

# Projekt Universal Actuator Drive

## Dokumentation

Diplomingeniør Elektronik  
Bachelorprojekt efterår 2017

Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet  
Vejleder: Arne Justesen

19. december 2017

---

Nicolai H. Fransen  
Studienr. 201404672

---

Jesper Kloster  
Studienr. 201404571

# Indhold

<b>Indhold</b>	<b>2</b>
<b>1 Kravspecifikation</b>	<b>3</b>
1.1 Aktør diagrammer . . . . .	4
1.2 Aktørbeskrivelse . . . . .	5
1.2.1 Aktør: Bruger . . . . .	5
1.2.2 Aktør: Thermal Knife load . . . . .	5
1.2.3 Aktør: Pyro load . . . . .	5
1.3 Fully dressed use cases . . . . .	6
1.3.1 Use case 1 - Aktiver Thermal Knife load . . . . .	6
1.3.2 Use case 2 - Aktiver Pyro load . . . . .	7
1.4 Ikke-funktionelle krav . . . . .	8
<b>2 Accepttest</b>	<b>9</b>
2.1 Tests . . . . .	9
2.1.1 Test af ikke-funktionelle krav . . . . .	11
<b>3 Switch-Mode Power Supply</b>	<b>15</b>
3.1 Flyback Converter . . . . .	15
3.1.1 Continuous Conduction Mode . . . . .	16
3.1.2 Discontinuous Conduction Mode . . . . .	16

# 1 Kravspecifikation

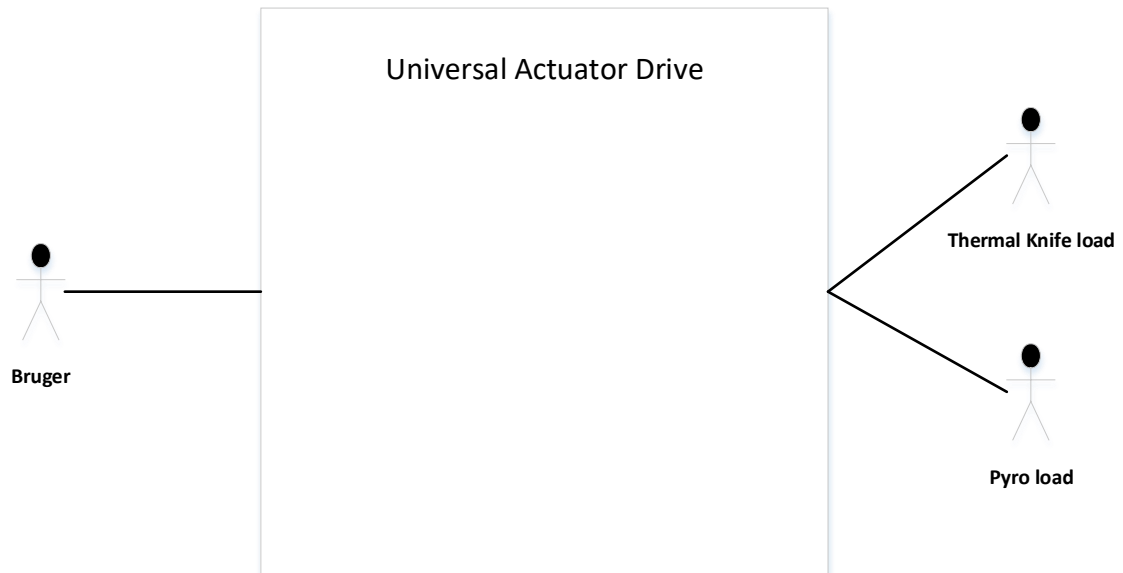
Kravene til produktet er prioriteret ved brug af MoSCoW metoden. Her er kravene for produktet inddelt i fire kategorier, hvor de vigtigste elementer er prioriteret højest. **Must** benævner de krav som er vigtigst at opfylde, og som er absolut nødvendigt for produktet. **Should** er de krav produktet bør opfylde. **Could** er kravene som produktet evt. kunne opfylde, hvis projektets tidsramme tillader det. **Won't** er krav som ikke vil blive opfyldt inden for projektets tidsrammer, men evt. kan tages med i senere iterationer.

