

# Utveckling av drivstegskort för stegmotorer

## Dotterkort till projektplattform



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Industriell elektroteknik / IEA

Examensarbete:  
Andreas Andersson

© Copyright Andreas Andersson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2014

## Sammanfattning

Denna rapport beskriver hur utvecklingsarbetet i samband med konstruktionen av ett kretskort. Kretskortet som konstrueras är ett drivstegskort som kan driva två små stegmotorer. Styrningen av drivstegskortet sker genom att koppla ihop drivstegskortet med ett överordnat styrkort (CPP-kort). Detta kort programmeras för att kunna styra stegmotorerna. Utvecklingsarbetet har stor del bestått i att välja komponenter och beräkna komponentvärden.

Nyckelord: Stegmotor, mönsterkort, drivsteg, komponentval.

## **Abstract**

This thesis describes how the development work associated with the construction of a circuit board. The circuit board that is constructed is a card that can drive two small stepper motors. The control of the driver is done by connecting the driver with a higher-level controller (CPP-card). This card is programmed to control the stepper motors. The development work has largely consisted in selecting components and calculate component values.

Keywords: Stepper motor, printed circuit board, driver, selecting components.

## **Förord**

Denna rapport beskriver mitt examensarbete som är utfört på Calmon Stegmotorteknik AB. Examensarbetet är en del av min utbildning till Höskoleingenjör i elektroteknik med automation vid Lunds tekniska högskola, campus Helsingborg. Ett utmanande och roligt examensarbete, där jag lärde mig mycket nytt om elektronikutveckling, såsom val och beräkning av komponenter, schemaritning och stegmotorer.

Jag vill tacka handledarna på Calmon Stegmotorteknik AB. De var mycket hjälpsamma och ett stort stöd under hela projektet.

Magnus Larsson, Jonas Johnsson, Jonas Lindén, Lars Mathisson och Rolf Elmtegg.

# Innehållsförteckning

<b>Ordlista</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Syfte och mål</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Problemformulering</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 Avgränsningar</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Tekniska hjälpmedel</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Metod</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Litteraturstudier</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Källkritik .....	5
<b>2.2 Dokumentation</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3 Konstruktion</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Teknisk bakgrund</b> .....	<b>7</b>
<b>3.1 Stegmotor</b> .....	<b>7</b>
3.1.1 Permanent magnet .....	7
3.1.2 Variabel reluktans .....	8
3.1.3 Hybrid .....	8
<b>3.2 Allmänt om transistorer</b> .....	<b>10</b>
3.2.1 Bipolär transistor.....	10
3.2.2 MOSFET .....	10
<b>3.3 Allmänt om drivsteg</b> .....	<b>11</b>
<b>3.4 Texas Instruments DRV8825</b> .....	<b>12</b>
<b>3.5 I2C</b> .....	<b>15</b>
<b>3.6 Design i CAD</b> .....	<b>15</b>
<b>3.7 Mönsterkort</b> .....	<b>16</b>
3.7.1 Vad är mönsterkort .....	16
3.7.2 Lager .....	16
3.7.3 Routingstrategier .....	16
<b>4 Drivstegskortets struktur</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1 I/O portar</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2 I2C-Expander</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3 Övriga block</b> .....	<b>22</b>
<b>5 Tillvägångssätt vid konstruktion</b> .....	<b>25</b>
5.1.1 Cadstar .....	25
<b>5.2 Elektronikkonstruktion</b> .....	<b>26</b>
<b>5.3 Datablad</b> .....	<b>26</b>
5.3.1 Viktiga parametrar .....	27
<b>5.4 Val av komponenter</b> .....	<b>28</b>
5.4.1 Välja motstånd .....	29

5.4.2 Välja kondensator .....	29
5.4.2.1 Keramisk kondensator .....	29
5.4.2.2 Elektrolytkondensator.....	29
5.4.3 Välja transistor .....	31
<b>6 Enkla konstruktioner .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1 Första ordningens lågpassfilter.....</b>	<b>33</b>
6.1.1 PWM och lågpassfilter .....	34
<b>6.2 Konstruktion av I/O-portar.....</b>	<b>35</b>
<b>6.3 Spänningsdelning .....</b>	<b>37</b>
<b>6.4 Avkoppling .....</b>	<b>38</b>
<b>7 Struktur vid konstruktionsarbetet .....</b>	<b>41</b>
<b>8 Slutsats.....</b>	<b>43</b>
<b>9 Framtida utvecklingsmöjligheter.....</b>	<b>45</b>
<b>10 Referenser.....</b>	<b>47</b>





## Ordlista

**CPP-kort:** Calmon Projekt Plattform.

Utvecklad av Calmon Stegmotorteknik, plattform för kretskort så som drivstegskort.

**EMC:** Elektromagnetisk kompatibilitet.

CE märkning

**PCB:** Printed Circuit Board (Sv: Mönsterkort). Ett kort där komponenter löds fast. I kortet finns ledare och spänningsplan som komponenterna behöver för att fungera.

**Via:** Ett hål med koppar som möjliggör att ledningar kan byta lager.

**PWM:** Pulse-width modulation (Sv: Pulsbreddsmodulering)

**I/O:** Input/output, kontaktdon som kan ta emot eller styra ut signaler.

**FPGA:** Field-programmable gate array. Programmerbar krets som finns på CPP-kortet, programmeras i språket VHDL.

**CPU:** Central Processing Unit. Programmerbar krets som finns på CPP-kortet, programmeras i språket C/C++.

**BOM:** Bill of materials. En lista över komponenter som behöver införskaffas för att kunna bygga applikationen.



# 1 Inledning

Calmon Stegmotorteknik AB har med hjälp av tidigare examensarbeten utformat en projektplattform vid namn Calmon projekt plattform (CPP). Med hjälp av denna plattform blir det mycket enklare att konstruera dotterkort som kopplas ihop med CPP kortet. Det går att koppla tre dotterkort till CPP-kortet samtidigt. Ett dotterkort kan konstrueras för att användas till en tänkt applikation, som till exempel ett drivsteg till stegmotorer. På CPP-kortet finns både en CPU och en FPGA vilka går att programmera för styrning av de olika dotterkorterna. Detta examensarbetet behandlar konstruktionen av ett dotterkort till CPP-kortet. Dotterkortet är ett drivstegskort som kan styra två stegmotorer.

## 1.1 Bakgrund

Calmon Stegmotorteknik AB är ett konsultbolag med säte i Svängsta. Bolaget har som huvudsaklig inriktning mot inbyggda system och deras specialitet är utveckling av inbyggda system för stegmotorer.

De har under en tid utvecklat en egen projektplattform (CPP-kort) det går att ansluta så kallade dotterkort. Dotterkorterna kan i sin tur konstrueras för specifika applikationer som bland annat kan vara drivsteg till motorer och i synnerhet stegmotorer. Drivstegskortet kopplas ihop med projektplattformen där en FPGA och CPU finns, för programmering av styrprogram till dotterkorterna. Det blir lättare att konstruera dotterkort till plattformen eftersom de då inte behöver bestyckas med en FPGA eller CPU. Detta examensarbete tar vid genom att konstruera ett drivsteg med kapacitet att driva två stegmotorer och gränssnitt för olika I/O portar till CPP-kortet. I/O-portarna som konstrueras kan användas för att koppla in givare eller andra användbara saker för applikationen som drivsteget används till. En anslutning för en kodskiva för var motor designas in på kortet så att motorstyrningen kan göras mer avancerad.

## 1.2 Syfte och mål

Projektets syfte är att utveckla ett drivstegskort som med hjälp av CPP-kortet kan driva två stegmotorer. Drivsteget kan användas till många olika applikationer. För att göra drivsteget lättanvänt tillsammans med CPP-kortet bestyckas drivsteget med ett antal I/O-portar.

Målet med projektet är att konstruera ett drivstegskort för anslutning till ett CPP-kort.

### **1.3 Problemformulering**

Vid konstruktionen och designen av drivstegskortet kommer följande problem att behandlas:

- Elektronikkonstruktion
- Val av komponenter
- Dokumentation
- Montering, testning och verifiering

### **1.4 Avgränsningar**

Avgränsningar har gjorts i form av att vissa dokument inte kan visas i sin helhet på grund av sekretess. Det är främst dokument som berör konceptspecifikationen och kretsschemat.

Montering, testning och verifiering av drivstegskortet utförs i mån av tid då konstruktionsfasen och val av komponenter är högre prioriterade.

### **1.5 Tekniska hjälpmedel**

Vid konstruerandet av mönsterkort används idag programvara i form av ett CAD-program. Programvaran är uppbyggd för att underlätta konstruktionsarbetet. Designregler kan utformas för att minimera risken att fel begås. Ritning av blockschemat och dokumentation gjordes i ordbehandlingsprogrammet Microsoft Word. Beräkningarna utfördes i Excel, där ett blad per uträkning användes för i efterhand lätt kunna göra nya beräkningar om nya komponenter behöver väljas. Att leta efter komponenter från olika tillverkare används internet för att lättare kunna söka och läsa datablad.

## 2 Metod

Projektet bestod av många olika steg och arbetsmetoder. För att få en klar bild över konstruktionsarbetet ges här en beskrivning av de olika arbetsmetoderna.

### 2.1 Litteraturstudier

För att ens kunna börja med konstruktionen av drivstegskortet måste en klar bild över projektet skapas. Detta görs genom att läsa en konceptspecifikation, som är skriven av Calmon Stegmotorteknik AB. Konceptspecifikationen är ett dokument med olika kriterier för att konstruktionen ska fungera på ett tillfredställande sätt. Kriterier kan vara bland annat mekaniska mått och säkerhetsaspekter. Datablad för drivstegskretsen, Texas Instruments DRV8825 läses [1]. Datablad för komponenter som ska väljas ut läses för att kunna jämföra komponenterna på ett bra sätt. Dokument och böcker hur ett drivsteg och en stegmotor fungerar läses för att förståelsen ska öka så att ett drivsteg kan konstrueras [1] [2].

#### 2.1.1 Källkritik

Valet av källor är främst datablad från tillverkare av olika typer av komponenter. I databladen finns information om hur komponenten används och vilka kriterier som måste uppfyllas för att den ska fungera. Databladen är utgivna av tillverkaren och är pålitliga. Källan som berör stegmotorerna [2], har valts så att läsaren lätt kan läsa mer i ämnet vid intresse. Denna källa är också pålitlig för att den är utgiven av en säljare av motorer och kringutrustning.

