

## i Informasjon om eksamen



## EKSAMEN

**Emnekode og -navn:**

ITD37018 Anvendt Robotteknikk

**Dato og tid:**

10.12.18, 3 timer

**Faglærer:**

Haris Jasarevic

**Hjelpemidler:**

Ingen hjelpemidler tillatt

**Om oppgaven:**

Alle oppgavene skal besvares og teller som angitt ved sensrurering.

**Sensurfrist: 2.1.19**

Karakterene blir publisert i Studentweb.

# 1 Oppgave 1

Hva er «Configuration-Space» til en robot, og hva består det av?

**Skriv ditt svar her...**

Format | **B** | *I* | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $I_x$  | | | | | | |  $\Omega$  | | |  $\Sigma$  | |

Words: 0

Maks poeng: 5

**Knytte håndtegninger til denne oppgaven?**

Bruk følgende kode:











**XXXXXXXX**

## 2 Oppgave 2

Enklere roboter med enkel styring faller innenfor kategorien «non-servo», eller «Open-Loop» roboter som ikke har noen tilbakekobling på posisjon.

Roboter med avansert styring faller innenfor «Servo» kategorien, og er klassifisert ytterligere med 2 type «Servo» styringer. Moderne industrielle roboter inneholder begge disse 2. Hva kalles de og hvordan fungerer de?

**Skriv ditt svar her...**

Format | **B** | *I* | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $I_x$  |  |  |  |  |  |  |  $\Omega$  |  |  |  $\Sigma$  |  | 

Words: 0

Maks poeng: 8

**Knytte håndtegninger til denne oppgaven?**

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

### 3 Oppgave 3

Hva er nøyaktigheten og repeterbarheten til en robot, og hva er forskjellen mellom de? Beskriv ved hjelp av en figur.

Skriv ditt svar her...

Format | **B** | *I* | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $I_x$  | | | | | | |  $\Omega$  | | |  $\Sigma$  | ABC |

Words: 0

Maks poeng: 8

Knytte håndtegninger til denne oppgaven?

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

## 4 Oppgave 4

Du har følgende sekvens av rotasjoner:

1. Rotasjon av  $\alpha$  rundt  $y$ -aksen til gjeldende-plan.
2. Rotasjon av  $\theta$  rundt  $z$ -aksen til base-planet.
3. Rotasjon av  $\psi$  rundt  $x$ -aksen til gjeldende-plan.
4. Rotasjon av  $\phi$  rundt  $x$ -aksen til base-planet.

Velg alternativet med matriseproduktet i riktig rekkefølge:

**Velg ett alternativ**

$R_{z,\theta}R_{x,\phi}R_{y,\alpha}R_{x,\psi}$

$R_{y,\alpha}R_{z,\theta}R_{x,\psi}R_{x,\phi}$

$R_{y,\alpha}R_{x,\psi}R_{x,\phi}R_{z,\theta}$

$R_{x,\phi}R_{z,\theta}R_{y,\alpha}R_{x,\psi}$

---

Maks poeng: 3

**Knytte håndtegninger til denne oppgaven?**













Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

## 5 Oppgave 5

Beskriv kort med ord forskjellen mellom Euler-konvensjonen og Axis-Angle konvensjonen. Lister begge konvensjonene av singulariteter?

Skriv ditt svar her...

Format | **B** | *I* | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $I_x$  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 

