

# Professional Drone, Hybrid Power Pack - Timebox 3

Team 2

17. december 2018

## Deltagere:

Stud. nr: 201602094	Navn: Søren Holm Korsgaard
Stud.nr.: 201607563	Navn: Jacob Gustafsson
Stud.nr.: 201704859	Navn: Jonas Buus
Stud.nr.: 20084327	Navn: Simon Rasmussen
Stud.nr.: 201704483	Navn: Thomas Dueholm Jensen

## Indhold

<b>1</b>	<b>Strategy and planning (Jacob)</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Starter (Simon og Søren)</b>	<b>1</b>
2.1	Analysis (Simon og Søren) . . . . .	1
2.2	Design (Simon) . . . . .	2
2.3	Implementation (Søren) . . . . .	2
2.4	Verification (Søren) . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Spændingsregulator (Jacob)</b>	<b>3</b>
3.1	Analysis . . . . .	3
3.2	Design . . . . .	4
3.3	Implementation . . . . .	5
3.4	Test . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Servomotor (Thomas)</b>	<b>6</b>
4.1	Analysis . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Deployment (Alle)</b>	<b>8</b>

# 1 Strategy and planning (Jacob)

Denne timebox handler om teoretisk analyse af flere forskellige komponenter til produktet. Der gennemgås analyse, implementation og verifikation af startermekanisme af Simon og Søren. Endvidere gennemgås arbejdet på spændingsregulatoren af Jacob. Servomotor gennemgås og beskrives af Thomas. Rapporten er sammensat af Simon. Der er oplevet problemer med at overskue projektet, og derfor er der udarbejdet en mere vidtrækkende og omfattende development plan. Alle trin er endnu ikke planlagt og fordelt, men alle forventede trin er listet op - og tidssat. Indtil nu følges development plan, som kan ses i bilag.

## 2 Starter (Simon og Søren)

### 2.1 Analysis (Simon og Søren)

#### 2.1.1 Krav (Søren)

De krav der skal opfyldes i forhold til launch fasen er:

- 2.1.1.1 Motoren skal kunne startes via el-start

Der opsættes et under krav til dette:

- 2.1.1.10 Motoren skal kunne tørne med  $500 \text{ rpm} \pm 100 \text{ rpm}$ .

Gennem analyse og design, vil det redegøres for hvordan dette implementeres i en prototype. Krav nr 2.1.1.3.1 vil medvirke at motoren nemmere vil starte, da flow gennem karburatoren vil gøre det nemmere for benzinen at komme igennem dysen.

En “electronic speed control” (ESC) anvendes som fartstyring i fartøjer. En ESC tager et input signal, fx fra en pedal eller et joystick, og genererer et signal ud fra et netværk af transistorer (FETs). Signalet kan varieres ved at varierer transistorernes switching.

#### 2.1.2 Structural analysis (Simon)

Alt efter om en motor er brushed eller brushless kræves forskellige ESC'er. I projektets tilfælde er der tale om en brushless motor.

ESC'er kan i nogen tilfælde programmeres. Ved programmering kan følgende typisk redigeres:

- Timing
- Acceleration
- Deceleration
- Rotationsretning

#### 2.1.3 Behavioral analysis (Simon)

ESC'en skal genererer et trefaset signal. Fasen varierer med motor rotation og en Hall sensor bruges til at registrerer omdrejningerne.

#### 2.1.4 Interface analysis (Simon)

Brugerens interaktion med starteren er basal og jf. launch fase rapport, er brugerinteraktion med hele HPP minimal.

### 2.1.5 Dimensioning (Simon)

Når der vælges en ESC er der flere ting at tage højde for. For det første brushed vs. brushless motor. Herefter er der spændings- og strømstyrke begrænsninger for ESC for hvor meget den kan håndtere. Spændingsbegrænsningen er oftest udtrykt i antal battericeller. NiMH batterier har 1,2 V pr. celle og Lithium batterier har 3,7 V pr. celle. En markering i datablad kan indeholde grænser for begge batterityper.