### 2.2 Dokumentation

Det är lämpligt att dokumentera konstruktionen under tiden som projektet fortlöper. Dokumentationen är framför allt gjord så att när nästa person som tar över arbetet med projektet lättare ska kunna sätta sig in i hur projektet är gjort. Dokumentationen består av några olika dokument för att få bättre överblick över konstruktionsarbetet. De dokument som ingår i dokumentationen är:

- Blockschema
- Beräkningsdokument
- Datablad

Till en början ritades ett blockschema för att strukturera upp de centrala kretsarna som skulle konstrueras. Blockschemat är ett bra dokument att ha som stöd vid konstruktionsarbetet. Beräkningarna för de olika kretskonstruktionerna dokumenterades. Lämpliga värden på komponenter kunde då väljas med stöd av de gjorda beräkningarna. Det sista dokumentet som skrevs var ett datablad för drivstegskortet där kortets viktiga delar samlades ihop till en enklare beskrivning hur kortet fungerar. Databladet som skrevs kan jämföras med ett datablad över en IC-krets där viktiga delar förklaras mer noggrant. Det finns inställningar som kan göras för att drivstegskortet ska fungera som tänkt vilka nämns i databladet.

## **2.3 Konstruktion**

Konstruktionsarbetet innehåller många olika delmoment:

- Schemaritning
- Design av mönsterkort

Schemaritningen är en viktig del i projektet för att det schema som konstrueras utgör grunden till mönsterkortet. Under tiden som schemat konstrueras och ritas utgör dokumentationen en bra grund. Den skrivna dokumentationen läses under tiden som konstruktionsarbetet fortlöper, för att drivstegskortet ska fungera som det är tänkt.

## 3 Teknisk bakgrund

### 3.1 Stegmotor

Det finns olika typer av stegmotorer. Det som skiljer de olika typerna från varandra är främst uppbyggnaden och hur de styrs för att få rotorn att rotera. Den typ av motor som detta drivsteg är gjort för är främst permanentmagnet motorn och hybridmotorn. Det är bra att känna till att det finns andra typer av stegmotorer. Stegmotorn är inte självstartande när den ansluts till en likspänningskälla. För att kunna styra motorn är det vanligt att använda någon form av CPU eller FPGA för att generera styrsignaler och ha koll på i vilket läge rotorn befinner sig. Genom att magnetisera de olika polerna som statorn består av i en viss sekvens så kommer rotorn stega sig fram med hjälp av detta magnetfält. Det går att räkna ut hur många grader rotorn kommer att vrida sig per steg, genom att beräkna följande:

$$\text{Stegvinkel} = \left( \frac{360}{\text{Antal faser}} \right) (\text{Antal poler i rotorn})$$

Det är intressant att veta vid konstruerandet av styrsystemet för stegmotorn vilken stegvinkel motorn har, eftersom det ska gå att styra stegmotorn med så kallad open loop styrning måste styrsystemet ha koll på hur många grader rotorn har vridit sig. Det kan också uppstå fel, det vill säga att rotorn efter ett steg inte har vridit sig så mycket som stegvinkeln. Felet som uppstår adderas inte på nästa steg. [2]

Det finns tre huvudtyper av stegmotorer variabel permanentmagnet, variabel reluktans och hybrid. De olika typerna förklaras mer ingående var för sig nedan.

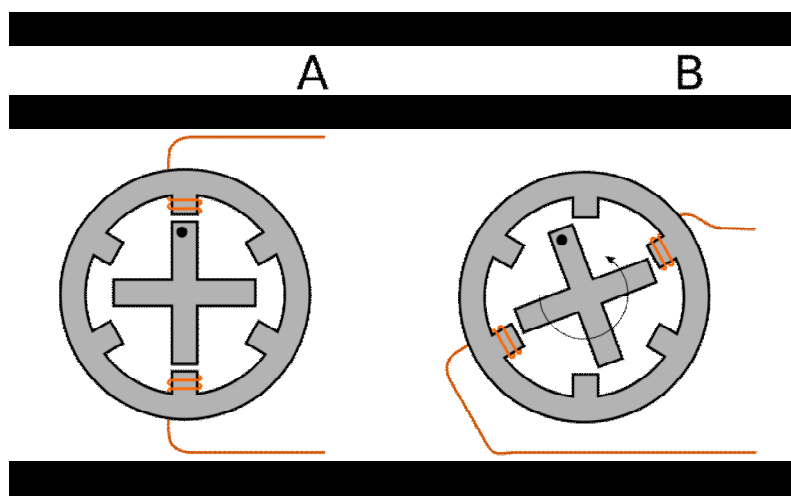
#### 3.1.1 Permanent magnet

Statorn är uppbyggd av två plåtplattor som det har stansats ut tänder som böjs till en form av en cylinder i var cylinder lindas en koppartråd. De två cylindrarna läggs på varandra och bildar en längre cylinder. Tänderna i de två cylindrarna blir magnetiserade när en ström går i lindningen. Rotorn består av en permanentmagnet med utpräglade poler. I denna konstruktion behöver rotorn inte ha några tänder. [2]

### 3.1.2 Variabel reluktans

Statorn består av ett antal så kallade poler där två poler är placerade mitt emot varandra, låt oss kalla två av polerna A och A' som är förskjutna 180 grader, dessa två poler hör ihop med varandra. Runt polerna lindas koppartråd för att bilda en lindning. Rotorn består i sin tur av en järnkärna med ett antal tänder. I denna konstruktion behövs ingen magnet.

När det går ström i lindningarna A och A', roterar rotorn så att närmsta tand får så litet avstånd till A och A' som möjligt. När näst följande två lindningar leder ström vill rotorns närmsta tand istället vilja ha minsta avstånd till dessa poler. Detta medför att rotorn stegar sig fram på detta sätt. Rotorn vill ställa in sig på den position som ger lägst reluktans (magnetiskt motstånd) för magnetfältet från den aktiva lindningen. [2]



Figur 1: Variabel reluktans motor. [12]

### 3.1.3 Hybrid

Statorn består av ett antal poler som är försedda med tänder. Runt dessa poler lindas koppartråd blir en lindning. Tänderna kan antingen agera nord eller sydpol, beroende på strömriktningen i lindningen. Rotorn består av en permanentmagnet med tänder. Motorn kan göras längre genom att fler permanentmagneter används till rotorn.

När ström går genom en av lindningarna uppstår ett magnetfält och rotorns tänder kommer att ställa in sig så att det reluktansen bli så liten som möjligt till statorns tänder. När det går ström genom nästa lindning kommer rotorn tänder istället ställa in sig till denna lindningens tänder. Rotorn kommer dä stega sig fram på detta sätt. [2]



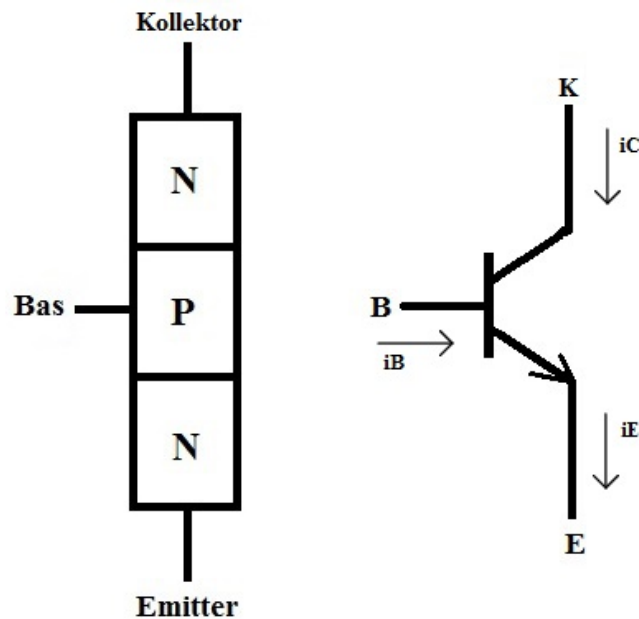


Figur 2: Hybridmotor, till vänster stator med lindningar, till höger rotor med tänder. [13]

## 3.2 Allmänt om transistorn

### 3.2.1 Bipolär transistor

Denna typ av transistor är uppbyggd av ett material som är dopad med två andra material, de kallas för P-dopat och N-dopat. Transistorn kan antingen vara dopad enligt NPN eller PNP. En transistor har tre ben som kallas för bas, emitter och kollektor.



Figur 3: Illustrerande bild över NPN-dopad transistor och symbol för NPN-dopad bipolär transistor.

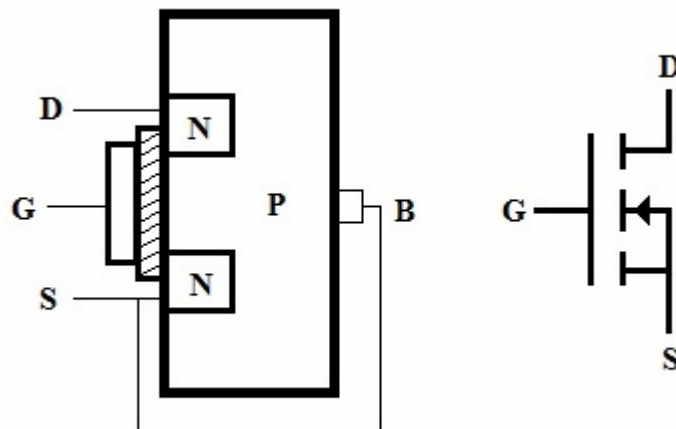
NPN transistorn styrs med strömmen som går genom basen till emittern,  $i_B$ . Strömmen som går genom kollektorn till emittern kallas för  $i_C$  som förstärks med  $\beta$ , där  $\beta$  är varierar för transistor till transistor.

Typiska värden för  $\beta$  kring 200.

Strömmen som går ut genom emittern blir således  $i_E = i_C + i_B$ . [6]

### 3.2.2 MOSFET

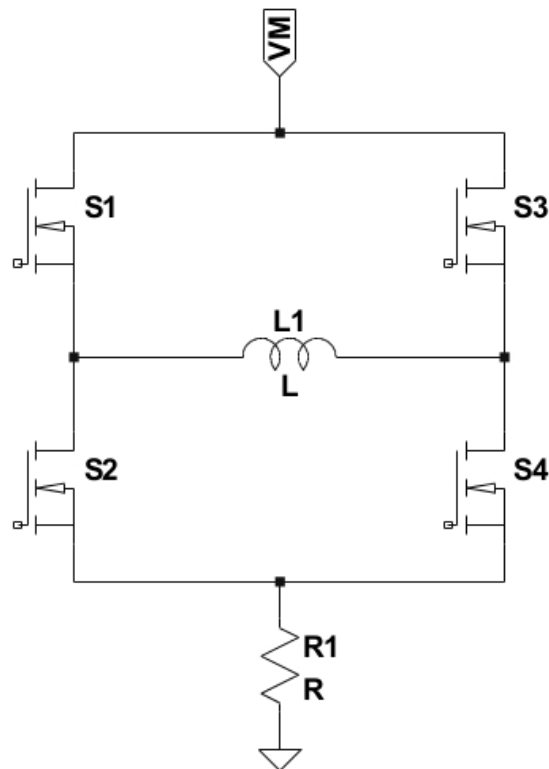
Detta är en transistor som skiljer sig i uppbyggnad mot den bipolära transistorn. I denna typ av transistor finns också dopade områden, ovan på dem finns ett tunt oxidlager och på den finns ett metallager. Där av namnet MOSFET, metal-oxide-semiconductor field effect transistor. Här kallas benen istället för gate, drain, source och body som är kopplat till source. Pinnen gate är anslutet till metallaget. Transistorn styrs med en spänning över gate och source, som leder till att en kanal "öppnas" mellan source och drain och transistorn börjar leda ström. För att "öppna" denna kanal krävs en minsta spänning som kallas för  $V_{TH}$  omkring 2–4 V. [6]



Figur 4: Illustrerande bild, MOSFET och symbol.