Words: 0

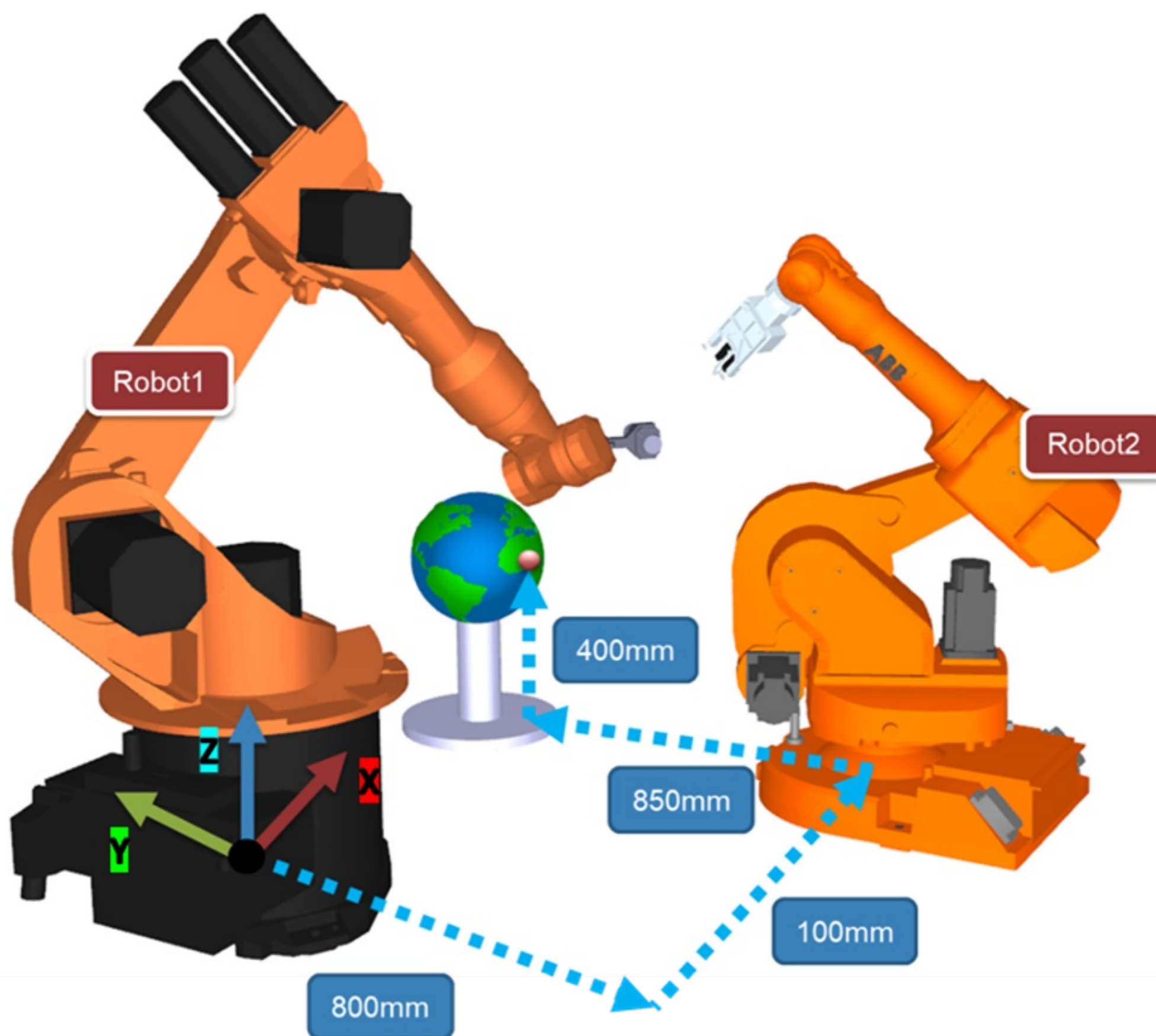
Maks poeng: 8

Knytte håndtegninger til denne oppgaven?

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

## 6 Oppgave 6



Fra figuren over kan du se et enkelt system med 2 roboter og en jordklodeobjekt. Avstandene mellom Robot 1 og Robot 2, og mellom Robot2 og det røde punktet på Jordklode-Objektet er oppgitt. Avstandene fra robotene går ut ifra origo fra hvert deres eget base-plan, lokalisert i midten helt nederst i robotene.

**Base-Planet til Robot1 er tegnet inn med aksene navngitt med riktig notasjon X,Y og Z. Bruk den som primær base-plan for hele oppsettet for å løse oppgaven.**

**Bruk høyre-hånds regelen, se hjelpebilde under ruten hvor du taster inn svaret. Du bestemmer selv om du vil tegne i Inspira eller tegne på papir og skanne inn.**

Anta følgende:

- Robot2 base-planet er snudd 90 grader rundt gjeldende z-akse til Robot1 base-planet.
- Base-planet til det røde punktet er snudd -90 grader rundt z-aksen, deretter -90 grader rundt y-aksen til Robot2 base-planet. Alle rotasjoner er snudd rundt det faste base-planet til Robot2
- Robot1 base-plan er kalt plan-0, Robot2 base-plan er kalt plan-1, rødt punkt base-plan er kalt plan-2.

