

# Indholdsfortegnelse

---

<b>Kapitel 1</b>	<b>Indledning</b>	<b>3</b>
<b>Kapitel 2</b>	<b>Vuggesystem</b>	<b>5</b>
2.1	EMC afgrænsning . . . . .	5
2.2	Forventet hardwareimplementering . . . . .	6
2.3	Print-implementering m. EMC tiltag . . . . .	8
2.4	Skærmkasse . . . . .	8
2.5	Banebredde til store strømme . . . . .	9
2.6	Stelplan . . . . .	10
2.7	Motorledninger . . . . .	10
<b>Kapitel 3</b>	<b>Lydmonitor</b>	<b>11</b>
3.1	Mikrofon . . . . .	11
3.2	Skærmning af kabler . . . . .	11
3.3	HF-filtrering af signal . . . . .	12
3.4	EMC tiltag på print . . . . .	12
<b>Kapitel 4</b>	<b>Controller</b>	<b>15</b>
<b>Kapitel 5</b>	<b>Strømforsyning</b>	<b>17</b>
<b>Kapitel 6</b>	<b>Note</b>	<b>19</b>



# Indledning 1

---

Når EMC reglerne skal imødegås er det vigtigt at overveje EMC-problematikkerne allerede i de indledende faser af designet og implementering af printene. Dette gøres for at finde løsninger imens det stadig er billigt at implementere. Igennem en udviklingsproces af et hardwareprodukt, vil prisen på eventuelle EMC-mæssige rettelser stige eksponentiel i takt med hver fase i udviklingen. Det vil derfor være uheldigt ikke at tage hensyn til disse, da en rettelse i så fald kan betyde at systemet bliver mange gange dyrere, end hvis man havde gennemtænkt sit design fra start af.

Den største EMC-problematik i Baby Watch systemet består af en DC-motor der bruges til at trække vugningen af barnevognskurven samt det dertilhørende motorkredsløb. Ydermere består Baby Watch af en Controller-del bestående af en hovedcomputer<sup>1</sup> med GPIO porte, en DSP<sup>2</sup> med dertilhørende mikrofon forstærker til optagelse og analyse af lyd og en strømforsyning drevet af et 12 V batteri, til at forsyne alle dele af systemet.

Rapporten er delt op i samme form for afsnit som Projektdokumentationen, så hvert projektdel har sit eget afsnit og EMC-overvejelser. Den er sat op i LaTeX, som gör at Rapporten starter sine kapitler på næste højre side, da det er meningen at der printes på begge sider i udskriften, dette medfører en del blanke sider.