## 2.2 Design (Simon)

### 2.2.1 Structural design

ESC'en vil skulle kunne håndtere 22 V da dronens batteri leverer denne spænding. Det planlægges at anvende en "Turnigy Plush 60a" (TP60a). TP60a er ratet til 2-6 Li-ion batterier (op til 22,2 V) eller 5-18 (op til 21,6 V) NiMH batterier. Altså en grænse omkring 22 V. Grænsen for kontinuerlig strømstyrke ligger på 60 A.

Dronebatteriet, et Lithium Poly batteri med 6 celler, vil ved opkobling til ESC'en kunne generere et trefaset signal som sendes til generatoren.

### 2.2.2 Behavioral design

For at kunne starte skal ESC'en tilføres et signal på 1 ms i pulsbredde ved et 50 Hz signal. Der anvendes en bølgegenerator til at generere pulssignalet. Hastigheden af motoren vil kunne varieres med pulsbredden af signalet. Ved hjælp af Hall-sensoren vil omdrejningstiden under opstart kunne måles og bruges til beregning af opstartens omdrejninger pr. minut (rpm).

## 2.3 Implementation (Søren)

Til implementeringen, blev batteriet fra dronen anvendt, da den kan levere et højere ampere forbrug end de strømforsyninger der er i el-laboratoriet. Som følge af analyse og design, blev det koblet sammen med batteri til ESC'en og til generatoren.

For at få ESC'en til at virke skal der sendes et startsignal. Dette signal skal være konstant i minimum 5 sekunder, hvorefter den er klar. Start-signalet, er en høj puls i 1 ms og med en frekvens på 50 Hz (servo signal).

## 2.4 Verification (Søren)

For at vise at virkningen er efter hensigten bruges måleværdier, se figur 1, til at beregne omdrejninger på motoren samt duty cycle af vores PWM signal til ESC'en.

Frekvens,  $f$ , er som tidligere nævnt 50 Hz. Pulswidth af signalet,  $PW$ , er 1,2503 ms.

Duty cycle,  $D$ , beregnes ved periodetiden  $T = \frac{1}{f}$ :

$$D = \frac{PW}{T} = PW \cdot f \Rightarrow 1,2503\text{ms} \cdot 50\text{Hz} = 6,25\% \quad (1)$$

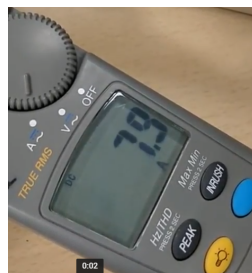
Tiden for én omdrejning på motoren blev målt fra Hall sensor signalet, se figur 1. Omgangstiden til opstart,  $t_{start}$ , er 117 ms. RPM for opstart,  $rpm_{start}$ , kan herefter findes til

$$rpm_{start} = \frac{1 \text{ min}}{t_{start}} \Rightarrow \frac{60\text{s}}{117\text{ms}} = 513 \text{ rpm} \quad (2)$$

Ud fra dette, kan det konstateres at starter-kredsløbet virker og at der opnås tilstrækkelige omdrejninger til at motoren kan startes. Samtidigt er det afklaret hvilke værdier der skal bruges til software, for at gøre starteren funktionsdygtig. Krav nr. 2.1.1.10 er opfyldt. For at kunne opfylde krav nr 2.1.1.1, skal motoren kunne starte. Dette vil opfyldes i timebox nr 4.



Figur 1: Måling, oscilloskop



Figur 2: Måling, strømstyrke

Strømforbruget på starteren blev målt til 7,9 ampere. Dog kunne den ikke nå at måle peak forbruget ved en kompression, da denne værdi ville være højere. Udfra dette kan det konstateres at ESC'en sagtens kan klare opgaven, da den kan klare op til 60 ampere. Og med den lave vægt på 60 gram, er den perfekt til projektet.

### 3 Spændingsregulator (Jacob)

Der er behov for en spændingsregulator i systemet, da batteripakken leverer 22 V, mens der skal bruges 5 V til styringerne og FRDMKL25Z, som er det valgte board. I det nedenstående følger en analyse af spændingsregulatoren.

#### 3.1 Analysis

##### 3.1.1 Structural analysis

Som nævnt herover er der behov for en spændingsregulator, som en del af systemet, for at kunne levere den nødvendige forsyningsspænding til de logiske kredsløb.