### 3.3 Allmänt om drivsteg

Förklaringen i punkt 3.1 beskriver hur stegmotorn är uppbyggd och att det finns olika typer av stegmotorer. Principen för alla stegmotorer är densamma. Det vill säga att rotorn tar ett steg på grund av att en ström styrs ut genom motorns lindningar. För att rotorn ska kunna stega fram behöver ett drivsteg konstrueras. Drivsteget gör så att spänningen över lindningarna styrs ut i en viss ordning och ett roterande magnetfält uppstår. Drivsteget drivs av en likspänning som via sina transistorer ansluter lindningarna vid olika tidpunkter för att rotorn ska stega fram med en bestämd hastighet. Även när rotorn står still kommer drivsteget att styra ut ström genom lindningarna i statorn. En enkel drivning av en lindning i stegmotorn består av en H-brygga där transistorerna switchar för att styra ut rätt ström genom lindningen. Frekvensen som drivstegets transistorer arbetar med har inget med hur fort rotorn snurrar.



Figur 5: Illustrerande bild över H-brygga, där S1–S4 är transistorer.

Styrningen av transistorerna i H-bryggan görs via en styrenhet för att transistorerna ska slås på och av vid rätt tillfällen. För att kunna driva en stegmotor av typen hybrid med två faser krävs en H-brygga per faslindning. Drivsteget kan i denna konstruktion styra ut spänningar till de två lindningarna samtidigt, detta medför att rotorn kan ta så kallade mikrostep. Ett mikrostep är delar av ett helt steg som drivsteget kan styra ut när ett steg är för stort. Motorn kommer även att gå lite mjukare när mikrostep används. Mikrostepen är oftast på formen  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$ .

### 3.4 Texas Instruments DRV8825

Drivstegskrets från Texas Instruments DRV8825. Kretsen är gjord för att driva permanentmagnet och hybridstegmotorer med en spänning på upp till 45 Volt och en ström på maximalt 2,5 Ampere. Strömmen går att ställa in via en analog signal i ett intervall, 0–3 Volt över VREFx. Strömmen som går i lindningarna kan beräknas genom följande formel:

$I_{Chop}$  = 100% av strömmen vid en switch.

$V_{REFX}$  = spänningen över  $VREFx$ .

$R_{ISENSE}$  = ett effektmotstånd som gör så att DRV8825 kretsen kan känna av vilken ström som går genom en motorlindning.

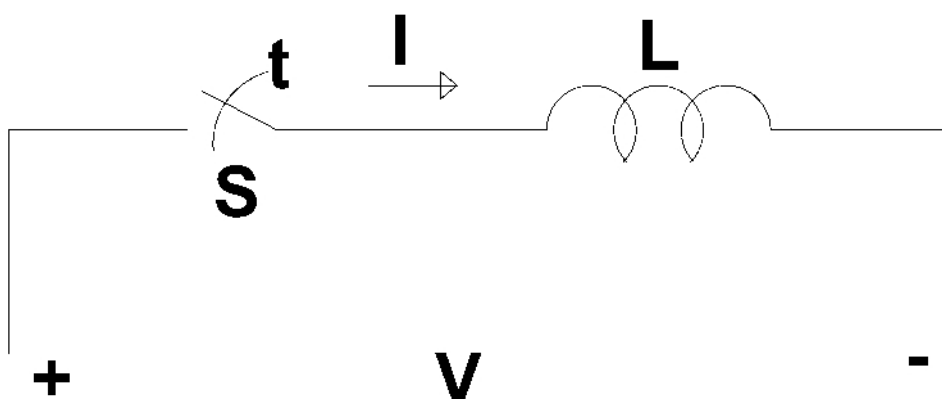
$$I_{chop} = \frac{V_{REFX}}{5R_{ISENSE}} \quad [1]$$

Förutom två H-bryggor, en för var lindning i stegmotorn, innehåller kretsen även några inställningssignaler. Det finns ett eget register i drivstegskretsen som bestämmer hur mycket ström som ska gå i varje lindning vid en viss elektrisk vinkel. Detta underlättar konstruktionsarbetet då styrningen av transistorerna i H-bryggorna redan är gjord. Inställningssignalerna är bland annat dir, step, microstep och reset.

Tre olika lägen för decay går att ställa in. De tre olika lägena för decay är långsam, blandad och snabb på engelska slow, mix och fast decay.

Decay-lägena skapar en väg för den lagrade energin som uppstår i lindningen när ström går genom den. När de transistorpar som har tillfört energi i lindningen slås av går det ingen ström genom transistorerna men det finns fortfarande energi kvar i lindningen. När de två transistorerna slås av blir strömderivatan  $di/dt$  väldigt stor. Vilket kan visas genom detta samband:

I en lindning med induktansen  $L$  går det en ström  $I$ , strömmen bryts vid tiden  $t$ .

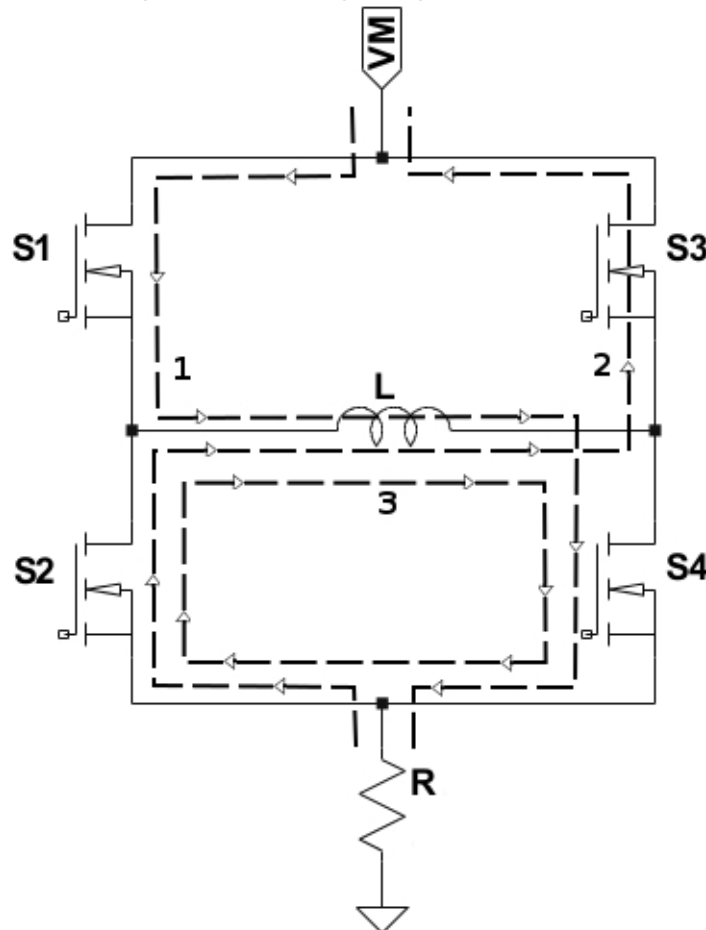


Figur 6: Brytare kopplat till en lindning.

När strömmen bryts vid tiden  $t$  blir sambandet: [8]

$$v(t) = L \frac{di}{dt}$$

Om tiden  $t$  är väldigt kort, blir strömderivatan stor vilket medför att spänningen över lindningen blir väldigt hög som kan förstöra brytaren.



Figur 7: Bilden visar vilken väg strömmen tar vid de tre olika inställningarna för decay.

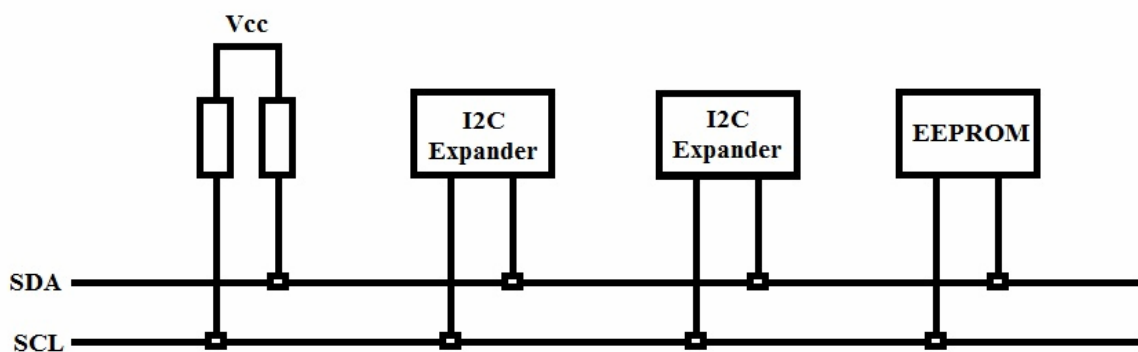
Efter utstyrningen av strömmen enligt riktning 1, kommer drivsteget att använda sig av den valda inställningen för decay.

- Väljs fast decay går strömmen enligt nummer 2.
- Väljs slow decay går strömmen enligt nummer 3.
- Mixed decay fås genom att drivsteget ser till att använda sig både fast och slow decay under vissa tidsintervall. [1]

Övriga signaler är fault och home, där fault ger en signal vid överström och övertemperatur. Home ger en signal varje gång det interna registret befinner sig på första positionen. Home signalen kan användas för att få en uppskattning hur fort motorn roterat eller hur många varv motorn roterat.

### 3.5 I2C

En kommunikationsbuss för att enkelt kunna kommunicera med olika IC-kretsar som finns på kortet. "Inter IC" heter bussen om namnet skrivs ut, men har istället fått förkortningen I2C. I2C är utvecklat av Philips numera NXP, under 1980-talet. De två signalerna SDA, SCL använder bussen för att kommunicera. SDA är signalen för att skicka serielldata. SCL är en klocksignal. Både SDA och SCL är bidirektionella signaler som styrs av en så kallad master. Det är mastern som sänder ut klockpuls. Mastern kan i sin tur adressera de anslutna slavar för att läsa av information från dem. All data som skickas på bussen skickas med åtta bitar och avslutas med ett acknowledge. [2]



Figur 8: Illustrerande bild över I2C bussen.

### 3.6 Design i CAD

I ett blockschema delas konstruktionen upp i olika block, vilket ger mer struktur och överblick över konstruktionsarbetet. Kretsarna som blocken beskriver kan vara en spänningsdelning (vanligt med två komponenter) eller innehålla fler komponenter än så. Blockschemat är också användbart att ha som grund när konstruktionsfasen inleds, det blir lättare att veta vilken typ av krets som ska konstrueras.