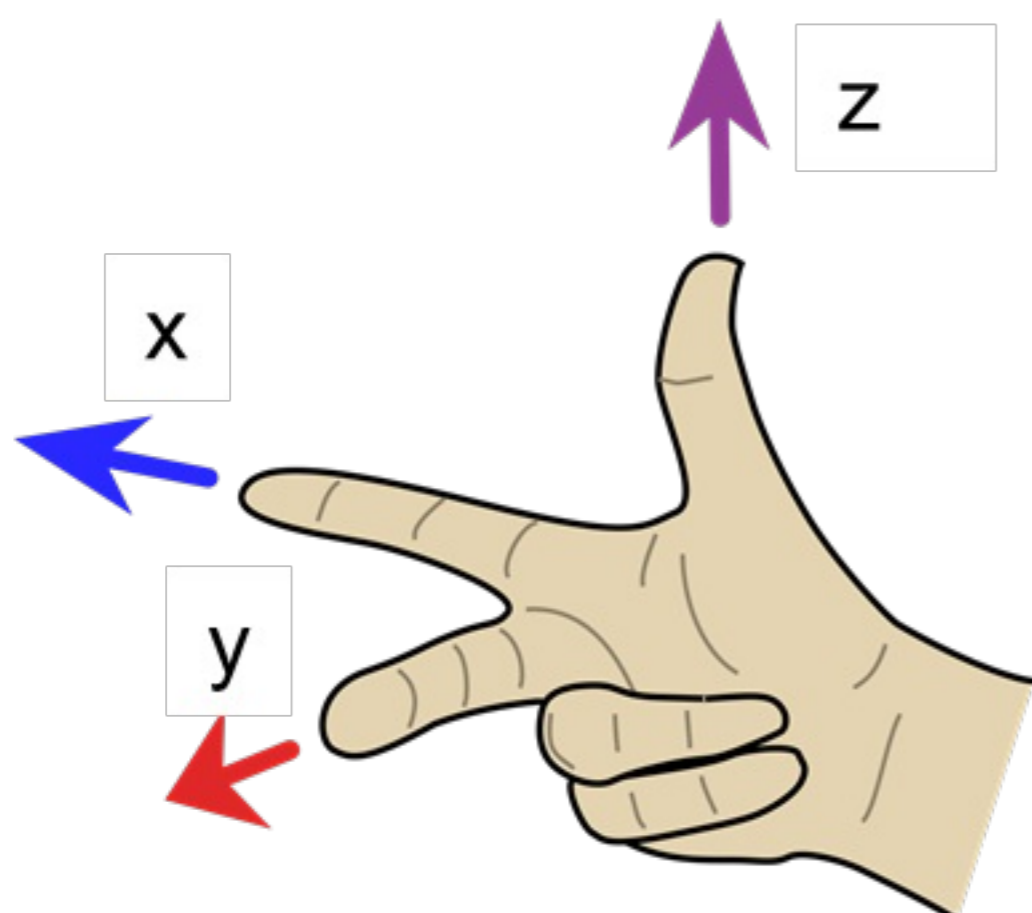
Utfør dette:

1. Fra figur 1, tegn opp alle planene med deres x, y og z akser. Merk aksene med riktig notasjon, eksempel x, y eller z. Ikke tegn objektene, kun aksene. Avstandene må ikke være nøyaktige, det er rotasjonen som er viktigst. Tegn isometrisk, rett ovenfra, eller hvordan du tror er best. **Tegn inn tegning, eller tegn på papir og skann inn.**
2. Skriv opp de homogene posisjons-matrisene  $H_1^0$ ,  $H_2^1$ ,  $H_2^0$ . Gjør dette uten matrisemultiplikasjon. **Skriv her eller skriv på papir og skann inn.**
3. Vis med utregning hvordan du kan finne  $H_2^1$  ved kun å bruke  $H_1^0$  og  $H_2^0$ . Ikke gjør matrisemultiplikasjon, kun vis ligningen. **Skriv her eller skriv på papir og skann inn.**

Skriv ditt svar her...

