



# EKSAMENSOPPGAVE

Fakultet: Realtek

Eksamen i: TEL240 Reguleringsteknikk og automasjon  
*emnekode* *emnenavn*

Tid: Mandag 9. mai 2022 0900 - 1230  
*ukedag og dato* *kl. fra – til og antall timer*

Emneansvarlig: Finn Aakre Haugen  
*Navn*

**Tillatte hjelpemidler: C3. Det er ikke tillatt å samarbeide med andre under eksamen.**

4

Oppgaveteksten er på: \_\_\_\_\_  
*antall sider inkl. ev. vedlegg*

**Prosenttallet som er angitt ved hver oppgave angir oppgavens vekt ved sensur.**

Emneansvarlig: Finn Aakre Haugen, NMBU

Sensor: Tormod Drengstig, UiS

Tilleggsopplysninger til eksamen:

Du kan bruke håndskrift og håndtegning i besvarelsen (gjørne bilder av skrift og tegninger på papir). Besvarelsen skal være i form av en pdf-fil.

Du kan ikke kontakte emneansvarlig eller andre for å få hjelp til å tolke eller forstå oppgaven. 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. %-tallet ved hver oppgave angir oppgavens vekt ved sensur.



### Oppgave 1 (5 %) Teknisk flytskjema

Tegn et teknisk flytskjema (engelsk: Piping & Instrumentation Diagram) av et temperaturreguleringssystem. Velg selv prosessen som skal reguleres (du trenger ikke beskrive prosessen). Regulatoren er tilgjengelig i felt. Både styresignalet og målesignalet er digitale.

### Oppgave 2 (10 %) Matematisk modellering

Gitt en rettvegget vanntank med sirkelformet tverrsnittsareal med radius  $r$ , volumetrisk innstrøm  $F_i$  og volumetrisk utstrøm  $F_u$ . Vannets tetthet er  $\rho$ . Utled en matematisk modell for vannivået  $h$ . Angi SI-enhetene for størrelsene som brukes i modellen. (Vis mellomregning/utledning.)

### Oppgave 3 (5 %) Simulatoralgoritme

Gitt følgende matematiske modell for et system:

$$T \cdot y'(t) = -y(t) + K \cdot u(t)$$

der  $y$  er utgangsvariabel,  $u$  er inngangsvariabel og  $K$  og  $T$  er parametre.  $y$  er begrenset til området  $[y_{\min}, y_{\max}]$ .  $y$  har initialverdi  $y_{\text{init}}$ . Utled en prinsipiell simulatoralgoritme for modellen (men det er ikke forventet at du implementerer algoritmen i et program). Du trenger ikke gjøre antakelser om tallverdier.

### Oppgave 4 (5 %) Dynamikk

Gitt et system med forsterkning 2 og tidskonstant 20 sek og tidsforsinkelse 5 sek. Systemets utgangssignal er til å begynne med 50. Inngangssignalet endres som et sprang fra 30 til 35 ved et tidspunkt  $t_0$ . Skisser både inngangssignalet og utgangssignalet (prinsipielt, nøyaktig plott kreves ikke).

### Oppgave 5 (5%) PI-regulatorens sprangrespons

Skisser PI-regulatorens sprangrespons, dvs. sprangresponsen i pådraget ( $u$ ). Du kan da anta at reguleringsavviket ( $e$ ) er et sprang med amplitude  $E$ .

### Oppgave 6 (5%) PID-innstilling for midlende nivåregulering

Gitt et nivåreguleringssystem med PI-regulator for midlende nivåregulering (engelsk: averaging level control) for en vanntank med tverrsnittsareal  $A = 10 \text{ m}^2$ . Den største sprangvise endringen som innstrømmen til tanken kan ha, er 5 liter/s. Det er spesifisert at denne største endringen skal gi en nivåendring på maksimalt 50 cm. Still inn PI-regulatoren. (Vis mellomregning/utledning.)

### Oppgave 7 (10%) PID-innstilling med Skogestads metode

Gitt følgende prosessmodell:

$$T \cdot y'(t) = -y(t) + K u(t - \tau) + K_d \cdot d(t)$$



der  $y$  er prosessutgangen,  $u$  er pådraget,  $d$  er en forstyrrelse og  $T$ ,  $\tau$ ,  $K_u$  og  $K_d$  er parametre. Dette er en «tidskonstant med tidsforsinkelse»-prosess. Still inn en PI-regulator for prosessen med Skogestads metode. Tips: Det kan vises at prosessens sprangrespons rett etter at tidsforsinkelsen er løpt ut, er  $(K/T) \cdot U$  der  $U$  er høyden av spranget i pådraget  $u$ .