Herunder listes nye krav til spændingsregulatoren. Disse krav fremgår ikke allerede af launch fasen:

##### Ubiquitous Requirements

2.1.1.11 Spændingsregulatoren skal kunne regulere en spænding fra 22 V ned til 5 V, med en pålydende strøm af 1 A.

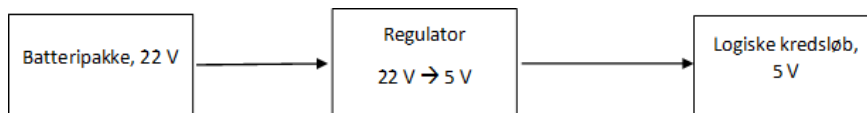
2.1.1.12 Spændingsregulatoren skal være vejrbestandig.

### 3.1.2 Behavioral Analysis

EUDP lægger op til, at Use Case Scenarios gentænkes. Imidlertid er dette en delkomponent i det samlede produkt, hvorfor der ikke er udviklede specifikke Use Cases for netop spændingsregulatoren. Den ønskede opførsel af komponenten er, at den muliggør en regulering i spænding fra 22 V til 5 V.

### 3.1.3 Interface Analysis and Design

Spændingsregulatoren vil være koblet til batteripakken i den ene ende og de logiske kredsløb i den anden ende. Som både indgang og udgang til spændingsregulatoren, vil der være forbundet almindelige ledere - 1 kvadrat som indgang og 0,5 kvadrat som udgang.



Figur 3: Strømmens gang i systemet

### 3.1.4 Dimensionering

Da spændingsregulatoren er en blivende del af systemet, er det nødvendigt at holdbarheden er god og som minimum lever op til kvaliteten af de resterende dele af produktet.

Ét af de problemer der kan opstå under spændingsregulering, er temperaturforøgelse, der kan brænde komponenter af. Bruges der blot en LM7805 til at regulere fra 22 V til 5 V, med en strøm på 1 A, vil der være et effekttab på 17 W<sup>1</sup>.

Af dataarket for LM7805<sup>2</sup> opgives det, at temperaturforøgelsen i IC'en er  $65 \frac{^{\circ}C}{W}$  der forbruges i IC'en. Altså vil vi, udregnet i grader celcius, få en temperaturforøgelse på:

$$\Delta T = I \cdot \Delta V \cdot R_{\theta JA} \Rightarrow 1A \cdot (22V - 5V) \cdot 65 \frac{^{\circ}C}{W} = 1105^{\circ}C \quad (3)$$

En sådan temperaturstigning er selvfølgelig langt fra acceptabel.

Monteres der en heatsink i de passende dimensioner, falder  $R_{\theta J}$  til  $5 \frac{^{\circ}C}{W}$ . Dermed ser beregningen således ud:

$$\Delta T = I \cdot \Delta V \cdot R_{\theta JC} \Rightarrow 1A \cdot (22V - 5V) \cdot 5 \frac{^{\circ}C}{W} = 85^{\circ}C \quad (4)$$

Dette er indenfor et acceptabelt område, da  $T_{OPR} \in [-40^{\circ}C; 125^{\circ}C]$ . Dog skal det nævnes, at temperatursvingningerne er den største udfordring for holdbarheden på en IC. Hvad angår strømmen, kan LM78XX serien klarer op til 2,2 A peak og levere en output-strøm på op til 1 A. Da vores krav var 1 A på udgangen, går serien lige an, hvad angår strømstyrke.

## 3.2 Design

Nedenstående gennemgår de valg der er truffet omkring design af spændingsregulatoren på baggrund af analysen.