Format - | **B** *I* U  $x_2$   $x^2$   $I_x$  |

Words: 0



Maks poeng: 12

Knytte håndtegninger til denne oppgaven?

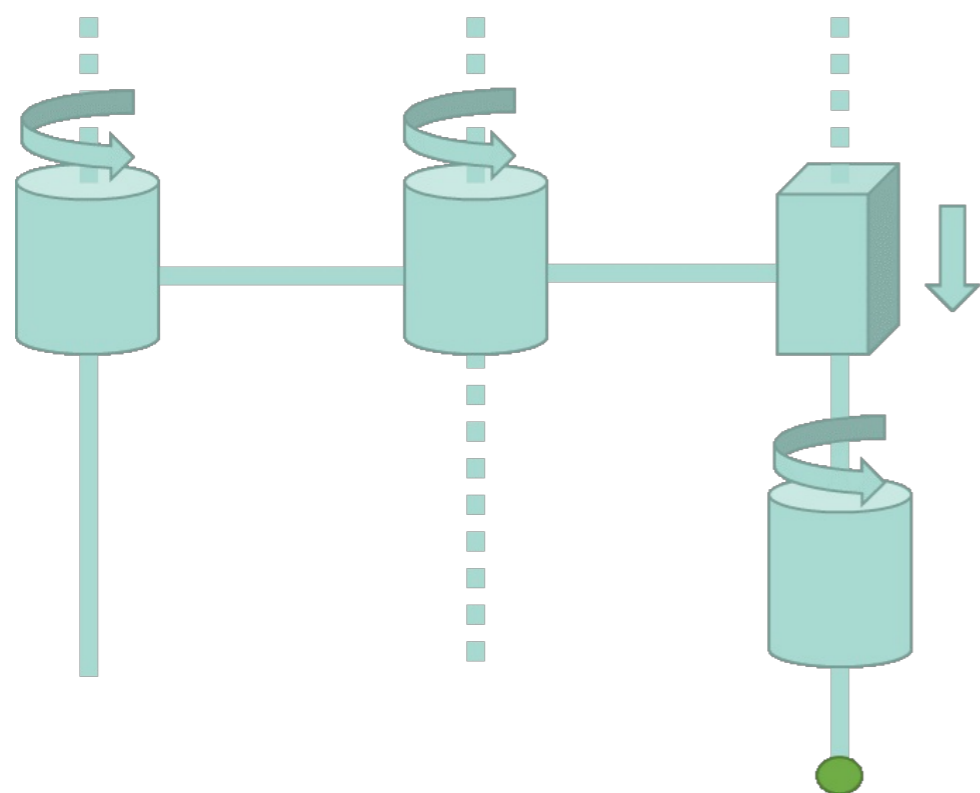
Bruk følgende kode:

**XXXXXXXXXX**



## 7 Oppgave 7

Se figur under:



Hvor mange frihetsgrader (DOF) har roboten over? Hva kalles en slik robot, og hva slags type ledd består den av?

Skriv ditt svar her...

Format | **B** | *I* | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $I_x$  | | | | | | |  $\Omega$  | | |  $\Sigma$  | ABC |