#### **Oppgave 8 (5%) Kaskaderegulering**

Beskriv kort med ord et konkret (praktisk) eksempel på et kaskadereguleringsystem. Hva er hensikten med kaskadereguleringen?

#### **Oppgave 9 (5%) Foroverkopling**

Gitt prosessmodellen som i oppgave 7. Neglisjer prosessens tidsforsinkelse, og utled en foroverkopler (feedforward controller) for prosessen. Referansen (settpunktet) for  $y$  er  $r$ . Hvilke størrelser må være kjente for at foroverkopleren skal kunne realiseres? Vil denne foroverkopleren kunne fungere «perfekt»?

#### **Oppgave 10 (10%) Transferfunksjon**

Gitt prosessmodellen som i oppgave 7. Finn transferfunksjonen fra  $u$  til  $y$ . (Vis mellomregning/utledning.)

#### **Oppgave 11 (5 %) Frekvensrespons**

Gitt følgende transferfunksjon for et dynamisk system:

$$H(s) = K/s$$

Hvilken dynamikk (dynamiske egenskaper) representerer systemet? Finn systemets amplitudeforsterkningsfunksjon og faseforskyvningsfunksjon. (Vis mellomregning/utledning.)

#### **Oppgave 12 (5 %) Stabilitetsanalyse**

Anta at en prosess reguleres med en PI-regulator med regulatorforsterkning  $K_p = 4,0$  og integraltid  $T_i = 10$  sek. Det viser seg at reguleringssløyfen svinger med stående svingninger med periode  $P_u = 20$  sek dersom  $K_p$  økes til 12,0. Finn reguleringssløyfens forsterkningsmargin, GM. (Vis mellomregning/utledning.) Har GM akseptabel verdi?

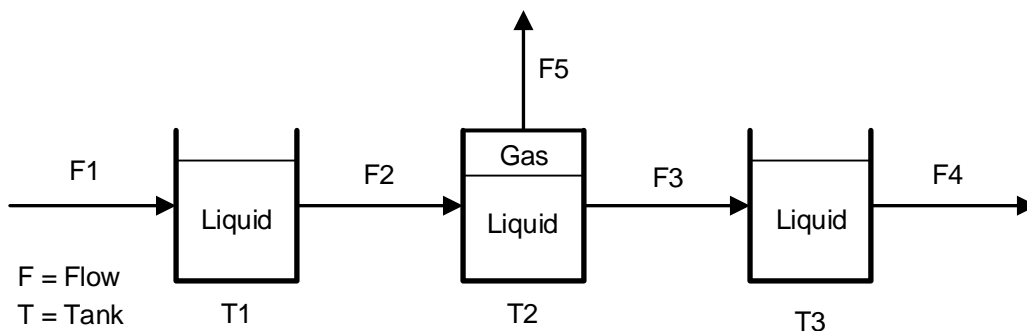
#### **Oppgave 13 (5 %) Tilstandsestimator**

Forklar (tegning kreves ikke) prinsippet for en tilstandsestimator (Kalman-filter). Hva kan en tilstandsestimator brukes til?

#### **Oppgave 14 (10 %) Reguleringsstruktur for prosessanlegg**

Figur 1 viser en uregulert prosesslinje bestående av seriekoblede tanker. Tegn et teknisk flytskjema som viser reguleringsstrukturen for prosesslinjen basert på følgende spesifikasjoner:  $F_4$  bestemmer produksjonsraten (-flow). Nivået i hver tank skal følge sine respektive settpunkter med

pumper som pådragsorganer (aktuatorer). Gasstrykket reguleres til settpunkt med en reguleringsventil som pådragsorgan.



Figur 1

### Oppgave 15 (10 %) PI-innstilling med Relaxed Ziegler-Nichols' metode

Følgende Python-program simulerer og analyserer et PI-reguleringssystem for flistanken, som er et eksempel som er studert i ulike sammenhenger i dette emnet:

[http://techteach.no/courses/tel240/2022/eksamen/level\\_control\\_wood\\_chips\\_tank.py](http://techteach.no/courses/tel240/2022/eksamen/level_control_wood_chips_tank.py)

Last ned programmet, og åpne det i et programmeringsmiljø, f.eks. Spyder. Still inn PI-regulatoren med Relaxed Ziegler-Nichols' metode. Hva blir forsterkningsmarginen GM og fasemarginen PM? Har de tilfredsstillende verdier? Lim inn de aktuelle plottene (generert av programmet) i din besvarelse.