

Systemkonstruktion Z3

(Kurs nr: SSY 046)

Tentamen 22 oktober 2010

Lösningsförslag

1

Skriv en kravspecifikation för konstruktionen! Kravspecifikationen ska innehålla information kring fordonets prestanda [accelerationsprestanda], drifttid [h], maxlast etc. (Det kan vara nödvändigt att göra överslagsräkningar för att komma fram till vissa krav.)

(4p)

Lösning: Kravspecen skall innehålla krav och önskemål på maxlast, drifttid och accelerationsprestanda. Alla krav skall vara numrerade för att få full poäng.

1 Kravspecifikation systemet

- 1.1 Fordonet skall klara av en maximal last på 100 kg.
- 1.2 Fordonet skall väga maximalt 50 kg.
- 1.3 Fordonet skall klara av en hastighet på minst 20 km/h (5.5 m/s).
- 1.4 Fordonet skall accelerera 0-5.5 m/s på 11 s.
- 1.5 Fordonet skall ha en drifttid på minst 1 h.

2 Kravspecifikation energiförsörjning

- 2.1 Fordonet skall energiförsörjas med 2 st 12 V batterier.

3 Kravspecifikation fordon

- 3.1 Fordonet skall konstrueras i aluminium.

4 Kravspecifikation styrning

- 4.1 Fordonet skall kunna styras via styrhandtag.
- 4.2 Fordonets hastighet regleras steglöst med hjälp av styrhandtaget.
- 4.3 Fordonet skall kunna fjärrstyras med hjälp av bluetooth kommunikation.

Antag långsam acceleration, $\ddot{x} \approx 0$, detta medför att kraften F som behövs för att driva systemet kan beräknas från den fjärde ekvationen i modellen, dvs $F = T_u N_{\text{gear}} / r_{\text{wheel}} = C_l \dot{x}$. Antag att fordonet körs i maxhastighet, 5.5 m/s, effekten blir då $Fv = C_l v^2 = 10 \cdot 5.5^2 \approx 300$ W. Batteriets energiinnehåll är $24 \cdot 14 = 340$ Wh. Detta betyder att vi klara minst en timmes drift i maxhastighet, även inkluderat acceleration samt drift av övrig elektronik.

2

Vad är syftet med funktionsanalysen vid arbete med systematisk konstruktion? Gör en funktionsanalys för fordonet? (3p)

Lösning: Syftet är att specificera systemets funktioner och systemgränser. Även bryta ned i delsystem. Lösningen bör vara lösningsoberoende.

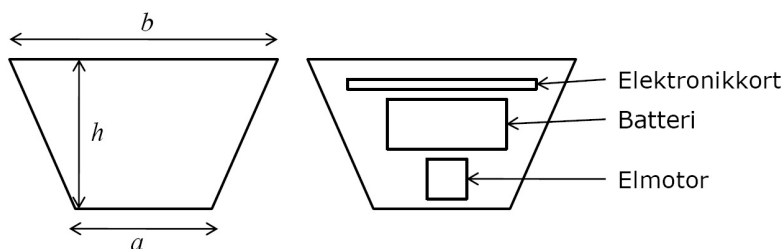
Förslag på funktionsanalys för fordonet:

- *Balansera förare och fordon.*
- *Köra framåt/bakåt.*
- *Svänga vänster/höger.*

Lösningsberoende funktionsanalys samt otydliga funktioner ger poängavdrag!

3

Ur miljöhänseende bör massan på fordonet minimeras. Eftersom vikten på fordonet till stor del beror på komponentval, såsom vikt på valda elmotorer etc, är det endast möjligt att minimera åtgången av material till ställningen som du står på och som innehåller komponenterna, i.e. elmotorer, batterier och elektronikkort. På grund av komponenternas utformning är det lämpligt att utforma ställningen som en trapezoid-formad låda, se figur nedan. Ställningen konstrueras i en 6 mm tjock aluminiumplåt, minimering av vikten reduceras sålunda till att minimera användningen av aluminiumplåt.