För att konstruktionen ska bli så bra som möjligt behöver komponenter väljas. Komponenterna som väljs förs in i biblioteket över komponenter i CAD-programmet. När en komponent har lagrats i biblioteket går det att använda den i schemat. Komponenterna som finns i biblioteket har sedvanliga

symboler. I biblioteket brukar Calmon också lägga in fysiska mått (kåp-typ), samt viktiga egenskaper för till exempel motstånd läggs resistans, effekttålighet, spänningstålighet och tolerans in för komponenten. Ett val av en komponent består av många olika steg men de vanligaste valen som görs är vilken typ av komponent som ska väljas och storleksordningen det vill säga, hur många Ohm ett motstånd ska ha i konstruktionen.

När konstruktionen av kretsschemat är gjord överförs detta till nästa del i CAD-programmet. I CAD-programmet kan design av mönsterkortet göras. Design av mönsterkort innebär att komponenter placeras ut på en i förväg bestämd yta och routing av signaler görs.

### **3.7 Mönsterkort**

#### **3.7.1 Vad är mönsterkort**

Ett mönsterkort designas för att komponenter ska kunna lödas fast. Här ges en kort beskrivning hur mönsterkort är uppbyggda.

#### **3.7.2 Lager**

Ett mönsterkort består i regel av flera lager, för att få plats med fler komponenter på en mindre yta. Ett lager kan användas till antingen spänningsplan, jordplan eller routing av signaler.

#### **Spänningsplan**

Planet kan delas upp i godtyckliga ytor som täcks med koppar. Ytorna kan ses som en ledare med en viss spänning. Spänningsplanen är tänkt att förse de olika komponenterna på mönsterkortet med rätt spänning. Dessa ytor designas så att de komponenterna som behöver till exempel en viss matningsspänning har tillgång till rätt yta.

#### **Jordplan**

Ett lager som täcks med koppar. Många komponenter kortet behöver ha tillgång till jord.

#### **Lager för Routing**

Ett lager där ledare kan dras mellan de olika kretsarna på mönsterkortet. Två olika ledare har inte kontakt med varandra. Om det inte är allt för många signaler på kortet kan två lager räcka till routing.

#### **3.7.3 Routingstrategier**

Efter placerandet av alla komponenter som valts och ritats in i schemat måste routing göras. Detta kan enkelt beskrivas genom att signalerna får en ledning



de kan transporteras i från punkt a till b. Ofta går det inte att placera komponenter så att de går ”rakt” från kontaktdon till komponent och vidare, utan de korsas på vägen. Om routing skulle ske på endast ett lager skulle detta medföra att kortet skulle bli mycket större än det borde vara och att väldigt underliga signalvägar skulle uppstå. Därför är det till fördel att åtminstone utföra routing på minst två lager av mönsterkortet.

### **X-led och Y-led**

Korsande signaler kan hanteras genom att på ett lager sker routing i X-led och på ett annat lager i Y-led. Problemet med korsande signaler blir mycket mindre och routingen blir mycket enklare.

### **Via**

Det är ett litet hål med koppar som ger kontakt mellan de olika planen. Dessa är till för att kunna koppla ihop olika lager med varandra. Viorna underlättar routing av signalerna när två signaler korsar varandra eller när en signal från en komponent ska ha kontakt med spänningsplan eller jordplan.



## 4 Drivstegskortets struktur

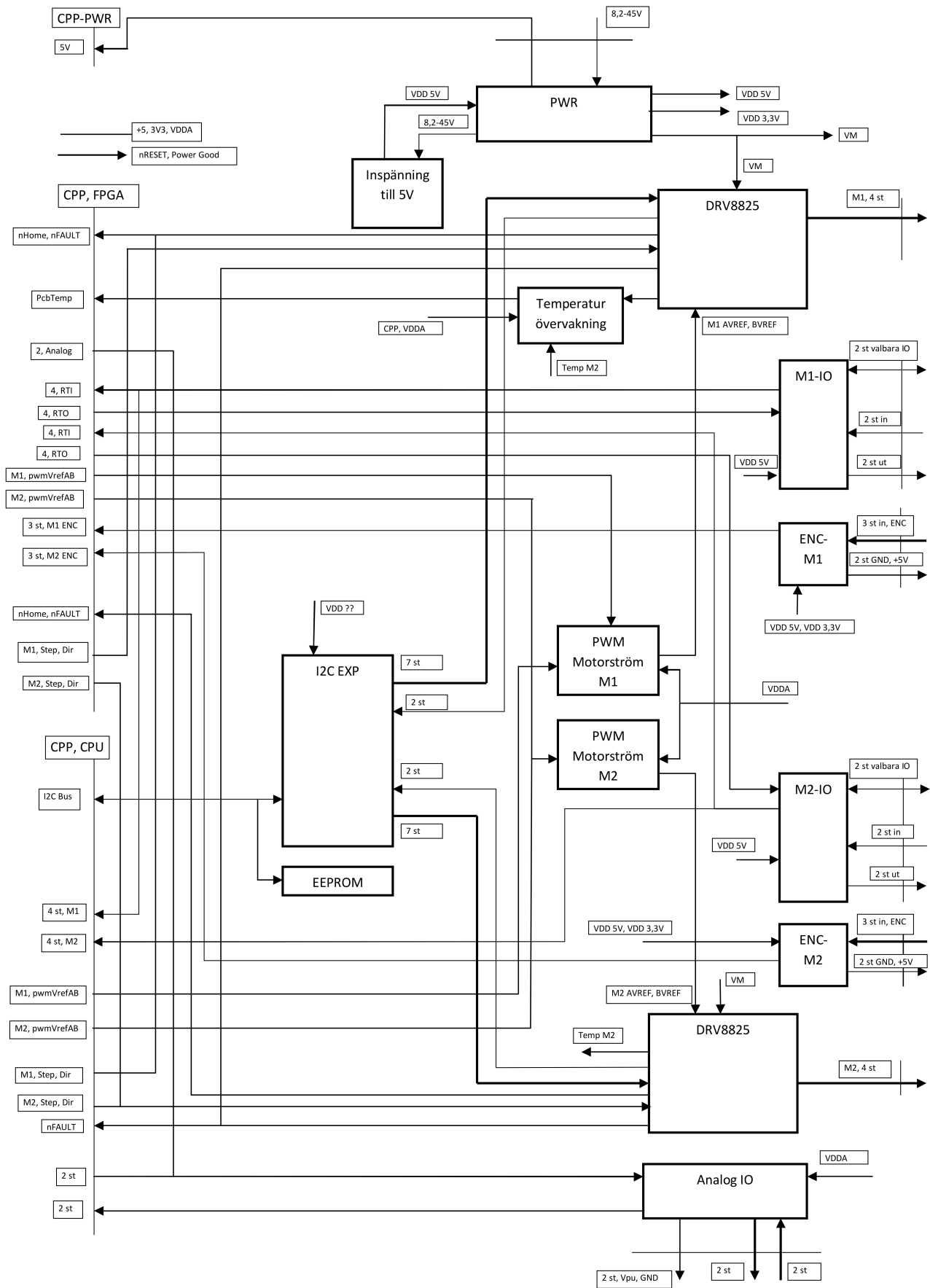
Blockschemat ritades i programmet Microsoft Word. inläring av ett mer lämpligt CAD-program skulle ta onödig tid från de centrala delarna av projektet. Blocken som i förväg var valda, ritades ut i form av en rektangel med ett enkelt namn. Namnet som blocket får beskriver i stora drag funktionen. Namn kan vara DRV8825 som betyder att det är drivstegskretsen och dess kringkomponenter som blocket syftar på. När de block som redan var valda har ritats ut är nästa steg att komma på vilka fler block som behövs för att få drivsteget att fungera som tänkt.

Signaler till och från de olika blocken ritades också ut med en pil med riktning. En pil kan representera en signal eller flera signaler beroende på om den är tunn eller fet. Pilen får ett namn som beskriver vilken typ av signal det handlar om. Signalerna till drivstegskortet till från CPP-kortet delades upp i fyra kategorier, CPP FPGA, CPP CPU, CPP CPU-FPGA och CPP. Många signaler är parallellkopplade och går att styra från både CPU eller FPGA som CPP-kortet är bestyckat med. Vissa signaler kan bara styras från antingen CPU:n eller FPGA:n. Finessen med parallellkopplade signaler till kontaktdonet mellan CPP-kortet och drivstegskortet är att det går att använda drivstegskortet även om CPP-kortet delbestyckas. Det vill säga om ett CPP-kort skulle bestyckas utan till exempel en FPGA.

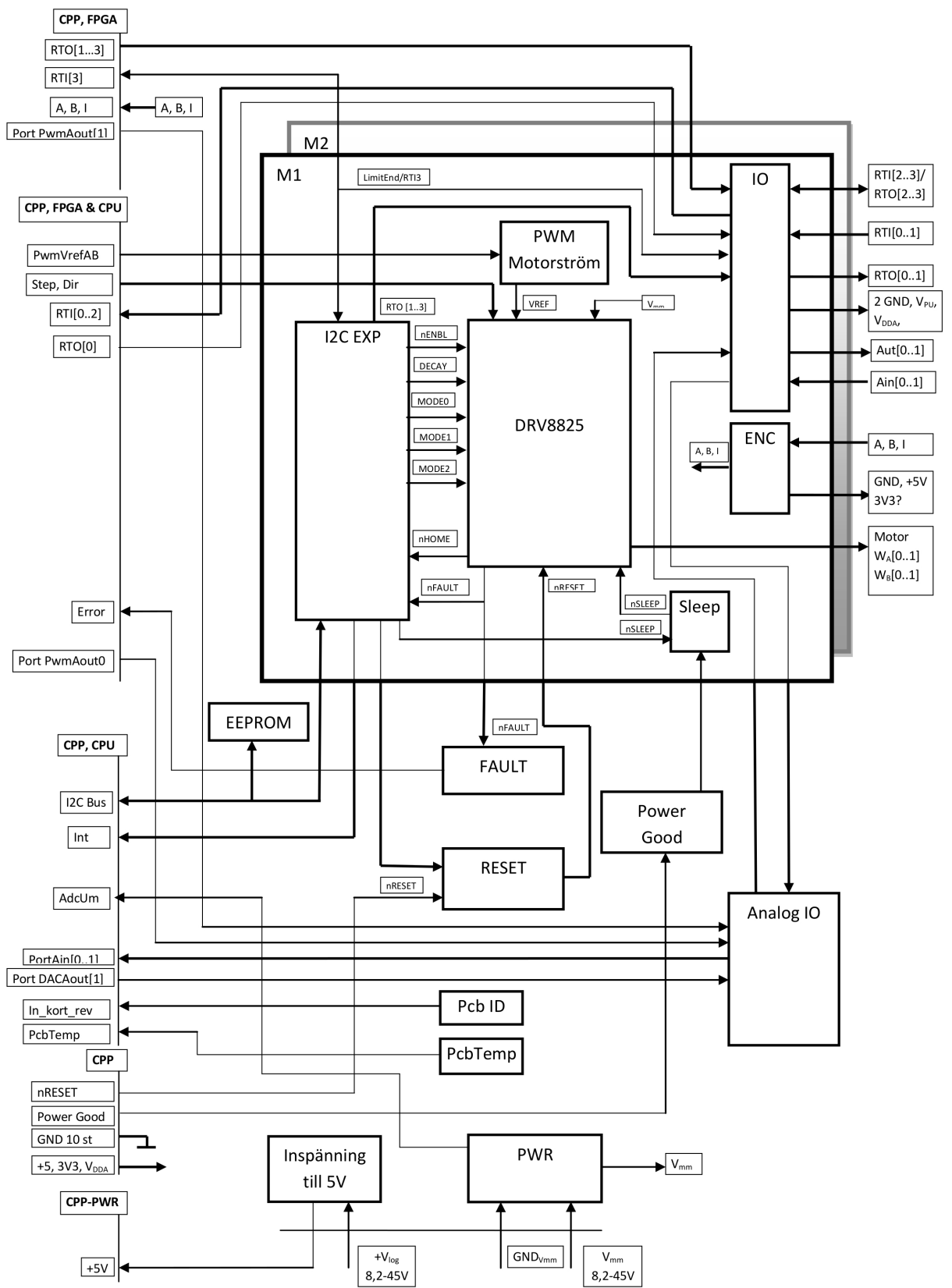
Struktur på blockschemat är viktig för läsbarhetens skull. Schemat delades upp i tre delar för att få ett enkelt och läsbart schema. Uppdelningen såg till en början ut på följande sätt.