---

<sup>1</sup>Raspberry Pi

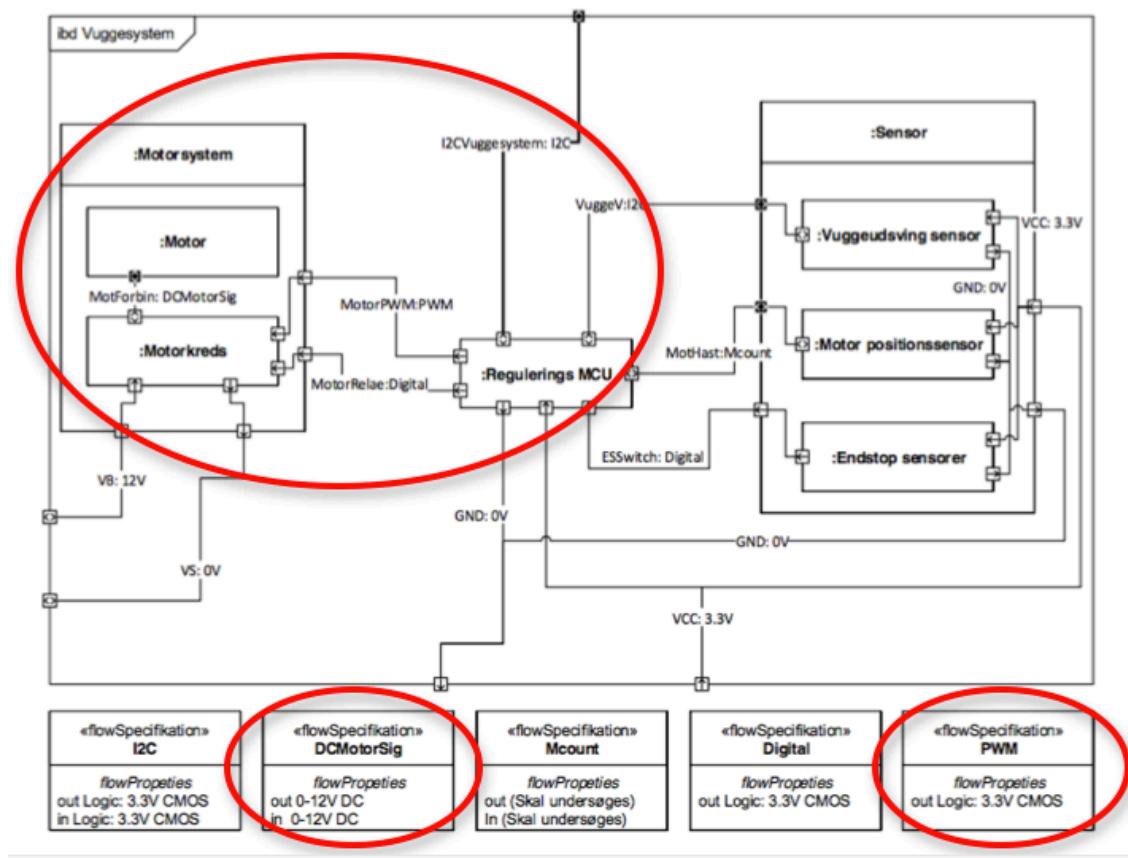
<sup>2</sup>Digital Signal Processor(Blackfin)



# Vuggesystem 2

Motorkredsløbet er designet som en PWM-moduleret H-bro styret af en PSoC4 microchip. I vuggesystemet vil der derfor blive fokuseret udelukkende på EMC problematikker omkring disse.

På nedenstående IBD figur 2.1 af vuggesystemet, vises afgrænsningen med cirkler



Figur 2.1. Afgrænsninger i vuggesystemet markeret med røde cirkler

## 2.1 EMC afgrænsning

Følgende afsnit vil gennemgå hvilke konkrete problematikker der vigtige at forholde sig til, ud fra ovenstående afgrænsning. Det efterfølgende afsnit vil gennemgå hvordan disse problematikker bliver løst.

Motoren er en 12 V DC motor der i dette system trækker peak strømme på op imod 10 A. Til at drive denne motor skal H-bros motorkredsløbet tilsvarende leverer strømme,

der kan imødekomme dette. Dette skal ske uden at andre nærliggende kredsløb, generes af motorkredsløbes store strømme. På printet til motorkredsløbet skal der også være et switchkredsløb der detekterer om en af to analoge switches er aktiv. Dette switch-kredsløb er simpelt i sin opbygning og består af to switches, en  $10\text{ k}\Omega$  modstand samt nogle få korte printbaner. På printet vil der derfor være to forskellige operationsspændinger 12 V og 3.3 V.

