General Information (IN3140)

Eksamen i IN3140 - Introduksjon til Robotikk (Vår 2024)

Eksamensdato: 31. Mai, 2024
Eksamenstid: 15:00 - 19:00 (4 timer)
Ressurser: Relevante formler og kalkulatorer (se nederst på skjermen)
Lovlige hjelpemidler:

- Spong, Hutchinson & Vidyasagar, *Robot Modelling and Control* (kapittel 11, som mangler i siste utgivelse, er også tilgjengelig i Inspera nederst på siden)
- Karl Rottman, *Matematisk formelsamling* (også tilgjengelig i Inspera nederst på siden)
- godkjent kalkulator

En enkel og en avansert kalkulator er tilgjengelig i Inspera.

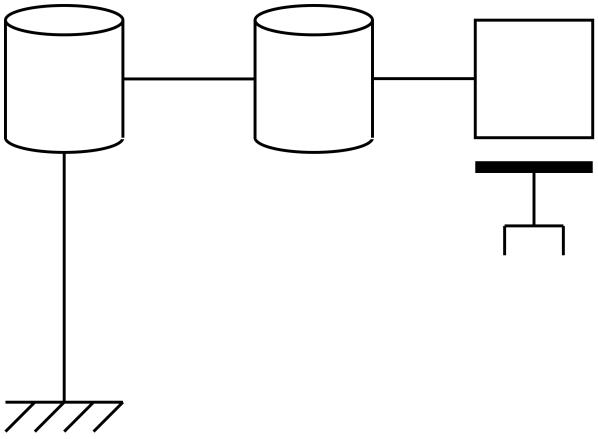
Denne eksamen består av tretten oppgaver som kan løses i vilkårlig rekkefølge:

Oppgave 1-9 og 11 er enten "multiple choice"-oppgaver eller oppgaver med kort skriftlig besvarelse - **disse oppgavene må besvares på datamaskinen.** Det er ikke minuspoeng hvis du gjetter/velger feil svar ved "multiple choice".

Oppgave 10, 12 og 13 er vanlige oppgaver som skal teste ut din kunnskap i kinematikk, dynamikk og kontrollteori - **disse oppgavene skal besvares med digital håndtegning.** Du bruker skisseark du får utdelt. Det er anledning til å bruke flere ark per oppgave. Se instruksjon for utfylling av skisseark i lenken under oppgavelinjen. Det er IKKE meningen at du skal bruke håndtegning på andre oppgaver enn **oppgave 10, 12 og 13**. Det blir IKKE gitt ekstratid for å fylle ut informasjonsboksene på skisseark (oppgavekoder, kand.nr. o.l.).

1 Manipulator 1

Hva kalles en manipulator av typen som er vist på bildet under?



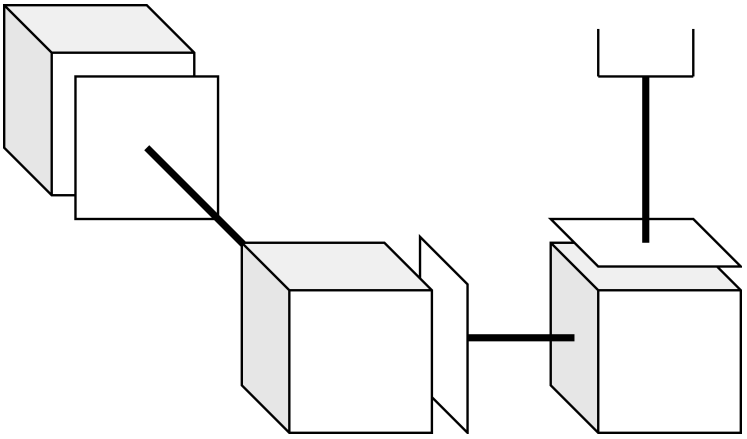
Velg ett alternativ:

- PPP manipulator
- Elbow manipulator
- SCARA manipulator
- Kartesisk manipulator

Maks poeng: 1

2 Manipulator 2

Hva kalles en manipulator av typen som er vist på bildet under?



