellom FBD og Ladder). Du må vise hvordan du kopler starttrinnet til neste og foregående trinn.

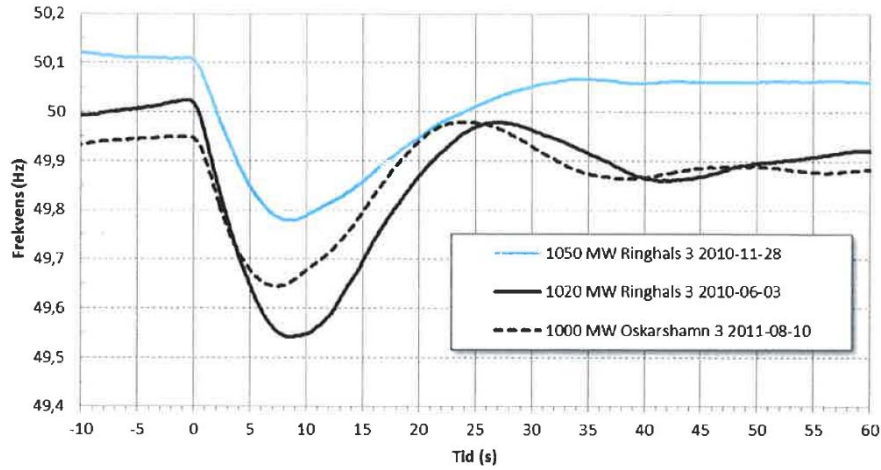
12. (5%) Formelen for effekt i et vannkraftverk er

$$P = \rho \eta g H Q \quad (5)$$

Gi en beskrivelse av de ulike størrelsene i formelen, og angi hvilke enheter de ulike størrelsene angis i.

13. (5%) Kontrollanlegg for vannkraftaggregater omfatter flere og uensartede funksjoner. En vannkjølt synkrongenerator er et svært viktig element i et kraftverk. Gi en beskrivelse av hvordan kjølesystemene som skal fjerne tapsvarme fra generatorens lager og viklinger/blikkpakke, blir overvåket.
14. (5%) Figur 4 over viser forløpet av nettfrekvensen i det nordiske synkronsystem ved utfall noen av de aller største kjernekraftaggregater i dette kraftsystemet. Forklar de tre “fasene” i dette forløpet; (tiden regnes fra tidspunkt for utfall – som i figuren): 0-3 s, 3-25 s og > 25 s.
15. (5%) Ta utgangspunkt i den øverste (lyse) kurven i figur 4. Beregn regulerstyrken i nettet basert på det stasjonære frekvensavviket.
16. (5%) Hvor stor må generelt primærreguler- og sekundærreguler-reserve være for at en i et synkront kraftsystem skal kunne motstå alle enkelthendelser uten at frekvensen kommer utafor grenseverdiene? Og hvor lenge etter et utfall i nettet er det “optimalt” at sekundærregulerreserve overtar for primærreguleringen.
17. (5%) Hva menes med akselerasjonstider for vannveg og aggregat og som uttrykkes i formlene nedenfor?

$$T_w = Q_o L / (g H A) \quad (6)$$



Figur 2.2. Frekvensen ved tre større produktionsbortfall.

Figur 4:

$$T_a = J\omega_{N_2}/P_N \quad (7)$$

For vannvegen benyttes også betegnelsen vannvegstidskonstant. Hvorfor er det viktig at vannvegstidskonstanten ikke blir for stor og hvordan må en eventuelt kompensere for at reguleringsystemet for et kraftanlegg med gitte størrelser for T_a og T_w blir “gode nok” i henhold til myndighetskrav?

Vedlegg A: Formelsamling (samme som oppgitt før eksamen)

Nedenfor er informasjon som *kan* være aktuell i noen av oppgavene.

$$IAE = \int_{t_{start}}^{t_{slutt}} |e(t)| dt \approx T_s \sum_{t_k=t_{start}}^{t_k=t_{slutt}} |e(t_k)| \quad (8)$$

$$R = \frac{y_{maks} - y_{min}}{2^n - 1} \quad (9)$$

$$P = \frac{P_2 - P_1}{M_2 - M_1} (M - M_1) + P_1 \quad (10)$$

$$T_f \dot{y}_{mf}(t) = y_m(t) - y_{mf}(t) \quad (11)$$

$$\tau_{rampe} = T_f \quad (12)$$

$$T_f \approx \frac{T_s}{2} \frac{1}{(\sigma_{y_{mf}}/\sigma_{y_m})^2} \quad (13)$$