- Del 1: Motor 1 med tillhörande I/O
- Del 2: Motor 2 med tillhörande I/O
- Del 3: Övriga och gemensamma block för motor 1 och 2

När denna uppdelning gjordes blev läsbarheten bättre men det var fortfarande många pilar som korsade varandra och det blev snabbt ont om plats för fler gemensamma block. Del 1 och 2 innehåller många likheter och en ny uppdelning gjordes. Den nya uppdelningen gjordes genom att slå ihop del 1 och 2 till ett block. Ett stort block innehållande de block som är lika för de två motorerna erhöles då. För att visa att det var två stora block ritades de som två block ovanpå varandra. Detta gjordes efter att ha upptäckt att det snabbt blev ohållbart att rita snarlika block mer än en gång. Efter uppdelningarna blev läsbarheten av blockschemat mycket bättre.



Figur 9: Blockschema efter första uppdelningen.



Figur 10: Blockschema efter andra uppdelningen.

## 4.1 I/O portar

Portarnas funktion är att koppla in olika kretsar till I/O porten. Det är av intresse att kunna läsa och skriva till inkopplade kretsar via I/O portarna. Det som kopplas in på dessa portar är upp till användaren av kortet. Vid programmerandet av CPP-kortet bestäms det vilken funktion de olika signalerna på I/O portarna får.

Ett block som är döpt till ENC möjliggör anslutning av en kodskiva till var motor. En kodskiva är en givare som kan anslutas till en motor för att återkoppla motorns position. När en kodskiva ansluts vid en av dessa portar så kan dess information läsas av och användas i styrprogrammet för motorn. Det går att styra motorn även om ingen kodskiva ansluts.

## 4.2 I2C-Expander

Detta är en komponent som kan expandera I/O-signaler på kortet om de inte kan tilldelas en egen pinne vid anslutningen mellan CPP-kortet och dotterkortet. Det kan till exempel vara inställningssignaler till drivstegskretsarna som endast används ibland. För att få tillgång till dessa signaler används I2C bussen och I2C-Expandern som i sin tur kommunicerar med de inkopplade kretsarna. På drivstegskortet användes två I2C-Expander, dessa har i sin tur var sin adress. För att kommunicera med drivstegskretsarna måste alltså rätt I2C-Expander användas. [4]

## 4.3 Övriga block

En förklaring av de övriga blocken som inte har fått en egen rubrik görs här. Blocken är till för att kunna använda drivstegskortet på ett så bra sätt som möjligt.

**EEPROM** (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) finns för att lagra inställningsvärden och identifiering av drivstegskortet. Det blir mycket lättare att starta upp drivsteget om ett minne finns och alla inställningsvärden för till exempel de två I2C-Expander som finns på kortet redan finns lagrat i minnet.

**Fault-kretsen** läser av nFault-signalen från drivstegskretsarna och skickar en signal till CPP-kortet vid fel. Ett fel kan vara att en drivstegskrets är för varm eller att för mycket ström går genom den. Felen är beskrivna i sin helhet under avsnittet DRV8825.

**Reset-kretsen** ser till att drivstegen sätts i ett reset läge, alltså att det interna indexet och inställningslägena sätts till ursprungligt läge. Indexet sätts till

hemposition alltså överst i listan. Kretsen bygger på att det går att göra reset från antingen CPP-kortet eller I2C-Expander. När CPP-kortet sänder ut en resetsignal kommer båda drivstegen försättas i reset. När I2C-Expander sänder ut resetsignal kommer bara den drivstegskrets som hör till den försättas i reset. Detta är bra om det behöver göras reset på en specifik drivstegskrets istället för att försätta båda drivstegskretsarna i reset samtidigt.

Kretsen reset är uppbyggd så att både I2C-Expandern och CPP-kortet kan göra reset på drivstegskretsarna. Om reset sker via CPP-kortet kommer det göras en reset på båda drivstegskretsarna, om I2C-Expandern istället bli reset på det drivsteg som kommunicerar den aktuella I2C-Expandern.

**Power Good** kretsen ser till att drivstegskretsarna inte kan sättas igång förrän detta är säkert att göra. Med säkert menas att rätt spänning finns och att CPP-kortet har blivit klar med sin uppstart. Kretsen är även uppbyggd så att den aldrig kan ge en falsk signal.

**PCB ID** är en krets som ger en viss spänning som läses av från CPP-kortet. Denna spänning kan CPP-kortet behandla för att ta reda på vad det är för kort som det har att göra med.

**PCB Temp** är en koppling som känner av hur varmt mönsterkortet är vid drivstegskretsarna. Här används två NTC motstånd som är parallellkopplade i en spänningsdelare, vilket medför att det inte blir ett exakt värde på temperaturen. En form av medelvärde med viktning på det motstånd som är varmast är resultatet från denna krets.

**PWR och Inspänning till 5 V** är helt enkelt kontaktdonet där inkoppling av matningsspänningen till drivstegskortet sker. En switchad DC-DC omvandlare finns på kortet för 5 Volt som förser CPP-kortet med dess matningsspänning. Det är en bra lösning för att bara en anslutning för matningsspänning behövs för att förse de två korten med spänning. Drivstegen klarar av att driva stegmotorerna i ett stort spänningsintervall och för att klara detta var en switchad DC-DC omvandlare ett bra val för detta ändamål.





## 5 Tillvägagångssätt vid konstruktion

Schemaritningen innehåller många olika moment. Nedan förklaras de viktigaste momenten och hur arbetet går till. Schemaritningen görs i programmet Cadstar. Schemat är till för att lätt få en bild över konstruktionen och de ingående komponenterna. När ett bra schema över konstruktionen finns går det lätt att ändra och byta ut komponenter vid behov. Konstruktionsarbetet blir också mycket lättare att genomföra när ett schema som är lättläst ritas från början. Sedvanliga symboler för de vanliga komponenterna så som en transistor används vid schemaritningen. För att schemat ska bli lättläst används olika blad till de olika delarna som finns på drivstegskortet. Olika delar kan bestå av kretsar som berör en motor eller de olika I/O-portarna. Om denna uppdelning inte skulle ha gjorts blir schemat svårsläst och konstruktionsarbetet blir svårare. Under ritandet av signaler och dess väg är det att föredra om signalerna från ett annat blad ritas från vänster med riktning åt höger vice versa. Om schemat är ritat på detta sätt så underlättar det läsningen avsevärt. Undantag kan dock finnas från detta sätt att rita. På detta kort finns många signaler från kontaktdonet till CPP-kortet, så schemat är ritat på så sätt att signalerna till och från bladen som har att göra med CPP-kortet har riktning från vänster till höger. Signaler som går ut till kontaktdon ritas från vänster till höger. Denna metod valdes för att ha överblick över de olika signalerna som fanns på kortet. För att veta vilken riktning signalen har ritades en pil ut i "änden" av signalen på bladet. Många signaler var parallellkopplade så att samma signal hade två pinnar på kontaktdonet. Detta kan skapa förvirring när signalerna ska namngivas och för att undvika detta sattes ett attribut i form av FPGA, CPU eller en kombination av dessa. Det var för att veta signalens ursprung och lätt kunna härleda den till rätt anslutningspunkt.

### 5.1.1 Cadstar

Cadstar är ett program som är utvecklat för konstruktion av mönsterkort. Programmet är uppbyggt i tre huvuddelar schema, bibliotek och PCB-editor. Vid ritande av ett schema används så kallade komponenter, där en symbol för hur komponenten ska se ut i schemat finns och en symbol hur den ser ut på mönsterkortet. En komponent kan vara ett motstånd, kondensator eller en IC-krets. Eftersom det finns många olika storlekar och utseenden på de elektriska komponenterna ser de olika ut på mönsterkortet men kan ha samma symbol i schemat, ty en kondensator, finns i många olika storlekar men en symbol. Så ser det ut för de flesta andra komponenter, en symbol i schemat och en eller flera symboler för mönsterkortet. För att koppla ihop schema symbolen med mönsterkortssymbolen finns det ett bibliotek med delar som gör denna ihopkoppling. Den sista huvuddelen i Cadstar är PCB-editorn, där placeras komponenterna ut på mönsterkortet och spänningsplan ritas ut.

## 5.2 Elektronikkonstruktion

Konstruktionsarbetet görs genom att anpassa olika komponenter med varandra så att de tillsammans bidrar till den tänkta funktionaliteten. Mycket av arbetet sker genom att dela upp konstruktionsarbetet i mindre delar. Om en I/O port ska konstrueras skissas de komponenter som ska användas.

Komponentvärdena beräknas och väljs ut efter de krav som ställs på komponenterna. De valda komponenterna ritas sedan ut i schemat med rätt placering. Aktivt val av komponenter krävs för att konstruktionen ska bli så bra som möjligt. Ett val kan vara allt från ett motstånd till ett filter till en CPU. Beräkningarna för komponentvärdena görs efter de givna reglerna för att beräkna spänningar, strömmar och effekter. För att leta efter en komponent som uppfyller de krav som ställs läses datablad.

## 5.3 Datablad

Att läsa ett datablad på rätt sätt är viktigt för att kunna förstå hur komponenten används på korrekt sätt. Mycket tid av konstruktionsarbetet sker genom att läsa och förstå datablad över olika tänkta komponenter till konstruktionen. Eftersom mycket tid läggs på just databladerna är det till stor vikt att kunna tolka dem rätt, för att göra en korrekt konstruktion.