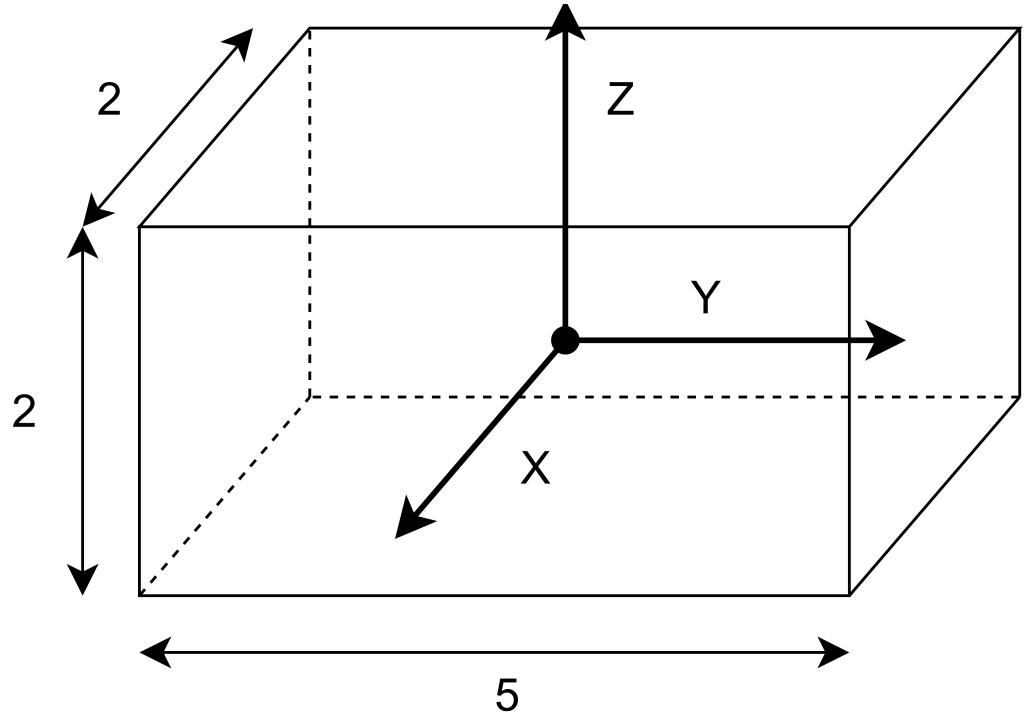
Velg ett alternativ:

- Sylindrisk manipulator
- Kartesisk manipulator
- Sfærisk manipulator
- PPR manipulator

Maks poeng: 1

3 Inertia calculation

I Dynamikk kan tregheten/inertia (I) til et objekt representeres på en matriseform. Gitt boksen og koordinatsystemet i tegningen under:



Hva er formelen for å regne ut I_{xy}?

Velg ett alternativ:

- $I_{xy} = -\int_{-1}^{1}\int_{-2.5}^{2.5}\int_{-1}^{1} x^2 + y^2 \quad p(x,y,z)dxdydz$
- $I_{xy} = -\int_{-1}^{1}\int_{-2.5}^{2.5}\int_{-1}^{1} xy \quad p(x,y,z)dxdydz$
- $I_{xy} = -\int_{-1}^{1}\int_{-2.5}^{2.5}\int_{-1}^{1} (z^2(x+y)) \quad p(x,y,z)dxdydz$
- $I_{xy} = -\int_{-1}^{1}\int_{-2.5}^{2.5}\int_{-1}^{1} xz + yz \quad p(x,y,z)dxdydz$

Maks poeng: 1.5

4 Dynamics Coriolis

Den generelle dynamiske ligningen til et system kan bli formulert slik:

$\tau = D(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q)$

Gitt følgende Dynamikk:

$$\tau = \begin{bmatrix} m_1 L_1^2 \ddot{q}_2 - m_2 L_2^2 s_2 \ddot{q}_1 - m_2 L_1 c_1 s_2 \dot{q}_1 + \frac{1}{2} m_1 g L_1 s_2 \\ m_2 L_1 c_2 \ddot{q}_2 + m_2 L_1^2 L_2^2 c_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

Hvilke(t) uttrykk vil beskrive **Coriolis og Sentrifugal kreftene** som virker på systemet?