Følgende opdeling viser kravene udvalgt for dette projekt:

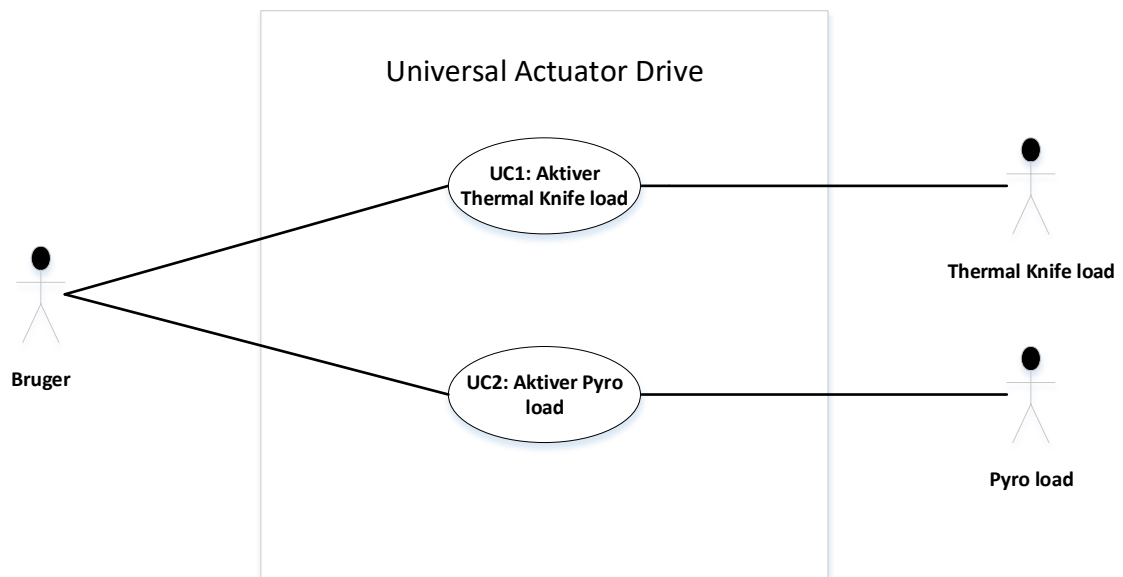
- Must**
  - Have et funktionsdygtigt power-modul
  - Ikke påvirke andre moduler ved fejl
  - Have et termisk design, kompatibelt med vakuum
  - Underbygges med en P-Spice model
- Should**
  - Have programmerbar udgangsstrøm og -spænding
  - Have stabil regulering
  - Have overstrømsbeskyttelse på udgangen
  - Have overspændingsbeskyttelse på udgangen
- Could**
  - Have mulighed for brug til mere end to forskellige typer loads
  - Konstrueres med EEE komponenter
- Won't**
  - Have feedback til brugeren når valgt load er aktiveret
  - Have galvanisk adskillelse

## 1.1 Aktør diagrammer

I det følgende afsnit illustreres systemets aktører i et aktør-kontekst diagram. Derudover gives et mere beskrivende indblik i aktørernes interaktion med systemets use cases, i et use case diagram.



Figur 1.1: Aktør-kontekst diagram



Figur 1.2: Use case diagram

## 1.2 Aktørbeskrivelse

I det følgende afsnit beskrives systemets aktører. Ved hver aktør angives typen, samt en kort beskrivelse af aktørens funktion og/eller hvordan de påvirker systemet.

### 1.2.1 Aktør: Bruger

**Type:**

Primær

**Beskrivelse:**

Brugeren interagerer med systemet, ved at indstille den ønskede load type.

### 1.2.2 Aktør: Thermal Knife load

**Type:**

Sekundær

**Beskrivelse:**

Thermal Knife load er en load type, hvor et varmelegeme opvarmes langsomt. Denne type bruges til at skære reb over, og derved udløse diverse bevægelige dele.

### 1.2.3 Aktør: Pyro load

**Type:**

Sekundær

**Beskrivelse:**

Pyro load er en load type, hvor en glødetråd opvarmes hurtigt. Denne type bruges til at detonere en krudtladning, og derved sprænge en bolt, som frigør diverse bevægelige dele.