Words: 0

Maks poeng: 8

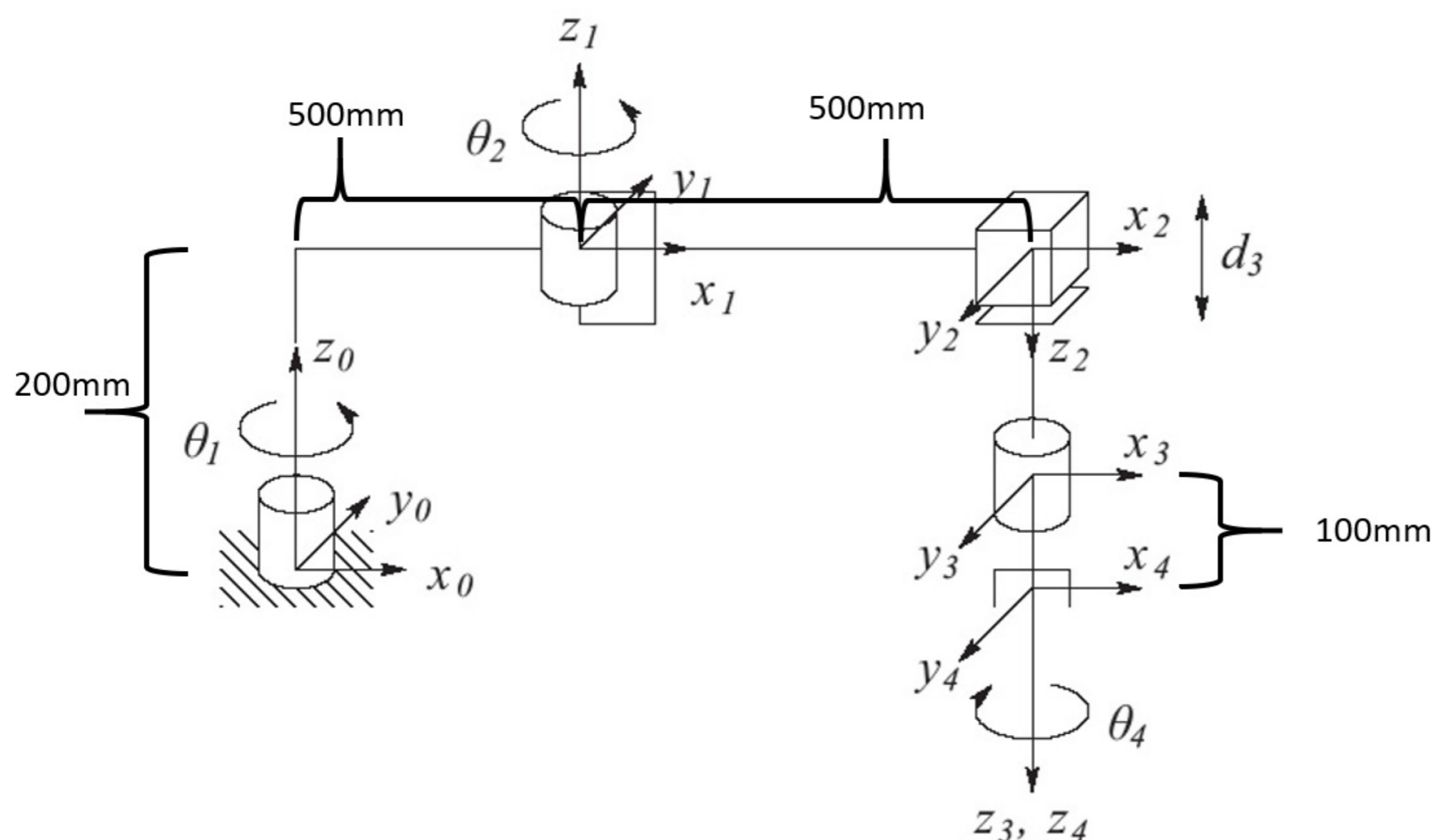
Knytte håndtegninger til denne oppgaven?

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

## 8 Oppgave 8

Roboten fra forrige oppgave er tegnet inn på nytt på figur under:



Koordinatplanene for hvert ledd er tegnet inn. Skriv opp DH-Tabellen. Bruk klassisk DH-Notasjon og høyre-hånds regelen. **Se hjelp under svarruten helt nederst.**

Der hvor lengde eller rotasjon varier, skal kun symbolet skrives i tabellen. **Skriv her eller skriv på papir og skann inn.**

Skriv ditt svar her...