Velg ett alternativ:

- $\begin{bmatrix} 0 & -m_2 L_1 s_2 c_1 \\ 0 & m_2 L_1^2 L_2^2 c_2 \dot{q}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$
- $\begin{bmatrix} m_2 L_2^2 s_2 & -m_1 L_1^2 \\ 0 & m_2 c_2 L_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix}$
- $\begin{bmatrix} m_2 L_2^2 s_2 & 0 \\ -m_1 L_1^2 & m_2 L_1 c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix}$
- $\begin{bmatrix} -m_2 L_1 c_1 s_2 & 0 \\ m_2 L_1^2 L_2^2 c_2 \dot{q}_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$

Maks poeng: 1.5

5 Dynamics Inertial

Den generelle dynamiske ligningen til et system kan bli formulert slik:

$\tau = D(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q)$

Gitt følgende Dynamikk:

$$\tau = \begin{bmatrix} m_1 L_1^2 \ddot{q}_2 - m_2 L_2^2 s_2 \ddot{q}_1 - m_2 L_1 c_1 s_2 \dot{q}_1 + \frac{1}{2} m_1 g L_1 s_2 \\ m_2 L_1 c_2 \ddot{q}_2 + m_2 L_1^2 L_2^2 c_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

Hvilke(t) uttrykk vil beskrive **Treghetskreftene** som virker på systemet?

Velg ett alternativ:

- $\begin{bmatrix} 0 & -m_2 L_1 s_2 c_1 \\ 0 & m_2 L_1^2 L_2^2 c_2 \dot{q}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$
- $\begin{bmatrix} -m_2 L_2^2 s_2 & m_1 L_1^2 \\ 0 & m_2 c_2 L_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix}$
- $\begin{bmatrix} -m_2 L_1 c_1 s_2 & 0 \\ m_2 L_1^2 L_2^2 c_2 \dot{q}_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$
- $\begin{bmatrix} m_2 L_2^2 s_2 & 0 \\ -m_1 L_1^2 & m_2 L_1 c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \end{bmatrix}$

Maks poeng: 1.5

6 Control theory 1

Gitt en PI-kontroller med følgende parametere: $K_p = 200$, $K_i = 20.$
Etter en tid på t sekunder er summen i integralet 30.
Neste kall på kontrolleren skjer 0.25 sekunder senere. Her er følgende data sendt til kontrolleren: $q_{desired} = 2$, $q_{current} = 1.25$, $\Delta t = 0.25$, $\dot{q} = 0.05$

Hva vil output fra kontrolleren bli nå? u(t+0.25): [ ] .

Maks poeng: 1

7 Reality Gap

a) Hvorfor er "reality gap" et problem?
b) Hvorfor bruker vi simuleringer av roboter

Skriv ditt svar her...

Format | B I U x_2 x^2 I_x | Ω | Σ

Words: 0

Maks poeng: 3

8 ROS 1

Hva er en ROS node?