Det räcker inte alltid att läsa enbart första sidan av ett datablad. Informationen på första sidan är mer till för att bilda en uppfattning om vad komponenten kan användas till och ger några exempel på tillämpningar. Alla komponenter kan inte användas till den tänkta konstruktionen på grund av att det finns begränsningar. För att hitta dessa begränsningar krävs noggrannare granskning av databladet.

Avsnittet absolute maximum ratings är viktigt att läsa för att inte förstöra komponenten och att den kan användas i konstruktionen.

Electrical characteristics är en viktig del att granska, här finns information om pinnars spänningsnivåer, tidsangivelser för omslagsnivåer, läckströmmar, kapacitanser. Omslagsnivåer är spänningar ut och in från en viss pinne, minsta inspänning för att det verkligen ska bli en etta in på en viss pinne och maximal inspänning för att verkligen få en nolla in på en viss pinne. Det är viktigt att dimensionera sina kretsar efter angivna värden för läckströmmar, för att verkligen få en etta eller nolla över en viss pinne. Läckströmmen kan annars lätt förvränga signalen till en nolla eller etta. Kapacitanser för vissa pinnar på IC-kretsar kan göra så att signalen inte blir så snabb som väntat. En serie resistans blir med den kapacitansen ett första ordningens RC-filter med en given tidskonstant, vilket kan medföra att signalen inte går att använda vid de frekvenser som det är tänkt.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

over operating free-air temperature range of -40°C to 85°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
<b>POWER SUPPLIES</b>						
$I_{VM}$	VM operating supply current	$V_M = 24\text{ V}$		5	8	mA
$I_{VMQ}$	VM sleep mode supply current	$V_M = 24\text{ V}$		10	20	$\mu\text{A}$
$V_{UVLO}$	VM undervoltage lockout voltage	$V_M$ rising		7.8	8.2	V
<b>V3P3OUT REGULATOR</b>						
$V_{3P3}$	V3P3OUT voltage	$I_{OUT} = 0\text{ to }1\text{ mA}$	3.2	3.3	3.4	V
<b>LOGIC-LEVEL INPUTS</b>						
$V_{IL}$	Input low voltage			0.6	0.7	V
$V_{IH}$	Input high voltage		2.2		5.25	V
$V_{HYS}$	Input hysteresis		0.3	0.45	0.6	V
$I_{IL}$	Input low current	$V_{IN} = 0$	-20		20	$\mu\text{A}$
$I_{IH}$	Input high current	$V_{IN} = 3.3\text{ V}$			100	$\mu\text{A}$
$R_{PD}$	Internal pulldown resistance			100		k $\Omega$
<b>nHOME, nFAULT OUTPUTS (OPEN-DRAIN OUTPUTS)</b>						
$V_{OL}$	Output low voltage	$I_O = 5\text{ mA}$			0.5	V
$I_{OH}$	Output high leakage current	$V_O = 3.3\text{ V}$			1	$\mu\text{A}$
<b>DECAY INPUT</b>						
$V_{IL}$	Input low threshold voltage	For slow decay mode			0.8	V
$V_{IH}$	Input high threshold voltage	For fast decay mode	2			V
$I_{IN}$	Input current				$\pm 40$	$\mu\text{A}$
$R_{PU}$	Internal pullup resistance (up to 3.3 V)			130		k $\Omega$
$R_{PD}$	Internal pulldown resistance			80		k $\Omega$

Figur 11: Utklipp från datablad DRV8825, typisk utformning. [1]

### 5.3.1 Viktiga parametrar

Under konstruktionsarbetet uppstår vissa problem som behöver lösas. För att lösa problemen läses databladet för berörda kretsar. Det som måste utläsas ur databladet för att få en komponent att fungera är:

- Vilken spänning krävs för att ingången ska tolkas som en etta respektive en nolla ( $V_{IH}$ ,  $V_{IL}$ ).
- Vilken är den lägsta utspänningen vid digital etta ( $V_{OH}$ ).
- Vilken är den högsta utspänningen vid digital nolla ( $V_{OL}$ ).
- Läckströmmar vid en etta respektive nolla.

Dessa parametrar måste man ha bra överblick över för att inte en nolla ska tolkas som en etta vice versa. Om en krets innehåller olika typer av komponenter så måste dessa nivåer beräknas så att de kan användas tillsammans. Det går att anpassa olika komponenter till varandra genom att till exempel beräkna en spänningsdelning.

## 5.4 Val av komponenter

Val av komponenter är en stor del av konstruktionsarbetet tillvägagångssättet är snarlikt oberoende vilken typ av komponent som väljs. Utbudet på komponenter är väldigt stort, eftersom det finns många tillverkare. För att välja en bra komponent är det bra att ha ett eller flera krav som komponenten bör uppfylla innan sökandet hos de olika tillverkarna sätter igång. Krav som en komponent bör uppfylla kan vara många olika.

Vanligt är:

- Storlek på kåpa
- Storleksordning på komponentvärde, såsom resistans, kapacitans
- Tolerans
- Spänningstålighet
- Effekttålighet

När dessa krav är utredda för komponenten som ska väljas blir det lättare att söka bland återförsäljarna. Vid en sökning på tillverkarnas hemsidor går det att välja ut de krav som ska uppfyllas. I sökresultatet kan fortfarande allt för många komponenter som uppfyller kraven finnas med i resultatet. Nya ansatser för att minska antalet komponenter kan vara bland annat pris och nischa sökningen genom att ta bort allt för bra och mindre bra komponenter. En för bra komponent i sökresultatet kan till exempel tåla mer spänning än vad den behöver göra. När antalet komponenter är hanterbart börjar läsning av datablad för att jämföra komponenterna med varandra. Bra val av komponenter är ofta de som är inkapslade i populära kåpor och tillhandahålls från flera tillverkare. Det går även spå om kåporna kommer att finnas kvar i ett längre perspektiv. Det krävs vana att försöka förutsäga att en kåpa finns kvar i ett längre perspektiv. Detta görs för att komponenter inte har oändlig livslängd och ett byte av en kåpa av en komponent är inte möjligt att göra på ett tillverkat mönsterkort. Med ansatserna ovan kan ett bra val av komponenter göras. I följande kapitel finns en utförligare beskrivning för de vanligaste komponenter som används.

#### 5.4.1 Välja motstånd

Det finns olika typer av motstånd att välja bland. Tillverknings sättet de är gjorda på, material, spänningstålighet, effektålighet osv. Ett motstånd är uppbyggt av flera olika material för att få rätt resistans. I tillverkningsprocessen blir det lite avvikelser mellan tillverkningarna av motstånd. När motstånd på 1 kohm tillvärkas kan vissa motstånd istället bli till exempel 1,1 kohm. Detta kallas för tolerans och i de flesta fallen tas denna tolerans hänsyn till under konstruktionsfasen. Om toleransen för ett visst motstånd är för stor väljs istället ett med mindre tolerans. Materialet som motståndet är uppbyggt av är temperaturkänsligt vilket medför att resistansen ändras med temperaturen. I databladet för motstånd så anges detta som "temperaturkoefficienten", denna anges i ppm/K, flertalet motstånd i denna konstruktion är specificerade för en temperaturkoefficient som är mindre än  $\pm 100$  ppm/K vilket är en vanligen förekommande temperaturkoefficient för motstånd. Beroende på vad motståndet används till så kan hänsyn behöva tas till detta eller inte. Om motståndet till exempel används i en noggrann spänningsdelare så behöver hänsyn tas till både tolerans och temperaturkoefficient.

#### 5.4.2 Välja kondensator

Det finns två huvudtyper av kondensatorer som används på detta kretskort, den första är keramiska kondensatorer och den andra är elektrolytkondensatorer. Det skiljer en hel del mellan dessa två typer av kondensatorer. Det är bäst att behandla dem som två olika komponenter.

##### 5.4.2.1 Keramisk kondensator

Denna typ av kondensator är förhållandevis liten och är uppbyggd. Det som talar för en sådan kondensator är storleken och att de finns i en mängd olika kapacitanser och storlekar. Dock är den inte lämpad vid användning med lite högre spänningar än matningsspänningar till IC-kretsar eftersom de inte är bra på att behålla sin kapacitans när högre spänningar finns över kondensatorn. Även en inre resistans finns i kondensatorn, ESR (Equal Serie Resistans). Denna serie resistans kan påverka spänningsnivåer om de används till filter för rippelspänningar.

##### 5.4.2.2 Elektrolytkondensator

Denna typ av kondensator hanterar rippelströmmar och avkoppling till IC-kretsar med större inspänningar bättre än en keramisk kondensator. Kondensatorn behåller sin kapacitans mycket bättre än en keramisk kondensator när den är ansluten till spänning. En sak som är viktigt att ta hänsyn till är ESR, som är mycket större än i en keramisk kondensator. Om en elektrolytkondensator används i en konstruktion görs beräkningar som tar

hänsyn till parametrarna som gör att kondensatorn inte är ideal. De vanligaste parametrarna att dimensionera konstruktionen vid användandet av en elektrolytkondensator är följande:

### **Omgivningstemperatur och livslängd**

Elektrolytkondensatorn har en begränsad livslängd som beror på hur många timmar kondensatorn har varit i drift i förhållande till omgivningstemperaturen. När en elektrolytkondensator väljs ut är det bra att reda ut hur länge kondensatorn kommer kunna vara i drift innan den behöver bytas ut. Det är vanligt förekommande att livslängden ges i timmar vid en viss temperatur. Detta skrivs på följande sätt: 105°C 2000h. 2000 timmar är cirka 83 dygn, vilket kan vara en alldeles för kort tid för hela mönsterkortets livslängd. Fördelen med detta sättet att definiera livslängden så här är att den går att räkna om för att bättre passa den faktiska omgivningstemperaturen. Då kan en kondensator som håller i 2000h istället hålla mycket längre om den används vid en lägre omgivningstemperatur. [5] Det går att uppskatta livslängden för en elektrolytkondensator "" genom att utföra följande beräkning:

$L_x$  är den uppskattad livslängd i timmar som kondensatorn har vid användning i temperaturen  $T_x$ .

$L_0$  är den garanterade livslängd i timmar vid användning vid maximaltemperatur, anges i datablad.

$T_0$  är maximal användningstemperatur, anges i datablad.