Format | **B** | *I* | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $\int_x$  | | | | | | |  $\Omega$  | | |  $\Sigma$  | ABC |

Words: 0

Regler for klassisk DH-Konvensjon:

- $a_i$ , **Koblings-Lengden (Link-Lenght)** for kobling  $i$ . Avstanden fra  $z_{i-1}$  til  $z_i$  målt langs  $x_i$
- $\alpha_i$  er **Koblings-Vridningen (Link-Twist)** for kobling  $i$ . Vinkelen mellom  $z_{i-1}$  til  $z_i$ , målt rundt  $x_i$ .
- $d_i$  er **Koblings-Forskyvningen (Link-Offset)** for kobling  $i$ , og er variabel for prismatiske ledd. Avstanden mellom  $o_{i-1}$  til punktet der  $x_i$  aksen krysser  $z_{i-1}$ , målt langs  $z_{i-1}$ .
- $\theta_i$  er **Ledd-Vinkel (Joint-Angle)** for kobling  $i$ . Er variabel for roterende ledd. Korteste vinkelen mellom  $x_{i-1}$  til  $x_i$  målt rundt  $z_{i-1}$ .

Tilfelle1:

$z_i$  og  $z_{i-1}$  danner ikke samme plan. Det finnes bare en  $x_i$ , og det er den korteste veien mellom  $z_i$  og  $z_{i-1}$ .

Tilfelle2:

$z_i$  og  $z_{i-1}$  er paralelle med hverandre.  $x_i$  og  $o_i$  kan bli dannet hvor som helst mellom  $z_i$  og  $z_{i-1}$

Tilfelle3:

$z_i$  og  $z_{i-1}$  krysser hverandre.  $x_i$  kan bli dannet hvor som helst langs  $z_i$  med  $o_i$  som krysspunkt

Maks poeng: 10

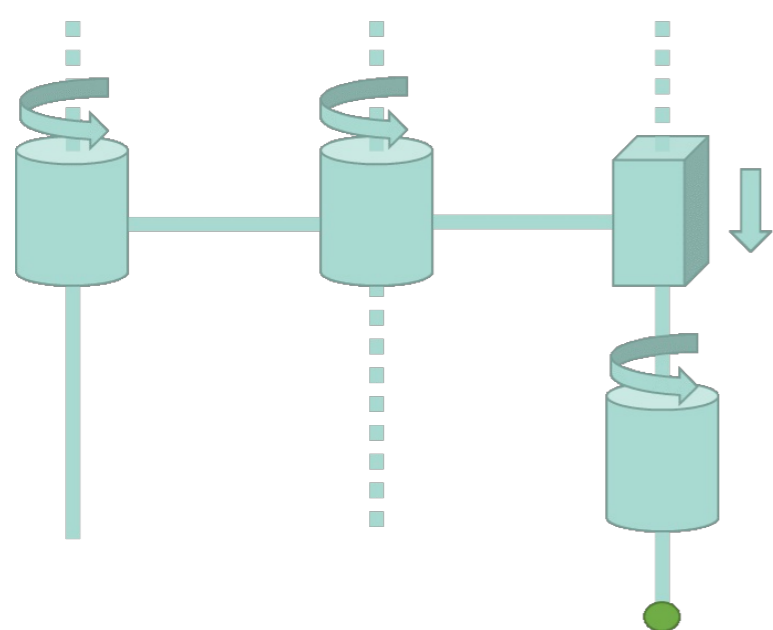
**Knytte håndtegninger til denne oppgaven?**

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

## 9 Oppgave 9

Roboten fra tidligere oppgave er tegnet inn på nytt under:














1. Ledd 1 går fra -180 til 180 grader.
2. Ledd 2 går fra -160 til 160 grader
3. Ledd 3 går fra 0 til 200mm
4. Ledd 4 går fra -180 til 180 grader.
5. Avstanden mellom ledd1 og ledd2 i  $x_0$  retning er 0,5m
6. Avstanden mellom ledd2 og ledd3 i  $x_1$  retning er 0,5m

**Besvar oppgave c) enten ved å tegne inn her, eller tegne på papir og skanne inn.**

Svar på følgende spørsmål:

- a. Hvor mange høyst mulige konfigurasjoner kan roboten innta fra Invers-Kinematikk?
- b. Hvilke ledd er årsaken til at det blir flere konfigurasjoner?
- c. Hvordan ser arbeidsområdet til roboten ut? Sketch opp området. Sketch opp enten isometrisk, eller fra siden og toppen.
- d. Hvor mange høyst konfigurasjoner fra IK kan du få hvis ledd4 går fra -360 til 360 grader?