---

<sup>1</sup>Effekten fås ved  $P = V \cdot A$

<sup>2</sup>FAIRCHILD, 2006

### 3.2.1 Structural Design

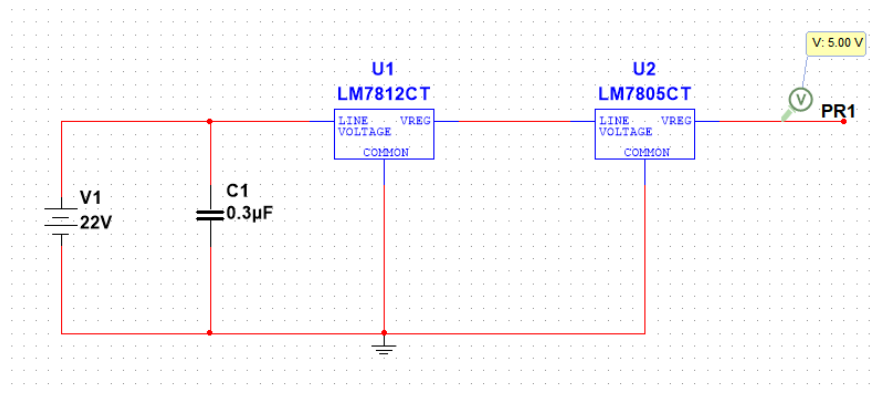
Spændingsregulatoren skal være vejrbestandig, da dronen skal kunne være udendørs i alt slags vejr. For at spændingsregulatoren kan blive det, skal den pakkes ind i en boks, der sikres efter IP66 standard. Problemet med dette er, at regulatoren udvikler en hel del varme. Derfor skal spændingsregulatoren være i en kasse for sig, hvor heatsink monteres udvendigt på kassen.

### 3.2.2 Behavioral Design

For at imødekomme problemerne med temperatur, er det valgt at dele spændingsreguleringen op i to trin. Der bruges IC'ere fra LM78xx serien. Det gøres fordi de er driftssikre, har en høj tolerance overfor temperatur og er billige i indkøb.

Kredsløbet opbygges af nedenstående, og efter nedenstående diagram, figur 4.

- 1 stk. LM7812
- 1 stk. LM7805
- 2 stk. heatsink
- 2 stk. kondensator 0,33  $\mu\text{F}$



Figur 4: Strømmens gang i systemet

Som tidligere nævnt skal der monteres heat sink på begge IC'ere, dette kan blot ikke vises i MultiSim.

### 3.3 Implementation

Da denne timebox udelukkende omhandler analyse og design af spændingsregulatoren, er denne endnu ikke realiseret og implementeret.

### 3.4 Test

Spændingsregulatoren forventes bygget på veroboard. Der tilkobles en strømforsyning, der skal udgøre batteripakken, og udgangsstrøm og spænding måles med et multimeter.

## 4 Servomotor (Thomas)

### 4.1 Analysis

For at kunne styre gasspjældet på brushless DLE motoren skal der anskaffes en servomotor. Servomotorens opgave bliver at regulere gasspjældet via et PWM signal genereret ud fra motorstyringens måling af dronecopterens strømforbrug. På denne måde vil motorens omdrejninger kunne styres og tilpasses alt efter behovet.

#### 4.1.1 Structural analysis

For at kunne udvælge en passende servomotor til system-to-be, opstilles herunder følgende krav:

- 2.1.1.13 Servomotoren skal have en forsyningsspænding på 5 volt.
- 2.1.1.14 Servomotoren skal veje under 15 g.
- 2.1.3.6 Reaktionshastighed på minimum  $0,15 \text{ s}/60^\circ$ .
- 2.1.3.7 Servomotorens skal have et moment (torque) på minimum 1,5 kg/cm.
- 2.1.3.8 Servomotoren skal kunne styres via et PWM signal.

#### Ad 2.1.1.13

Da der i forvejen skal designes en spændingsregulator, der konverterer dronecoptorens batterispænding fra 22,2 volt ned til 5 volt, ville det være fordelagtigt at vælge en servomotor, der skal forsynes med 5 volt.

**Verifikation specifikation:** Dette testes ved at forsyne den valgte servomotor med 5 volt, hvorefter der sendes et PWM signal ind i servoen for at se, om den opfører sig som forventet.

#### Ad 2.1.1.14

Da der er et overordnet krav til HPP om, at den samlede vægt for systemet skal være så let som muligt, er der sat et krav til servomotoren, således at den maksimalt må veje 15 g. Der findes mange forskellige servomotorer på markedet, hvorfor det burde være muligt at finde én, der lever op til dette krav.

**Verifikation specifikation:** Dette testes ved at læse specifikationer på den valgte servomotor og/eller veje produktet.

#### Ad 2.1.3.6

For at sikre, at der ikke bliver forsinkelse mellem aktiveringen af servomotoren og den reelle påvirkning på motorens gasspjæld, er det vigtigt, at servomotorens reaktionstid er forholdsvis lav.