$$y_{mf}(t_k) = (1 - a)y_{mf}(t_{k-1}) + ay_m(t_k) \quad (14)$$

$$a = \frac{T_s}{T_f + T_s} \quad (15)$$

$$T_f \leq \frac{T_p}{10} \quad (16)$$

$$T_f \leq \frac{\tau_p}{10} \quad (17)$$

$$y_{mf}(t_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=k-(N-1)}^{j=k} y_m(t_j) \quad (18)$$

$$T_f \approx \frac{T_v}{2} \quad (19)$$

$$u_{se} = \frac{u_{se2} - u_{se1}}{u_{fe2} - u_{fe1}} (u_{fe} - u_{fe1}) + u_{se1} \quad (20)$$

$$\tau_{\text{DA-omsetter}} \approx \frac{T_s}{2} \quad (21)$$

$$D = \frac{T_{on}}{T_p} [\%] \quad (22)$$

$$u_{\text{mean}} \approx DU_{on} \quad (23)$$

$$Q = K_v(z) \sqrt{\frac{p_v}{G}} \text{ eller } K_v \sqrt{\frac{p_v}{G}} \quad (24)$$

$$K_v(z) = K_{v_{\text{max}}} z \quad (25)$$

$$K_v(z) = K_{v_{\text{max}}} R^{1-z} \quad (26)$$

$$P_{\text{midlere}} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} \quad (27)$$

$$R_s = \frac{R}{L} [\Omega/\text{m}] \quad (28)$$

$$R [\Omega] = \frac{u [\text{V}]}{i [\text{A}]} \quad (29)$$

$$R = \frac{S}{2^n - 1} \quad (30)$$

$$v_0(T_m) = v + v_0(T_r) \quad (31)$$

$$T = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{a} \quad (32)$$

$$L \text{ [m]} = \frac{vT_r}{2} \quad (33)$$

$$p = \rho g(h + h_0) \quad (34)$$

$$F = k\sqrt{\Delta p} \quad (35)$$

$$v = k(t_{mot} - t_{med}) \quad (36)$$

$$Q = Av \quad (37)$$

$$F_v = \frac{F_m}{\rho} \quad (38)$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = kF \quad (39)$$

$$v(t_k) = \frac{ds(t_k)}{dt} \approx \frac{s(t_k) - s(t_{k-1})}{T_s} \quad (40)$$

$$v(t_k) \approx \frac{s(t_{k+1}) - s(t_{k-1})}{2T_s} \quad (41)$$

$$u_t = K_t v \quad (42)$$

$$\frac{dm(t)}{dt} = \sum w_{inn}(t) - \sum w_{ut}(t) + \sum w_{generert}(t) \quad (43)$$

$$\frac{dE}{dt} = \sum Q_{inn} - \sum Q_{ut} + \sum Q_{generert} \quad (44)$$

$$E = cmT = c\rho VT = CT \quad (45)$$

$$m\dot{v} = m\ddot{x} = ma = \sum F \quad (46)$$

$$J\dot{\omega} = J\ddot{\theta} = \sum T \quad (47)$$

$$T = Fl \quad (48)$$

$$b = \theta r \quad (49)$$

$$u = Ri \quad (50)$$

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (51)$$

$$P_{midlere} = U_{eff} I_{eff} = R I_{eff}^2 = \frac{U_{eff}^2}{R} \quad (52)$$

$$I_{eff} = \frac{I_{maks}}{\sqrt{2}} \quad (53)$$

$$U_{eff} = \frac{U_{maks}}{\sqrt{2}} \quad (54)$$

$$u = u_t + u_f \quad (55)$$

$$K = \frac{y_2 - y_1}{u_2 - u_1} = \frac{\Delta y}{\Delta u} \quad (56)$$

$$T\dot{y} = Ku - y \quad (57)$$

$$T\dot{y} = K_1u_1 + K_2u_2 - y \quad (58)$$

$$\dot{y} = K_i u \quad (59)$$

$$y(t) = K_i \int_0^t u(\tau) d\tau \quad (60)$$

$$y(t) = u(t - \tau) \quad (61)$$

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

$$PB = \frac{100}{K_p} \text{ og motsatt: } K_p = \frac{100}{PB} \quad (62)$$

$$u(t_k) = u_{man} + u_p(t_k) + u_i(t_k) + u_d(t_k) \quad (63)$$

$$u_p(t_k) = K_p e(t_k) \quad (64)$$

$$u_i(t_k) = \frac{K_p T_s}{T_i} [e(t_0) + e(t_1) + \dots + e(t_{k-1}) + e(t_k)] \quad (65)$$