**Skriv ditt svar her...**

Format - | **B** *I* U  $x_2$   $x^2$  |  $I_x$  |   |    |   |  $\Omega$   |  |  $\Sigma$  | ABC  | 

Words: 0

Maks poeng: 12












**Knytte håndtegninger til denne oppgaven?**

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX****10 Oppgave 10**

Visse 6-akset industrielle roboter med kun roterende ledd har enklere beregning av geometrisk invers-kinematikk ved hjelp av «Decoupling» teknikken. Beskriv med ord hvordan dette gjøres.

**Skriv ditt svar her...**

Format - | **B** *I* U  $x_2$   $x^2$  |  $I_x$  |   |    |   |  $\Omega$   |  |  $\Sigma$  | ABC  | 

Words: 0

Maks poeng: 8

**Knytte håndtegninger til denne oppgaven?**

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

## 11 Oppgave 11

Jacobian-matrisen til en robot kan anvendes til å beregne farten til robotens TCP i kartesisk plan. Allikevel kan beregningene introdusere feil under lengre bevegelser uten riktig regulering. Hvorfor?

Skriv ditt svar her...

Format | B | I | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $I_x$  | | | | | | | | | | | ABC |

Words: 0

Maks poeng: 8

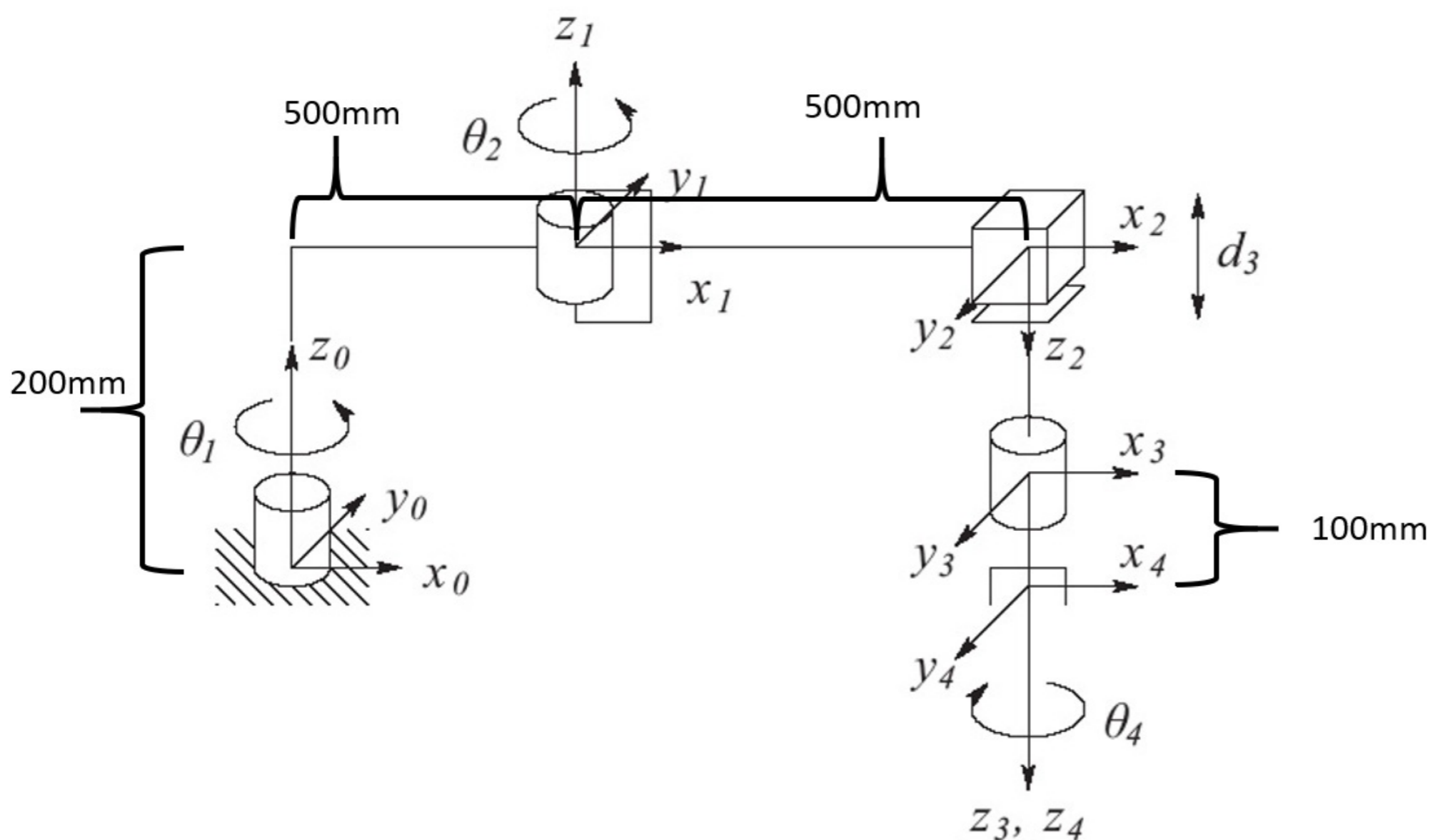
Knytte håndtegninger til denne oppgaven?