Formulera designen av ställningen som ett optimeringsproblem. Välj design variabler, design parameterar, design funktioner, målfunktion och bivillkor (om sådana finns), och formulera på formen:

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x) \\ \text{subject to:} \quad & x_{min} \leq x \leq x_{max} \\ & g_i(x) \leq 0 \\ & g_j(x) = 0 \end{aligned}$$

Eftersom längden på ställningen bestäms av längden på elmotorerna+växellådor, så behöver denna inte tas med i formuleringen utan kan sättas till en konstant. Vidare bör ju elmotor, batteri och elektronikkortet få plats, totalt tar dessa upp en snittarea av 0.05 m^2 , för att vara på den säkra sidan antar vi en säkerhetsmarginal på 2, dvs minsta sidoarean som behövs är 0.1 m^2 . Elmotor, batteri och elektronikkort kan antas vara placerade ovanpå varandra enligt figuren ovan, komponenterna inklusive viss distans emellan är minst 0.3 m . Bredden på elektronikkortet är 0.39 m , eventuella andra faktorer som påverkar designen gör du ingenjörsmässiga bedömningar för.

(4p)

Lösning:

Design variabler: a , b och h

Design parametrar: Längd på ställningen l , och övriga mått i figuren eller i texten.

Design funktioner: $m = \rho V$, $V = Ah_{plt}$, där A är mantelarean och h_{plt} är tjockleken på plåten. Mantelarena kan beräknas som $2(a+b)h/2 + (2\sqrt{h^2 + (b-a)^2}/2 + a+b)l$.

Målfunktion: Minimera massan = minimera mantelarean, dvs $\min A = 2(a+b)h/2 + (2\sqrt{h^2 + (b-a)^2}/2 + a+b)l$

Bivillkor: Höjden h skall vara större än 0.3 m . Bredden b skall vara större 0.39 m , men eftersom trapezoid formad betyder detta att vi måste göra b ännu större, dvs b skall vara större än 0.44 m . Vidare finns ett krav på att sidoarean skall vara minst 0.1 m^2 . Längden a skall vara längre än 0.09 m , från datablad på motor.

Detta ger:

$$\begin{aligned} \min & 2(a+b)h/2 + (2\sqrt{h^2 + (b-a)^2}/2 + a+b)l \\ \text{givet} & \\ & 0.09 - a \leq 0 \\ & 0.44 - b \leq 0 \\ & 0.3 - h \leq 0 \\ & 0.1 - (a+b)h/2 \leq 0 \end{aligned}$$

Fordonet ska som tidigare nämnts drivas med hjälp av två elmotor. Tyvärr är det ej lämpligt att köra en motorn vid så låga varvtal som det rör sig om i fallet med segwayen (dålig verkningsgrad), för att lösa detta kommer en växellåda att kopplas in mellan motor och hjul. Välj en lämplig motor och utväxling ur datablad! Motivera ditt val! Antagande om ideal växel är tillåtet.

(5p)

Lösning: Den dimensionerande arbetspunkten kommer att vara vid max acceleration och max hastighet, dvs för att klara av att driva och accelerera fordonet krävs ett visst motormoment, momentet kan beräknas från fjärde ekvationen i modellen.

$$T_u = \frac{(m_{tot}\ddot{x} + C_1\dot{x})r_{wheel}}{N_{gear}}$$

*Eftersom N_{gear} är okänd kan vi ej räkna ut erforderligt moment direkt. För att bestämma utväxlingen kan vi utnyttja att lämpligt arbetsvarvtal $\approx 0.7 * \text{maxvarvtal}$. För samtliga motor (enligt datablad) är maxvarvtalet ungefär 3000 rpm. Detta betyder om vi antar att hjulradien är 0.25 m och att vi kör i 5.5 m/s att utväxlingsbehovet är*

$$N_{gear,behov} \approx \frac{0.7 * 3000 * 2 * \pi * r_{wheel}}{60 * \dot{x}} \approx 10$$

*Ur datablad fås då en 1-steps planetväxel med utväxling 9:1 som lämpligt val, dvs $N_{gear} = 9$. Varvtalet på motorn blir då $5.5/0.25 * 9 = 198 \text{ rad/s} \approx 2000 \text{ rpm}$.*