## 1.3 Fully dressed use cases

### 1.3.1 Use case 1 - Aktiver Thermal Knife load

**Mål:**

At aktivere Thermal Knife load

**Initiering:**

Brugeren

**Aktører:**

Brugeren (Primær)

Thermal Knife load (Sekundær)

**Referencer:**

Ingen

**Samtidige forekomster:**

En

**Forudsætning:**

Hverken Use case 1 eller Use case 2 er under udførelse

**Resultat:**

Thermal knife load er aktiveret

**Hovedscenarie:**

1. Brugeren vælger Thermal knife load
2. Systemet indstiller strøm og spænding til Pyro load
3. Systemet aktiverer Thermal knife load

### 1.3.2 Use case 2 - Aktiver Pyro load

**Mål:**

Aktiver Pyro load

**Initiering:**

Bruger

**Aktører:**

Bruger (Primær)

Pyro load (Sekundær)

**Referencer:**

Ingen

**Samtidige forekomster:**

En

**Forudsætning:**

Hverken Use case 1 eller Use case 2 er under udførelse

**Resultat:**

Pyro load er aktiveret

**Hovedscenarie:**

1. Brugeren vælger Pyro load
2. Systemet indstiller strøm og spænding til Pyro load
3. Systemet aktiverer Pyro load

## 1.4 Ikke-funktionelle krav

I dette afsnit beskrives de ikke-funktionelle krav. Her opstilles f.eks. krav om præcision, brugervenlighed samt produktets dimensioner.

- Inputspændingen skal være mellem 26-100V
- Der må maksimalt trækkes en peak-strøm fra inputkilden på 150% af inputstrømmen
- Skal opretholde en outputspænding på op til 21V,  $\pm 2\%$  ved 2,5A  $\pm 5\%$
- Skal opretholde en outputstrøm op til 5A  $\pm 5\%$ , ved 15V  $\pm 2\%$
- Der må maksimalt være en ripple-spænding på 50mV pk-pk
- Der må maksimalt være switching spikes på 100mV pk-pk
- Skal kunne omsætte op til 75W
- Skal operere med et tab på maksimalt 5W
- Skal implementeres i et volumen mindre end 17x75x100mm på forsiden af PCB'et, samt 3x75x100mm på bagsiden af PCB'et
- Skal kunne operere med en omgivelsestemperatur mellem  $-35^{\circ}\text{C}$  og  $65^{\circ}\text{C}$
- Skal have stabil regulering med 10dB gain og 50 graders fasemargin ved:
  - 21V/2,5A ved høj og lav indgangsspænding
  - 5A/3 $\Omega$  ved høj og lav indgangsspænding
- Reguleringen skal have en risetime på maksimalt 0,5ms
- Reguleringen skal have et overshoot på maksimalt 5%



## 2 Accepttest

### 2.1 Tests

Use case under test	Use case 1 - Aktiver Thermal Knife load			
Scenarie	Hovedscenarie			
Prækondition	Hverken Use case 1 eller Use case 2 er under udførelse			
Step	Handling	Forventet	Faktisk	Vurdering
1	Brugeren vælger Thermal Knife load	Reb bliver brændt over		

Tabel 2.1: Test for Use case 1 - Aktiver Thermal Knife load - Hovedscenarie

Use case under test	Use case 2 - Aktiver Pyro load			
Scenarie	Hovedscenarie			
Prækondition	Hverken Use case 1 eller Use case 2 er under udførelse			
Step	Handling	Forventet	Faktisk	Vurdering
1	Brugeren vælger Pyro load	Krudtladning bliver antændt		

Tabel 2.2: Test for Use case 2 - Aktiver Pyro load - Hovedscenarie



## 2.1.1 Test af ikke-funktionelle krav

Krav	Test	Forventet resultat	Resultat	Vurdering
Input-spændingen skal være mellem 26-100V	Indgangs-spændingen måles med et voltmeter	Indgangs-spændingen er mellem 26-100V		
Der må maksimalt trækkes en peak-strøm fra inputkilden på 150% af inputstrømmen	Udgangen belastes af en $3\Omega$ modstand, og der måles strøm på indgangen med oscilloskop	Peakstrømmen overstiger ikke 150% af steady state strømmen		
Skal opretholde en outputspænding på op til 21V $\pm 2\%$ ved 2,5A $\pm 5\%$	Der indsættes en load på $5\Omega$ og udgangs-strøm og -spænding måles med oscilloskop	Spændingen ligger på 12,5V $\pm 2\%$ og strømmen på 2,5A $\pm 5\%$		
Skal opretholde en outputstrøm op til 5A $\pm 5\%$ ved 15V $\pm 2\%$	Der indsættes en load på $5\Omega$ og udgangs-strøm og -spænding måles med oscilloskop	Spændingen ligger på 15V $\pm 2\%$ og strømmen på 3A $\pm 5\%$		
Der må maksimalt være en ripple-spænding på 50mV pk-pk	Der indsættes en load på $3\Omega$ og pk-pk måles med oscilloskop	Ripple-spændingen er under 50mV pk-pk		
Der må maksimalt være switching spikes på 100mV pk-pk				
Skal kunne omsætte op til 75W	Der indsættes en load på $3\Omega$ og der måles på oscilloskopet om der holdes en spænding på 15V $\pm 2\%$ samt en strøm på 5A $\pm 5\%$	Der måles en spænding på 15V $\pm 2\%$ samt en strøm på 5A $\pm 5\%$ hvilket giver 75W		