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXX**

## 12 Oppgave 12

Roboten fra oppgave 7, 8 og 9 er tegnet på nytt under:



Du skal sette opp manipulatorens jacobian matrise.

3 av 4 origoer for roboten er gitt ved:

$$o_1 = \begin{bmatrix} a_1 c_1 \\ a_1 s_1 \\ 0 \end{bmatrix}, o_2 = \begin{bmatrix} a_1 c_1 + a_2 c_{12} \\ a_1 s_1 + a_2 s_{12} \\ 0 \end{bmatrix}, o_4 = \begin{bmatrix} a_1 c_1 + a_2 c_{12} \\ a_1 s_1 + a_2 s_{12} \\ -d_3 - d_4 \end{bmatrix}$$

Positiv retning til z-aksene er retningen som z-aksen peker mot i figuren over.

**Bruk hjelpeformelene vist under svarruta.**

**Skriv oppgaven på papir for kortest mulig tidsforbruk, eller velg selv. Fremgangsmåte bør også være med, ikke bare svaret.**

Skriv ditt svar her...

Format | **B** | *I* | U |  $x_2$  |  $x^2$  |  $\int_x$  | | | | | | |  $\Omega$  | | |  $\Sigma$  | ABC |

Words: 0

Jacobian matrisen er definert som:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

### **Regler for Jacobian matrise for roboter i 3 dimensjoner**

Forholdet mellom en robots kartesiske fart med ledd-hastighet er:

$$\xi = J_n \dot{q}_n \leftrightarrow \begin{bmatrix} v_n^0 \\ \omega_n^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{v_1} & \dots & J_{v_n} \\ J_{\omega_1} & \dots & J_{\omega_n} \end{bmatrix} \dot{q}_n$$

Den lineære hastigheten for hver kolonne av  $J_v = [J_{v_1} \dots J_{v_n}]$  er definert som:

$$J_{v_i} = \begin{cases} z_{i-1} \times (o_n - o_{i-1}), & \text{for roterende} \\ z_{i-1}, & \text{for prismatiske} \end{cases}$$

Den roterende hastigheten for hver kolonne av  $J_\omega = [J_{\omega_1} \dots J_{\omega_n}]$  er definert som:

$$J_{\omega_i} = \begin{cases} z_{i-1} & \text{for roterende ledd} \\ 0 & \text{for prismatiske ledd} \end{cases}$$

**Kryss produktet mellom 2 vektorer er definert som:**

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{bmatrix} a_y b_z - a_z b_y \\ a_z b_x - a_x b_z \\ a_x b_y - a_y b_x \end{bmatrix}$$

**Derivering av none trigonometriske uttrykk:**

$$\sin(x)' = \cos(x)$$

$$\cos(x)' = -\sin(x)$$

---

Maks poeng: 10

**Knytte håndtegninger til denne oppgaven?**

Bruk følgende kode:

**XXXXXXXXXX**