$T_x$  är vid den omgivningstemperatur som kondensatorn används. [7]

$$L_x = L_0 \times 10^{\frac{T_0 - T_x}{20}}$$

### **ESR och ESL**

En kondensator är ingen ideal komponent som går att använda utan att ta hänsyn till den Ekvivalenta Serie Resistans (ESR) och den Ekvivalenta serieinduktans (ESL). ESR och ESL finns i kondensatorn på grund av dess uppbyggnad. En kondensator består av en tunn metallfilm dielektrikum och ytterligare en metallfilm. Dessa tre filmer snurras runt varandra till en cylinderform. Det finns också anslutningar till de två metallfilmerna utifrån för att kunna använda kondensatorn. Metallfilmerna och dess anslutningar har en resistans som går att mäta upp och den är angiven i databladet för kondensatorn. ESL uppstår genom geometrin på kondensatorn, de snurrade metallfilmerna blir till formen av en spole. Dessa två parametrar är starkt frekvensberoende. [5]

### **Rippelströmstålighet**

När kondensatorn används till avkoppling eller vid en utgång eller ingång på en spänningsomvandlare blir spänningen till kretsen konstant, det kallas för rippel. Rippelströmmen har hög frekvens och kondensatorn måste fungera vid dessa frekvenser. Den kan börja bete sig som en induktans vid höga frekvenser. Ripplet beror till exempel på när en utgång på en IC-krets byter från en etta till en nolla, vise versa. Strömanvändningen för denna komponent är då ojämn, vilket medför att kondensatorn laddas upp eller ur. Då det går att ha flera olika spänningsnivåer kretsar som drar olika mycket ström på ett mönsterkort kan olika storlekar på rippelströmmar finnas. Utifrån kondensatorns konstruktion så kan temperaturen på dielektrikum bli för hög. En kondensator med mindre kapacitans kan vara bättre till avkoppling om till exempel ESR är lågt.[5]

### **Spänningstålighet**

Kondensatorn är konstruerad för en viss högsta spänning. Om denna spänning överskrids slutar kondensatorn att fungera som den ska. [5]

#### **5.4.3 Välja transistor**

Transistorn har många användningsområden inom elektroniken. Det är en bra komponent för att bygga upp logiska kretsar och till förstärkning av signaler. På detta drivstegskort är användningen av transistorn att styra utgångar på I/O-portarna. En kritisk parameter i denna konstruktion var den tillåtna förlusteffekten tillsammans med krav på miniaturisering av kortet och effekttålighet för att kunna dra ett relä eller driva annat vanligt förekommande saker som kan kopplas in på I/O-porten.

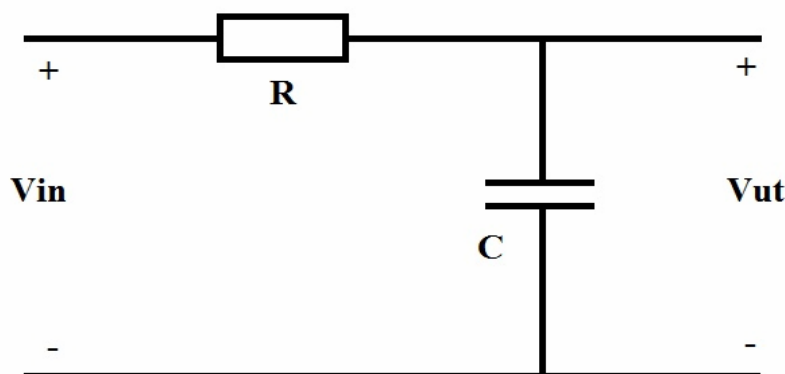




## 6 Enkla konstruktioner

### 6.1 Första ordningens lågpasfilter

Kopplingen används för att filtrera snabba signaler som kan störa den egentliga signalen. Det är en enkel krets som består av ett motstånd och en kondensator. Filter har ett stort användningsområde då störningar är ett vanligt förekommande problem.



Figur 12: Första ordningens lågpasfilter

Motståndet och kondensatorn kopplas ihop enligt figur 9. Ett lågpasfilter har en brytfrekvens de frekvenser som är högre än brytningsfrekvensen dämpas och de frekvenser som är lägre passerar. Några olika ansatser finns för att bestämma rätt storlek på komponenterna. En vanlig ansats kan vara att bestämma vilken tidskonstant filtret ska ha.

$$\tau = RC = \frac{1}{2\pi f}$$

Detta underlättar beräkningarna en del, men det är fortfarande två komponentvärden att bestämma. Om en av de två komponenterna väljs till ett lämpligt värde, låt oss säga att motståndet väljs till lägsta möjliga värde, med avseende på effekttålighet. Då kommer ett kondensatorvärde enkelt kunna beräknas ur formeln ovan. Om det beräknade kondensatorvärdet blir allt för högt väljs ett nytt motstånd. [6]

### 6.1.1 PWM och lågpasfilter

Filter kan användas till mer än att filtrera bort störande signaler.

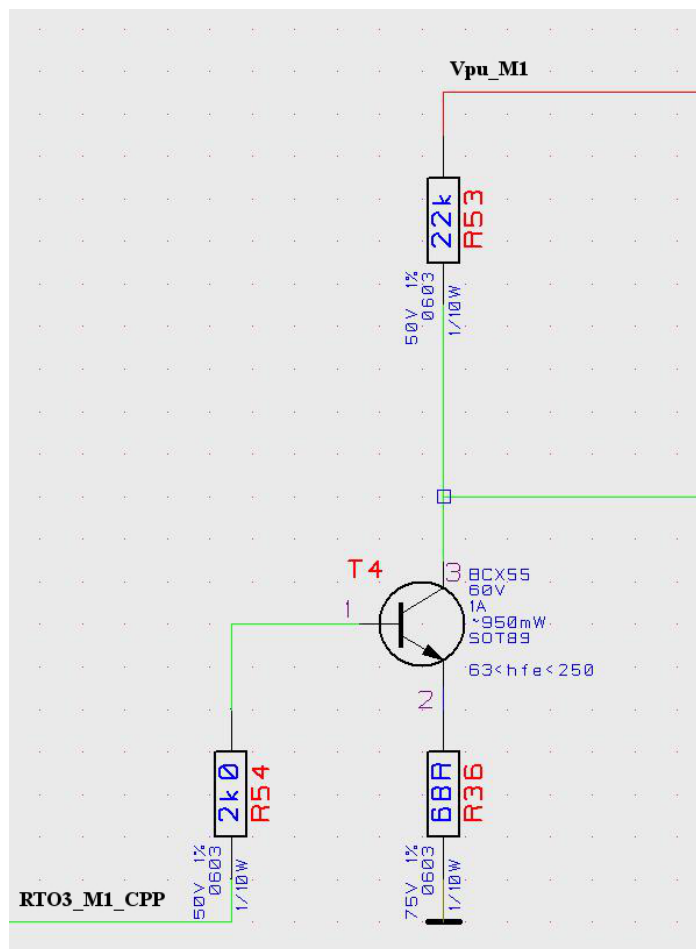
Pulsbreddsmodulerings-signaler (PWM) kan "filtreras" för att bli en likspänning istället. En PWM-signal ser ut som en fyrkantssignal med en frekvens som är konstant och tiden som signalen är en etta eller nolla moduleras. Den tid som signalen är en etta brukar kallas duty cycle och anges oftast i procent av tiden  $1/f$ . Duty cycle begreppet är vanligt vid användandet av PWM signaler och brukar vara lättare att förstå. Vid 50 % duty är tiden för nivå ett och noll lika långa. Här krävs det mer beräkningar för att få ett filter som fungerar på ett korrekt sätt. [11]

$$i_{R(PWM)} = \frac{V_{in} \frac{t_p}{2}}{\frac{t_p}{R}}$$
$$V_{C(ripple)p-p} = \frac{i_R \frac{t_p}{2}}{C}$$
$$V_{C(ripple)RMS} = \frac{V_{C(ripple)p-p}}{\sqrt{2}}$$
$$V_{offset} = (Läckström)(R) \text{ läckströmmen orsakas av IC - kretsen}$$
$$V_{o(top)} = V_{C(Nom)avg} + \frac{V_{C(ripple)p-p}}{2} - V_{offset}$$
$$V_{o(bottom)} = V_{C(Nom)avg} - \frac{V_{C(ripple)p-p}}{2} + V_{offset}$$
$$V_{out(avg)} = \frac{V_{o(top)} + V_{o(bottom)}}{2}$$

Beräkningarna ovan har tagits fram för att kunna beräkna vilken storlek på motståndet R som skulle vara ett bra val. Ett bra val är ett motståndsvärde som ger så lite rippel som möjligt. Spänningen över pinnen för strömgräns på drivstegskretsen ska bli så nära det tänkta inställningsvärdet för strömgräns som möjligt.

## 6.2 Konstruktion av I/O-portar

Transistorn är en vanlig komponent inom elektroniken eftersom användningsområdet är väldigt stort. Det går att bygga upp logikfunktioner, styra utgångar till kontaktdon och H-bryggor till motordrivsteg bland annat. Den främsta användningen av transistorn på detta drivsteg är styrning av utgångar på kontaktdon. En utgång kan konstrueras med hjälp av ett fåtal komponenter tre motstånd och en transistor. Utgångarna som konstruerades är av typen open collector, som är en vanlig koppling vid konstruerandet av utgångar i I/O-portar. [9]



Figur 13: Krettschema med transistor.

Kretsen som figur 10 visar är av typen open collector, den ger en etta ut när transistorn inte är aktiv och en nolla när transistorn är aktiv. Med en etta menas den spänning som pull-up motståndet är anslutet till. Transistorn drivs via en signal från CPP-kortet.

$$I_B = \frac{0,7}{R_B + h_{fe} R_E}$$

$$V_E = I_C R_E$$

$$V_B = V_E - 0,7$$

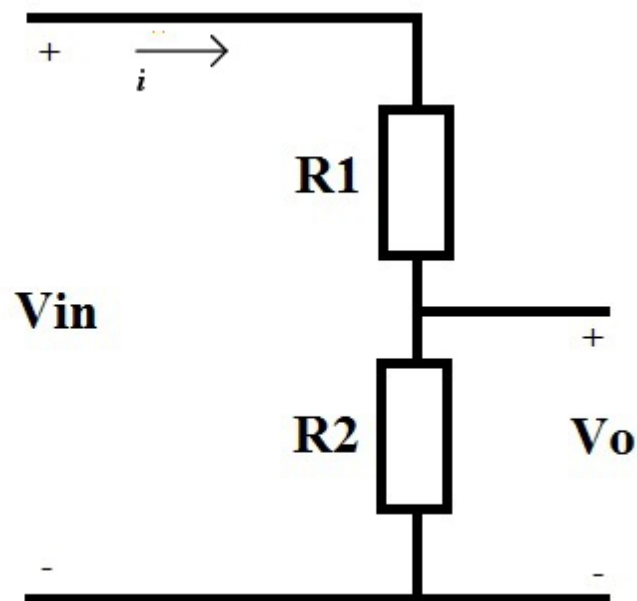
$$P = I_C (V_{fel} - V_E)$$

där  $V_{fel}$  är spänningen vid felkoppling

Beräkningarna för transistorn är för att kunna bestämma den effekt det blir i transistorn vid en eventuell felkoppling. En felkoppling skulle kunna vara att koppla in utgången till spänning. En transistor är känslig för hög effekt och kan lätt gå sönder om den utsätts för det utan att vara dimensionerad för det. För att undvika detta beräknades vilken effekt som utvecklades i transistorn vid olika felkopplingar och en transistor valdes som tillåter en viss felkoppling. Felkopplingar kan uppstå genom flera olika orsaker men en av dem kan vara onoggrannhet vid koppling till kontaktdon.