Momentbehovet kan då bestämmas som:

$$T_u = \frac{150 * 0.5 + 10 * 5.5}{9} * 0.25 = 3.6$$

*då det är två elmotorer som tillsammans skall generera detta moment, blir det ca 1.8 Nm per elmotor. Notera att detta är endast maxmoment, vid konstant drift (vid maxhastighet) blir momentet $T_u = \frac{10 * 5.5 * 0.25}{9 * 2} = 0.76 \text{ Nm}$.*

Då maxmomentbehovet kommer att vara det dimensionerande, används detta för att välja motor. Ur datablad fås att endast 3 motorer är lämpliga (om vi antar att vi inte spänningsreglerar matningsspänningen till 48 V). De aktuella motorerna är 3B-24, 3C-12 samt 3C-24. Dessa klarar av önskat moment of varvtal.

*Vid jämförelse av märkmoment ser vi att endast 3C-24 har ett märkmoment som är högre än 0.76 Nm (vårt momentbehov vid konstant drift). Denna motor blir därför vårt val. Vidare kontrollerar vi märkeffekten som är på 245 W, vid konstant drift är effektbehovet $T * \omega = 0.76 * 198 = 152 \text{ W}$, dvs 1.6 gånger större än märkeffekten.*

5

Är det möjligt att styra elmotorerna direkt från mikrokontrollern? Om inte, varför och ge förslag på hur man kan göra!

(2p)

Lösning: Nej det går inte, en mikrokontroller kan inte ge tillräckligt med ström för att driva motorerna. Använd drivelektronik för elmotorer, i detta fall är två H-bryggor lämpligt, detta gör att vi kan styra motor att rotera åt båda håll.

6

För att balansera systemet, har vi bestämt oss för att använda tillståndåterkoppling. Hur många och vilka typer av sensorer behöver vi för att kunna göra detta?

(2p)

Lösning: Vi behöver minst tre sensorer för detta, en vinkelgivare, ett gyro för att mäta vinkelhastighet samt en hastighetssensor alternativt en sensor för att mäta hjulets rotationshastighet. Det tredje tillståndet i tillståndsmodellen behövs ej och kan därför tas bort. Notera: Detta är en teoretisk övning, i verkligheten är det svårt

att mäta fordonets och personens lutning (vinkel) och vinkelhastighet, varvid man kombinerar estimerar detta med hjälp av en observatör.

7

En av de sensorer som vi behöver, som inte är relaterat till balanseringen av fordonet, är en vinkelgivare som mäter hur vi vridit på styrhandtaget för att vi skall kunna svänga på fordonet. Mätningen sker med en analog sensor som sedan A/D omvandlas. Vilken upplösning får vi på denna signalen om vi antar vi har en 10-bitars A/D omvandlare och styrhandtaget kan vridas $\pm 15^\circ$?

(2p)

Lösning: Upplösningen blir $30/2^{10} = 30/1024 = 0.03^\circ$.

8

Fordonet skall styras via en mikrokontroller. Välj en lämplig mikrokontroller från datablad och motivera valet!

(3p)

Lösning: Identifiera behov av insignalerna och utsignalerna, samt uppskatta behov av styrkod som måste skrivas.

- *Insigalerna*

- *Styrsignal från styrhandtag - [Analog]*
- *Analog sensorsignal från vinkelgivare - [Analog]*
- *Analog sensorsignaler från vinkelhastighetsgivare - [Analog]*

- 1(2) *Analoga sensorsignaler från vinkelhastighetsgivare (hjul) - [Analog]*
- *On/Off signal från fjärrstyrning resp manöverpanel - [Digital]*

- *Utsignaler*

- *Styrning av motor 1, 4 digitala styrsignaler till H-brygga - [Digital]*
- *Styrning av motor 2, 4 digitala styrsignaler till H-brygga - [Digital]*

Summa: 4 eller 5 analoga signaler (behöver A/D-omvandlare), minst 1 digital insignal samt 8 digitala utsignaler. Min I/O, min 5 A/D.

Välj PIC16F616.