Skriv ditt svar her

Maks poeng: 3

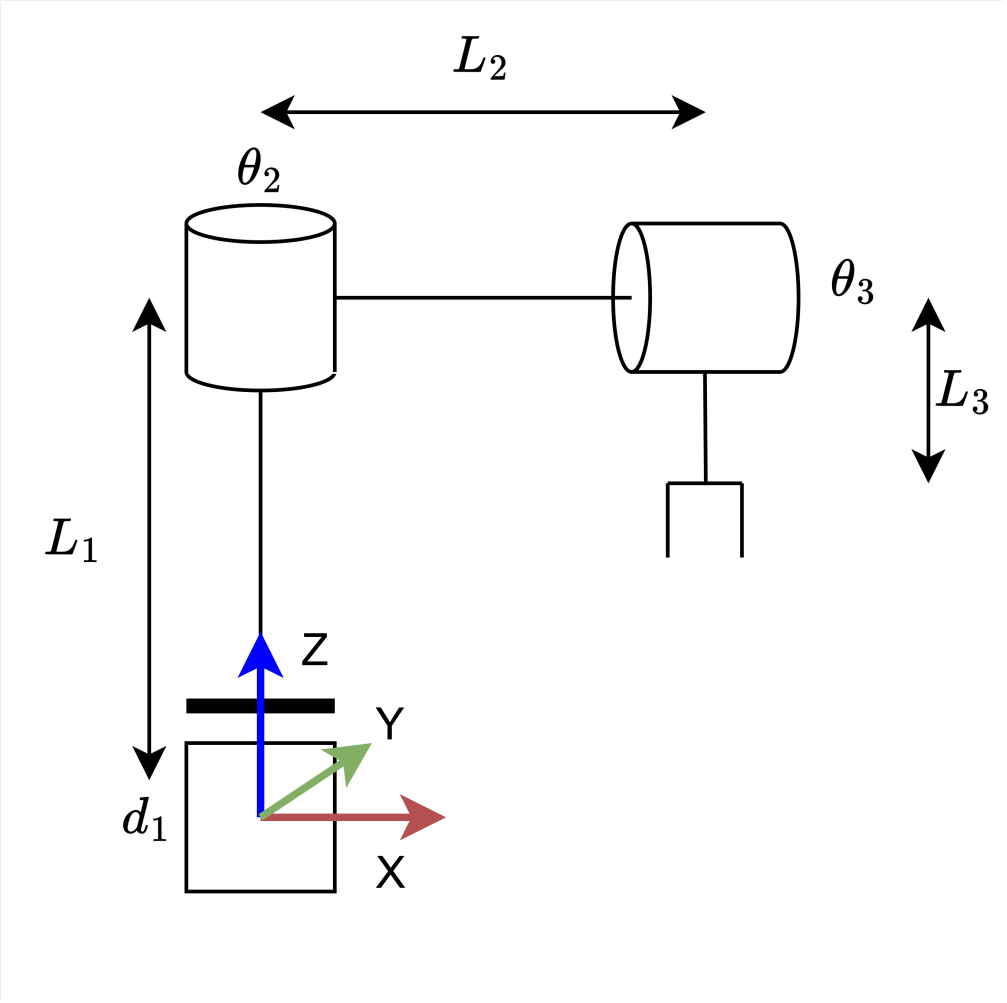
9 ROS 2

Hvorfor har vi forskjellige ROS-topics og ROS-messages?

Skriv ditt svar her

Maks poeng: 10

10 Kinematics



I denne oppgaven kan du svare med digital håndtegning. Bruk utdelte skisseark. Se instruksjon for utfylling av skisseark i lenken under oppgavelinjen.

Figuren over viser manipulatoren som skal benyttes i denne oppgaven. Det første prismatiske leddet i basen til manipulatoren beveger seg langs **Z0** - aksen. Den totale lengden mellom basen og første rotasjonsledd er gitt som L_1+d_1 (L_1*). $\boldsymbol{\theta_2}$ og $\boldsymbol{\theta_3}$ er leddvinklene til manipulatorens andre og tredje ledd. Nullposisjonen er som vist i figuren. L_2 er lengden mellom første og andre rotasjonsledd, mens L_3 er lengden fra andre rotasjonsledd til robotens endestykke (tool tip). Basekoordinatsystemet som skal benyttes er gitt i figuren over.

a) 2% Tegn opp manipulatorens arbeidsområde (inkluder både indre og ytre begrensninger).

b) 7% Angi koordinatsystemene i overenstemmelse med Denavit-Hartenberg konvensjonen til manipulatoren i figuren på en egen tegning. Finn Denavit-Hartenberg parameterene og sett dem inn i en DH-tabell.

c) 7% Utled foroverkinematikken til manipulatoren fra base koordinatsystem til endestykket til roboten.