**Verifikation specifikation:** Dette testes ved at læse specifikationer på den valgte servomotor.

#### Ad 2.1.3.7

Servomotoren primære funktion er at påvirke motorens gasspjæld, således at rpm kan justeres efter behov. Derfor skal der vælges en servomotor, der har moment nok til ubesværet at kunne åbne og lukke gasspjældet mekanisk.

**Verifikation specifikation:** Dette testes ved at læse specifikationer på den valgte servomotor. Hvis der forekommer problemer med dette, kan servomotorens specifikation om moment testes med et Newtonmeter/vægt.

#### Ad 2.1.3.8

En servomotor styres med et PWM signal. Dette signal skal generes i HPP's motorstyring (MCU).

**Verifikation specifikation:** Der genereres et PWM signal med en signalgenerator, hvorefter servomotoren skal opføre sig som forventet.

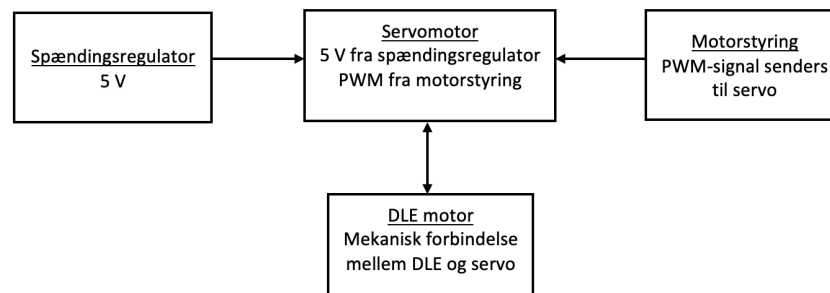
#### 4.1.2 Behavioural Analysis

Dette er en delkomponent af det samlede system-to-be, hvorfor der ikke er udviklet deciderede Use Case Scenarios.

Servomotorens funktion er at kunne styre gasspjældet på DLE motoren ud fra dronecoptorens aktuelle strømforbrug. Strømforbruget registreres i motorstyringen, som derudfra sender et PWM signal videre til servomotoren.

#### 4.1.3 Interface Analysis

Servomotoren skal forsynes med 5 volt fra spændingsregulatoren. Derudover skal den modtage et PWM signal fra motorstyringen. Servomotor og gasspjældet skal forbindes mekanisk.



Figur 5: Blokdiagram, Interface for servomotor

#### 4.1.4 Valg af servomotor

Ud fra ovenstående analyse af servomotoren er følgende servomotor fundet egnet til HPP.

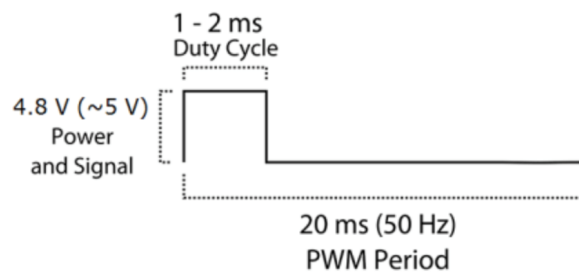


Figur 6: TowerPro SG-90. Kilde: <http://www.towerpro.com.tw/product/sg90-7/>

Som ses ud fra servoens specifikationer lever denne op til de opstillede krav. Derudover er dimensionerne på servoen meget små, hvilket er et fortræk til HPP.

I figur 7 ses opsætningen af duty-cycle for servomotoren. Signalet skal have en frekvens på 50 Hz, og on-time for en periode skal være mellem 1 og 2 ms. Det vil sige, at servoens styrearm står med en vinkel på 0°, når on-time er 1,0 ms, 90° med en on-time på 1,5 ms, og 180° med on-time på 2,0 ms.





Figur 7: PWM signal til servomotoren

Prisen for servoen ligger på ca. 25 kr.

## 5 Deployment (Alle)

Hermed godkender kunderne, Morten Opprud Jakobsen og Jan Møller Nielsen, ovenstående i timebox 3.  
Mandag den 17/12-2018

---

Morten Opprud Jakobsen

---

Jan Møller Nielsen