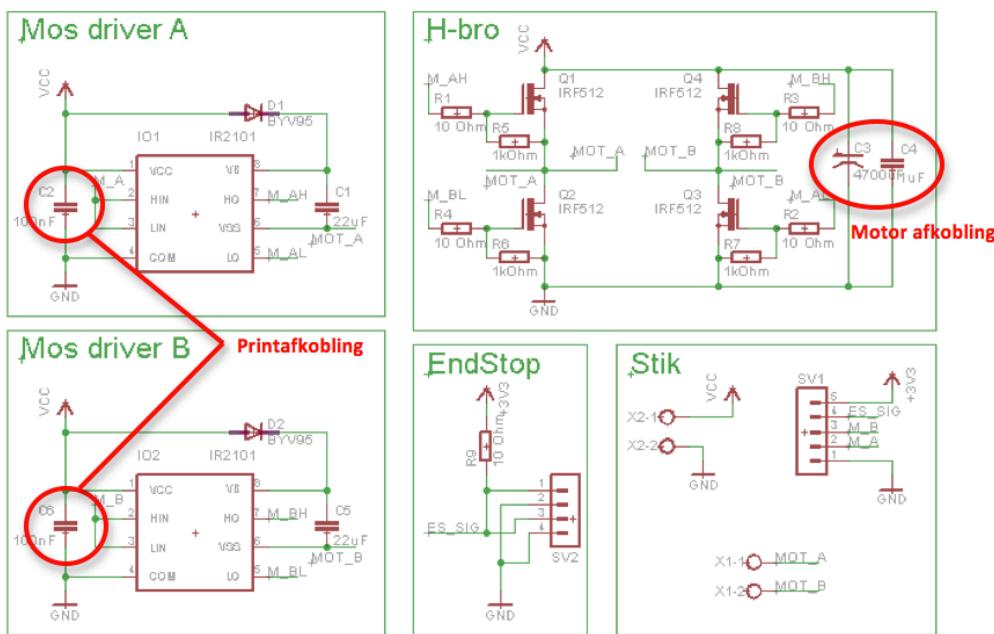
Der skal overvejes hvordan stellet skal designes, så der ikke opstår impedans i de fælles strømveje. Det 20 kHz PWM signal kan, hvis printbanerne er for lange, fungere som antenner der udsender højfrekvent støj. Denne højfrekvente støj kan videreføres til motoropkoplingen og derved kan kablingen til motoren også komme til at fungere som en højfrekvent antenné.

Der skal overvejes hvordan motoren kan afkobles fra resten af vuggesystemet. Printet skal indeholde to kredsløb. Dette medfører at afstanden og stelplanet mellem de to systemer overvejes. Placeringen af kredsløbenes komponenter på printet skal overvejes da dette især er vigtigt for udlægningen af et optimalt print. Det er en fordel hvis printet ikke fylder for meget, da printbanerne i så fald fylder mindre og derved mindsker risikoen for støj.

Det overordnede Baby Watch system består af flere hardwaremoduler, der har forskellige arbejdsområder. Modulerne skal kommunikere med hinanden og det er derfor vigtigt at vuggesystemet ikke bidrager med støj der kan forstyrre transmissionen af data mellem disse.

## 2.2 Forventet hardwareimplementering

Følgende kredsløbsdiagrammer figur 2.2 viser den forventede implementering af vuggesystemet med tilhørende EMC relateret beregninger.



Figur 2.2. Diagrammer for H-bro og driver kredsløb

I EMC henseende er det hovedsageligt de forskellige afkoblings kondensatorer der her er relevante. Det vigtigste element at koble ud af ovenstående system er H-broen, som genererer en del højfrekvente transiente som resultat af at skifte polariteten på motorerens spole. Da motoren har en relativ stor selvinduktion kan strømmen igennem motoren antages at være konstant gennem hver periode af PWM signalet. Under denne antagelse kan man udregne hvor stor en kapacitet der er nødvendig for at opnå en given spændingsforstyrrelse på forsyningsslisen. Herunder udregnes den nødvendige kapacitet til at sikre en spændingsfluktuation på 0.5% af forsyningsspændingen, ved motorens maximale strømforbrug.