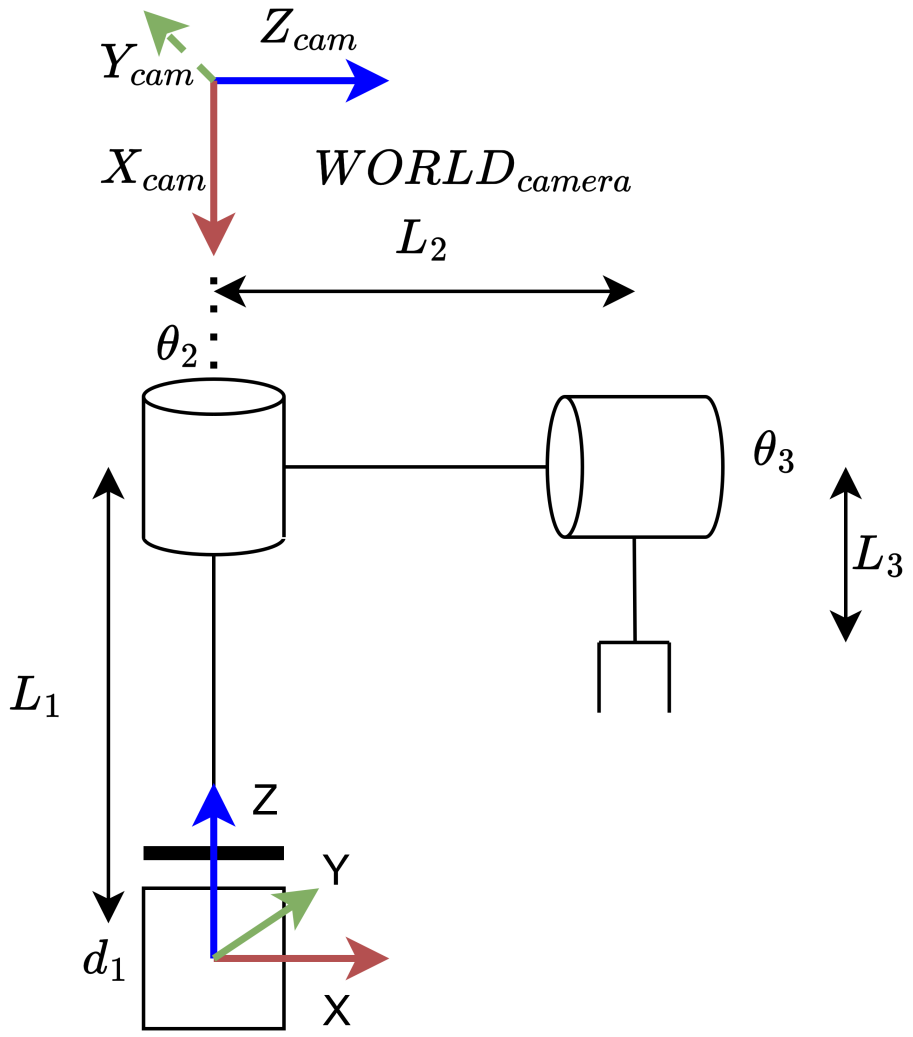
d) 10% Utled inverskinematikken til manipulatoren.

e) 10% Utled Jacobian- matrisen til manipulatoren.

Maks poeng: 36

11 Position World frame

Manipulatoren er lik som i de tidligere oppgavene. Et world koordinatsystem har blitt etablert vertikalt under Base koordinatsystemet. Avstanden mellom Base_Frame og WORLD_Frame er L0.



Gitt parameterene:
$L0 = 2.0m,$
$L_1^* = (L_1 + d_1) = 0.7m,$
$L_2 = 0.3m,$
$L_3 = 0.4m,$
$\theta_2 = 45°,$
$\theta_3 = 30°$

a) 2% Hva er posisjonen (numerisk verdi) til tool-tip (enden av manipulatoren) i WORLD-Frame?

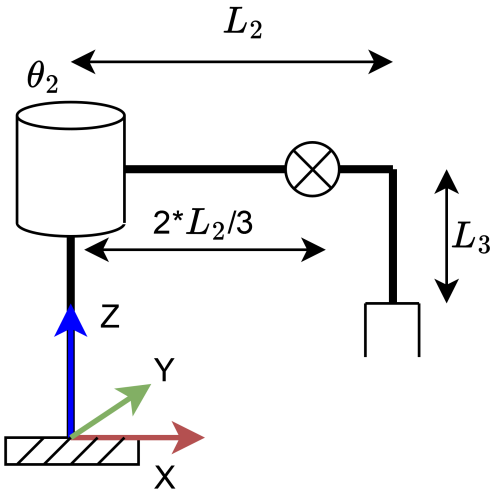
Skriv ditt svar her

b) 2% Manipulatoren over skal jobbe i en monteringscelle. Delene som skal monteres kommer på et transportbånd under roboten. Delene vil komme med en **tilfeldig orientering**, og oppgaven er å montere delene i en gitt **posisjon** og **orientering**. Hvilke utfordringer ville roboten møte, and hvilke modifiseringer ville det vært nødvendig for at roboten skulle kunne fullføre oppgaven?

Skriv ditt svar her

Maks poeng: 4

12 Dynamics



I denne oppgaven kan du svare med digital håndtegning. Bruk utdelte skisseark. Se instruksjon for utfylling av skisseark i lenken under oppgavelinjen.