Krav	Test	Forventet resultat	Resultat	Vurdering
Skal operere med et tab på maksimalt 5W	Der indsættes en load på $3\Omega$ Indgangsspænding og strøm måles og omregnes til effekt. Det samme gøres for udgangsspænding og -strøm.	De 2 effekter trukket fra hinanden giver maksimalt 5W		
Skal implementeres i et volumen mindre end 17x75x100mm på forsiden af PCB'et, samt 3x75x100mm på bagsiden af PCB'et	Med målebånd måles dimensionerne af PCB'et først på forsiden og derefter på bagsiden.	Dimensionerne overskrider ikke 17x75x100mm på forsiden af PCB'et og 3x75x100mm på bagsiden af PCB'et		
Skal kunne operere med en omgivelsetemperatur mellem $-35^{\circ}\text{C}$ og $65^{\circ}\text{C}$	Der indsættes en load på $3\Omega$ og der måles på oscilloskopet om der holdes en spænding på $15\text{V} \pm 2\%$ samt en strøm på $5\text{A} \pm 5\%$ . Først testes ved $-35^{\circ}\text{C}$ og derefter ved $65^{\circ}\text{C}$	Der måles en spænding på $15\text{V} \pm 2\%$ samt en strøm på $5\text{A} \pm 5\%$ hvilket giver 75W ved begge temperature		

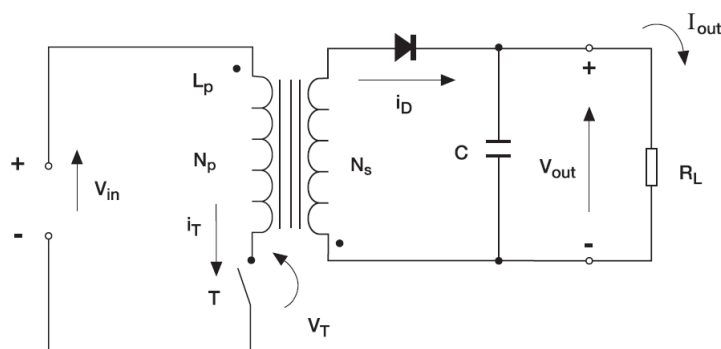
Krav	Test	Forventet resultat	Resultat	Vurdering
Skal have stabil regulering med 10dB gain og 50 graders fase-margin ved 21V/2,5A ved en indgangsspænding på 26V og 100V	Først indstilles indgangsspændingen til 26V og vha. oscilloskopets network analyser genereres et bodeplot ved at måle over loaden. Dette gentages med en indgangsspænding på 100V	På bodeplottet ses en stabil regulering med 10dB gain og 50 graders fase margin for både 26V og 100V		
Skal have stabil regulering med 10dB gain og 50 graders fase-margin ved 5A/3Ω ved en indgangsspænding på 26V og 100V	Først indstilles indgangsspændingen til 26V og vha. oscilloskopets network analyser genereres et bodeplot ved at måle over loaden. Dette gentages med en indgangsspænding på 100V	På bodeplottet ses en stabil regulering med 10dB gain og 50 graders fase margin for både 26V og 100V		
Reguleringen skal have en risetime på maksimalt 0,5ms	Ved en load på 3Ω, udgangsstrøm på 5A ±5% og udgangsspænding på 15V ±2% måles risetime med et oscilloskop på udgangen ved et step på indgangen	Der måles en risetime på maksimalt 0,5ms		

Krav	Test	Forventet resultat	Resultat	Vurdering
Reguleringen skal have et overshoot på maksimalt 5%	Ved en load på $3\Omega$ , udgangsstrøm på $5A \pm 5\%$ og udgangsspænding på $15V \pm 2\%$ måles overshoot med et oscilloskop på udgangen ved et step på indgangen	Der måles et overshoot på maksimalt 5%		