### 6.3 Spänningsdelning

Spänningsdelning är en vanlig konstruktion när en likspänning ska anpassas för att inte vara för hög. Konstruktionen består av två motstånd som kopplas i serie. Utspänningen ges av spänningen i punkten mellan de två seriekopplade motstånden. Storleken på de två motstånden kan beräknas till lämpliga värden. Beroende på vad som är känt, om till exempel utspänningen ska vara ett vist värde, kan beräkningar utföras för att bestämma storleken på de två motstånden. [6]



Figur 14: Bild över spänningsdelning.

Figur 11 visar hur spänningsdelning ser ut på ett kretsschema.  $V_o$  är utspänningen och  $V_{in}$  är inspänningen som ska delas. Om  $R1$  och  $R2$  väljs så att  $R1 = R2$ , blir  $V_o$  halva  $V_{in}$ , vilket ges av följande samband.

$$V_{in} = V_{R1} + V_o$$

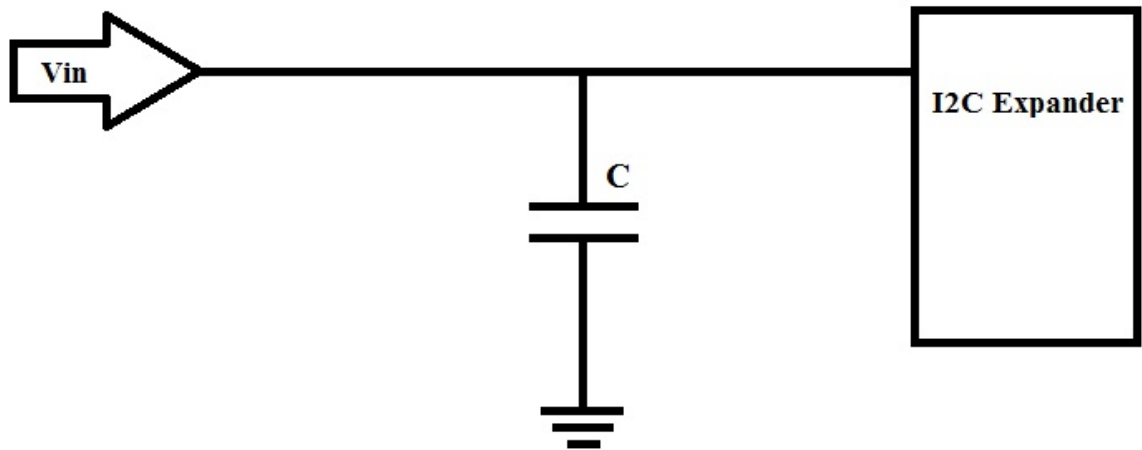
$$V_{in} = i(R_1 + R_2)$$

$$V_o = V_{in} - \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} R_1$$

$$V_o = V_{in} \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

## 6.4 Avkoppling

En viktig del för att få de olika komponenterna på kortet att fungera på ett korrekt sätt. Kretsen utgör en buffert för snabba spänningsändringar som kan orsakas av att en utgång på en IC-krets byter spänning och en dipp i matningsspänningen uppstår. För att motverka detta kopplas en kondensator mellan matningsspänning till IC-kretsen och jordplanet på mönsterkortet. Kondensatorn gör så att matningsspänningen till IC-kretsen inte förändras när den använder sig utav mer ström. Om denna kondensator inte ansluts kan IC-kretsen sluta att fungera, den kan stänga av sig i ett kritiskt läge eller att spänningen på en utgång inte blir så hög som det var tänkt. En annan aspekt när det kommer till bristande avkoppling är störningar som IC-kretsen kan generera till spänningsplanet eller ta upp från spänningsplanet. Vid vanliga IC-kretsar så som logiska grindar eller schmitt-triggerar sätts en kondensator med 100nF. Kondensatorn väljs utifrån en tumregel som Calmon använder sig av. Vid kretsar som DRV8825 eller switchade spänningsomvandlare (DC-DC) beräknas storleken på kondensatorn för att anpassa den till IC-kretsen. Detta på grund av att störningarna som genereras är beroende av frekvensen som spänningsomvandlaren använder sig av. Avkopplingskondensatorer valdes ut genom att de ska ha lågt ESR och vara anpassade för aktuell spänning. [10]



Figur 15: Illustration för avkopplingskondensatorn.





## 7 Struktur vid konstruktionsarbetet

Struktur på arbetet var viktigt att få redan i början för att ro projektet i hamn. För att utvecklingsarbetet och konstruktionen av ett kretskort ska bli så bra som möjligt behöver följande punkter tas hänsyn till.

- Konceptspecifikation
- Dokumentation
- Val av komponenter

Om en bra och tydlig konceptspecifikation och kravställning är gjord och dokumenterad blir utvecklingsarbetet betydligt lättare än behöva komma på saker efterhand. Om specifikation och kravställning är gjord så att de flesta tvetydigheter och problem som kan förekomma redan är upptäckta och har tagits hänsyn till när det kommer till funktion av kretskortet. Problem som berör konstruktionen av kretsar går oftast att lösa för att få ett funktionsdugligt kretskort.

För att erhålla bra struktur i arbetet skapades en projektmapp för kortet på Calmons server. Här sparades viktiga dokument och filer såsom datablad för valda kretsar och egna dokument.

Dokumentation är en stor och viktig del för struktur och dokumentationen innehåller:

### **Kommentarer**

Det är bra att kommentera schemaritningen, för att lättare kunna läsa och förstå schemaritningen.

### **Datablad för komponenter**

Att dokumentera valda komponenter är viktigt genom att samla ihop databladen på ett ställe för att lätt kunna kolla på dem igen vid oklarheter eller för framtiden om komponenter behöver bytas ut.

Databladet för drivstegskretsen lästes noggrant för att kunna rita ut alla kringkomponenter som behövdes för att kretsen skulle fungera. Inställningssignaler kopplades ihop med I2C Expandern.

## **Blockschema**

Ett blockschema är bra att rita innan konstruktionsarbetet påbörjas, för att underlätta konstruktionsarbetet. Det går det att se alla signaler som kortet har och det underlättar vid val av komponenter och vilken typ av krets som ska användas. En överblick över vilka block som är kvar att konstruera kan fås vid läsning av blockschemat.

## **Beräkningar**

Beräkningar är också väldigt bra att dokumentera för att lättare kunna förstå hur konstruktionen är gjord och hur beräkningarna är gjorda. Beräkningarna gjordes i ett Excel-dokument. Dokumentet hade upplägget att beräkningar för en typ av konstruktion gjordes i ett ark, för att lätt kunna överblicka beräkningarna. När beräkningarna utfördes konstruerades kretsarna som sedan ritades in i schemat.

## **Datablad för drivstegskortet**

Skrivandet av datablad görs för att andra mer än konstruktören ska veta hur kretskortet är uppbyggt och hur idrifttagandet sker.

## **Komponenter**

Val av komponenter är en annan stor del av konstruktionsarbetet. Om ett bra val av en komponent görs från början underlättar det i framtiden, om nya liknande komponenter behöver väljas ut.

Viktiga komponenter som har valts ut är bland annat transistorn för utgångarna till I/O-portarna, där valet har riktats in på effekttålighet och spänningstålighet och fel tålighet.

## 8 Slutsats

Projektet fortlöpte överlag bra och jag lärde mig väldigt mycket. Resultatet av projektet blev till slut ett underlag till ett mönsterkort. Detta underlag kan användas när en beställning av mönsterkort görs efter att ha modifierat CAD-filerna (enligt mönsterkortstillverkarens rekommenderade filformat) och gjort en BOM-lista. Elektronikkonstruktionen är utförd enligt konceptspecifikationens krav.

Konstruktionen resulterade i ett kretsschema och en ritning över mönsterkortet.

Val av komponenter är en del av konstruktionsarbetet som har behandlats genom att jämföra likvärdiga komponenter med hjälp av dess datablad.

Dokumentationen av kortet är gjord. I dokumentationen finns ett blockschema, beräkningar i Excel samt ett datablad över drivstegskortet.

Då inget mönsterkort beställdes uppfylldes inte det uppsatta målet med att montera, testa samt verifiera kortet. Att projektet enbart blev ett underlag för ett framtida mönsterkort berodde på att konstruktionsarbetet tog längre tid än planerat. Val av komponenter var svårare än förväntat då ingen komponent är ideal.



## 9 Framtida utvecklingsmöjligheter

Val av komponenter och konstruktionsarbetet tog längre tid än planerat. Detta beror på att jag inte var van vid denna typ av utvecklingsarbete så acklimatiseringen till dessa nya arbetsmetoder och verktyg tog längre tid än förväntat. Därför finns några punkter kvar att utveckla. Punkterna är följande

- Beställa mönsterkort och göra en BOM-lista
- Löda komponenter på mönsterkortet
- Programmera CPP-kortet för styrning av drivstegskortet
- Funktionstestning av drivstegskortet
- EMC-testning av drivstegskortet

Dessa utvecklingsmöjligheter ligger inom ramen för projektet att få ett funktionsdugligt drivstegskort.



## 10 Referenser

[1] Datablad DRV8825

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>

Besökt senast: 2014-04-10

[2] All Motion Technology PDF om stegmotor.

[http://www.allmotion.se/files/pdf/AMT\\_stegmotorteknik.pdf](http://www.allmotion.se/files/pdf/AMT_stegmotorteknik.pdf)

Besökt senast: 2014-04-10

[3] Information om I2C

<http://www.i2c-bus.org/>

Besökt senast: 2014-01-29

[4] Datablad I2C Expander

[http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/PCA9555.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCA9555.pdf)

Besökt senast: 2014-05-26

[5] PDF om Elektrolytkondensator

<http://www.nichicon.co.jp/english/products/pdf/aluminum.pdf>

Besökt senast: 2014-04-10

[6] Transistor, spänningsdelning, lågpassfilter,

Electrical Engineering principles and applications, Allan R. Hambley

ISBN-13: 978-0-13-206692-1

[7] PDF Technical Data Panasonic OS-CON kondensator

<http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf/AAB8000/AAB8000PE24.pdf>

[8] Principles and elements of power electronics, Barry W Williams

ISBN: 978-0-9553384-0-3

[9] Open collector

<http://www.mcc-us.com/Open-collectorFAQ.htm>

Besökt senast: 2014-07-31

[10] PDF Choosing and Using Bypass Capacitors

<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/an13/an1325.pdf>

Besökt senast: 2014-07-31

[11] PDF Filtering PWM Signals

[http://ltwiki.org/images/8/82/PWM\\_Filters.pdf](http://ltwiki.org/images/8/82/PWM_Filters.pdf)

Besökt senast: 2014-07-31

Bild:

[12] Stegmotor Variabel reluktans

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Stepper\\_motors#mediaviewer/File:Stepper\\_motor.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Stepper_motors#mediaviewer/File:Stepper_motor.svg)

[13] Stegmotor Hybrid

[http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Stepper\\_motors#mediaviewer/File:Struttura\\_motore\\_passo-passo.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Stepper_motors#mediaviewer/File:Struttura_motore_passo-passo.jpg)