Figuren over viser en forenklet utgave av manipulatoren i den forrige oppgaven hvor det prismatiske leddet (ledd 1) er låst til L_1*=L_1 (d_1=0) og det siste rotasjonsleddet (ledd 3) er låst til $\boldsymbol{\theta_3 = 0°}$. Denne manipulatoren har da bare en frihetsgrad. Tenk deg at systemets masse **m** - er en jevnt fordelt masse med et massesenter som ligger på armlenke 2 i en avstand $2L_2/3$ fra rotasjonsaksen (L_2 er totallengden til armlenke 2) og har treghetsmoment i armlenkens koordinatsystem

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix}$$

a) 4.5 % Sett opp det **symbolske** uttrykket for systemets kinetiske og potensielle energi.

b) 7% Sett opp Lagrangian $\mathcal{L}$ til systemet. Utled videre dynamikken til manipulatoren ved å bruke Euler-Lagrange formelen. Sett opp bevegelseslikningene på følgende form:

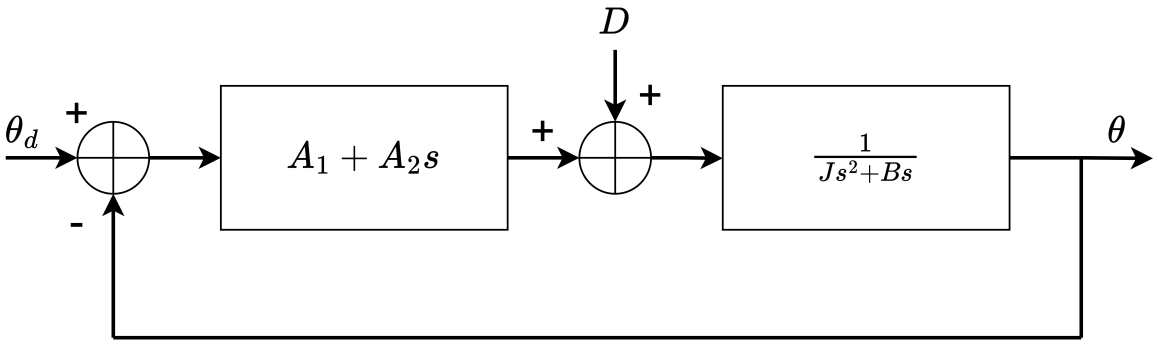
$$D(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau$$

Tenk deg nå at det prismatiske ledd 1 fra manipulatoren i oppgave 11 føres tilbake, men fortsatt beholder ledd 3 som stivt (fjernet ledd 3 som i figuren over). Systemets totale massesenter **m** - er en jevnt fordelt masse og ligger fortsatt på armlenke 2 i en avstand $2L_2/3$ fra rotasjonsaksen.

c) 7% Vis hvordan du kan finne systemets totale Kinetiske og Potensielle energi. Sett opp Lagrangian $\mathcal{L}$ og forklar hvordan du finner bevegelseslikningene til systemet. (Her er det **fremgangsmåte og ligningsoppsettet** mer enn hele utregningen som etterspørres)

Maks poeng: 18.5

13 Control theory 2



I denne oppgaven kan du svare med digital håndtegning. Bruk utdelte skisseark. Se instruksjon for utfylling av skisseark i lenken under oppgavelinjen.

Formelen for et system i tidsdomenet følger ligningen:
$\tau = J\ddot{\theta}(t) + B\dot{\theta} + D$

Bildet ovenfor viser et kompakt block diagram av et dynamisk system med en kontroller i Laplacedomenet.

a) 4% Tegn opp et fullstendig blokkdiagram basert på de enkelte grunnelementene

b) 3% Hvilken type regulator er benyttet i systemet?

c) 5% Finn Transfer funksjonen H(s) mellom ønsket vinkel (θ_d) og faktisk vinkel (θ) til systemet.

d) 6% Anta at systemet mottar en step referanseinput $\theta_d(s) = \frac{\psi}{s}$ og en konstant forstyrrelse $D = \frac{d}{s}$. Bruk sluttverditeoremet under til å finne steady-state error:
$\lim_{t\to\infty} x(t) = \lim_{s\to 0} sX(s)$

Maks poeng: 18