# 3 Switch-Mode Power Supply

## 3.1 Flyback Converter

Flyback converteren, er en transformator baseret topologi. Man deler converteren op i to dele: Primær- og sekundærsiden. Primærsiden består af en transistor, forbundet i serie med primærviklingen af transformatoren, hvor transistoren fungerer som en switch. Sekundærsiden består af en parallellforbindelse mellem sekundærviklingen og en diode i serie, en udgangskondensator, samt belastningen. Dette er også vist på figur 3.1. En af fordelene ved at bruge flyback converteren er at der kan opnås galvanisk adskillelse mellem primær- og sekundærsiden af transformatoren.



Figur 3.1: Ideelt diagram af flyback converteren [?]

Flyback converteren bruges til at konvertere en indgangsspænding, ned til en mindre udgangsspænding. Dette gøres ved at styre transistoren med digitalt signal, med en variabel duty-cycle. Når transistoren er ON, vil der være en positiv spænding ved prik-enden af viklingen ift. den anden ende. Ud fra formelen  $V = L \cdot \frac{di}{dt}$  kan det ses, at når der ligger en spænding over viklingen, vil strømmen i transformatoren stige lineært, over den tid transistoren er ON. Når transistoren går OFF, vil den magnetiske strøm i transformatoren inducere en spænding over sekundærviklingen. Nå denne spænding bliver lig udgangsspændingen, vil dioden begynde at lede den strøm, der er oplagret i transformatoren. Da spændingen over sekundærviklingen er positiv ved prikken, og dermed modsat af primærviklingen, vil strømmen falde lineært ud fra samme forhold, som nævnt tidligere. Dette vil over tid skabe en trekantet kurveform af den samlede strøm i transformatoren. Et eksempel på dette kan ses på figur 3.2.

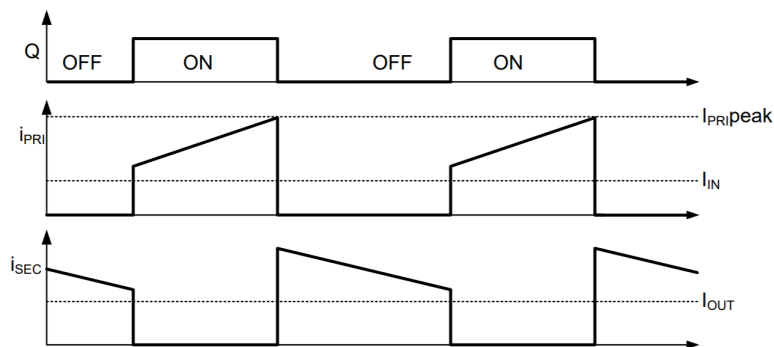
Udgangskondensatoren har to funktionaliteter. Den skal kunne holde spændingen over belastningen i transistorens ON periode. Derudover er den, sammen med sekundærviklingen af transformatoren, en del af et 2. ordensfilter, som minimerer ripplespændingen på udgangen.

Flyback converteren kan overordnet drives på to forskellige måder, Continuous Conduction Mode (CCM) og Discontinuous Conduction Mode (DCM). Disse to måder har

forskellige fordele og ulemper, som skal tages højde for inden der vælges hvordan converteren skal drives.

### 3.1.1 Continuous Conduction Mode

Forkellen ved CCM og DCM er, hvordan strømmen løber i transformatoren. Ved CCM vil der altid løbe en strøm i transformatoren, som der også ligger i navnet. Strømmen er skitseret på figur 3.2. Skal man have den samlede strøm i transformatoren, skal de to kurver for primær- og sekundærviklingen samles. Dette er fordi der kun løber en strøm i primærviklingen når transistoren er ON, og en strøm i sekundærviklingen når transistoren er OFF.



Figur 3.2: CCM transformator strømme

En af fordelene ved CCM er, at strømmen i transformatoren ikke når at aflade helt, inden transistoren går ON igen. Dette giver lavere peak-strømme, som sætter mindre krav til transistor og diode, og giver anledning til et mindre tab. Da transformatoren ikke når at aflade får man også en mindre ripplestrøm i transformatoren,  $\Delta i$ , og dermed også en mindre ripplespænding på udgangen.

### 3.1.2 Discontinuous Conduction Mode