$$= u_i(t_{k-1}) + \frac{K_p T_s}{T_i} e(t_k) \quad (66)$$

$$u_d(t_k) = K_p T_d \frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{T_s} \quad (67)$$

$$y_{mf}(t_k) = (1 - a)y_{mf}(t_{k-1}) + ay_m(t_k) \quad (68)$$

$$a = \frac{T_s}{T_f + T_s} \quad (69)$$

$$u = \left\{ \begin{array}{l} u_{maks} \text{ for } e \geq 0 \\ u_{min} \text{ for } e < 0 \end{array} \right\} \quad (70)$$

	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	$0,6K_{p_u}$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{8} = \frac{T_i}{4}$

$$K_p = 0,45K_{p_0} \quad (71)$$

$$T_i = \frac{P_{u_0}}{1,2} \quad (72)$$

$$K_p = 0,32K_{p_u} \quad (73)$$

$$T_i = P_u \quad (74)$$

$$K_{p_u} = \frac{\text{Ut-amplitude}}{\text{Inn-amplitude}} = \frac{\frac{4A}{\pi}}{E} = \frac{4A}{\pi E} \approx 1,27 \frac{A}{E} \quad (75)$$

$$A = \frac{u_{\text{maks}} - u_{\text{min}}}{2} \quad (76)$$

$$K_p = 0.8K_{GG} \quad (77)$$

$$T_i = 1.5T_{ou} \quad (78)$$

$$T_C = \tau \quad (79)$$

$$K_p = \frac{1}{2K_i\tau} \quad (80)$$

$$T_i = 4\tau \quad (81)$$

$$\text{GM} = \Delta K_u \quad (82)$$

$$\text{PM} = \frac{\Delta\tau_u}{P_u} \cdot 360^\circ \quad (83)$$

$$1,7 \leq \text{GM} \leq 4,0 \quad (84)$$

$$30^\circ \leq \text{PM} \leq 45^\circ \quad (85)$$

$$x [\text{dB}] = 20 \log_{10}(x) \quad (86)$$

$$k_1 F_1(s) + k_2 F_2(s) \iff k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t) \quad (87)$$

$$F(s)e^{-\tau s} \iff f(t - \tau) \quad (88)$$

$$s^n F(s) \iff \overset{(n)}{f}(t) \quad (89)$$

$$\frac{k}{s} \iff k \quad (\text{step of amplitude } k) \quad (90)$$

$$\frac{k}{s^2} \iff kt \quad (\text{ramp of slope } k) \quad (91)$$

$$\frac{k}{Ts + 1} \iff \frac{ke^{-t/T}}{T} \quad (92)$$

$$\frac{k}{(Ts + 1)s} \iff k \left(1 - e^{-t/T}\right) \quad (93)$$

$$y(s) = H(s)u(s) \quad (94)$$

$$y(t) = K \int_0^t u d\tau \iff y(s) = \underbrace{\frac{K}{s}}_{H(s)} u(s) \quad (95)$$

$$y(s) = \underbrace{\frac{K}{Ts + 1}}_{H(s)} u(s) \quad (96)$$

$$y(t) = u(t - \tau) \iff y(s) = \underbrace{e^{-\tau s}}_{H(s)} u(s) \quad (97)$$

	Første bokstav	Etterfølgende bokstav
A	Analysis	Alarm
B	Burner, Combustion	
C		Controller
D		Differential
E	Voltage	Sensor
F	Flow rate	Ratio
G		Glass, Viewing device
H	Hand	High
I	Current (electrical)	Indicator
J	Power	
L	Level	Light, Low
P	Pressure	
Q	Quantity	Accumulator (totalizer)
R	Radiation	Recorder
S	Speed, Frequency	Switch
T	Temperature	Transmitter
V		Valve
W	Weight	
Y		Computation

Figur 5: Bokstavkoder i ISA 5.1-standarden

Utstyr	Bokstavkode
C	Column (destillasjonskolonne)
D	Drum (kar, fat, dunk)
F	Furnace (ovn)
H	Heat exchanger (varmeveksler)
K	Compressor
M	Motor
P	Pump
T	Tank
V	Valve (ventil)

Figur 6: Bokstavkoder for prosessutstyr