### 0.5% af 12V

$$V = 0,06 \text{ V}$$

### Maximal strømforbrug

$$A = 10 \text{ A}$$

### En halv periode af 20kHz

$$s = \frac{1}{40000} = 25\mu s$$

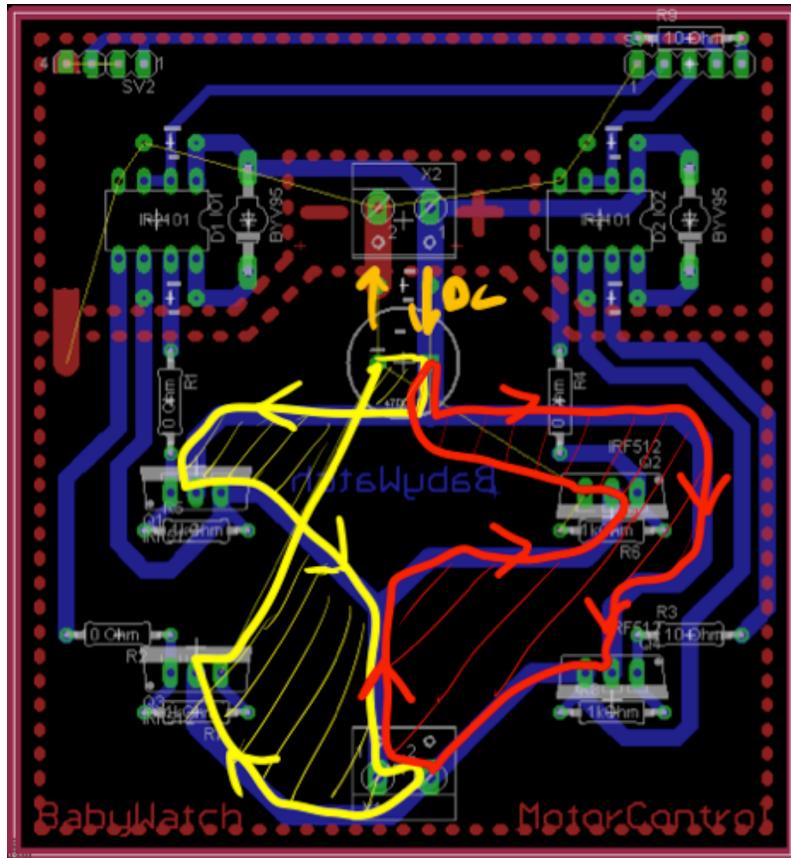
### Beregning af kondensatorstørrelse

$$F = \frac{A*s}{V} = 0,00416666667$$

Dette afrundes til nærmeste tilgængelige kondensator værdi fra lab på  $4700 \mu F$ . Da strømmen antages at skifte retning som en firkant med 20 kHz er der brug for en hurtig kondensator (lav ESR), for at kunne håndtere de hurtige frekvens komposanter i støjen. For at opnå dette sættes en  $1 \mu F$  kondensator parallelt med den store kondensator. Derudover er der fra VCC til GND på MOSFET driverne sat en lille afkoblings-kondensator på, på  $100 nF$ , denne er til for at stoppe højfrekvent switching-støj fra PWM signalet. Størrelsen er bestemt ud fra at der ikke forventes at skulle løbe en stor strøm ind i kondensatoren, samt at der ønskes en hurtig switching-hastighed i kondensatoren.

## 2.3 Print-implementering m. EMC tiltag

Herunder på figur 2.3 ses det designede printlayout.



*Figur 2.3.* Printudlæg af Motor-controller tegnet i Eagle

Den centrale betragtning i ovenstående printlayout er strømløkkerne fra kondensatoren og ud gennem motoren, da der som nævnt ovenfor står en stor strøm og skifter retning her. H-broen har to løkker fordi strømmen løber i forskellige baner når den løber den ene og den anden vej. Banerne ses markeret i rød og gul ovenfor. Grundet at kredsløbet skal håndtere en forholdsvis stor effekt, er det ikke muligt at placere komponenterne tættere end på ovenstående layout.

## 2.4 Skærmkasse

Det formodes at motorkredsen kommer til at udsende en betydelig mængde støj. Dette kan afhjælpes ved at benytte en skærmkasse omkring kredsløbet. For at få størst mulig dæmpning ud af denne løsning skal ind- og udgange fra kassen samles således at kassen er så tæt som muligt på at være lukket. På baggrund af denne formodning laves der derfor en udregning af en skærmkasse uden huller til kredsløbet. Disse beregninger baseres udelukkende ud fra en teoretisk model.

Der vælges at lave en 3mm tyk aluminiums skærmkasse.

Ud fra nedenstående formel kan dæmpningen beregnes:

$$A = 131 * \sqrt{f * \mu_r * \sigma_r * t}$$

Hvor "A" er absorptionsdæmpningen i dB.

"f" er frekvensen systemet genererer hvilket forventes at være et 20 kHz PWM signal.

" $\mu_r$ " er aluminiums permeabilitet relativ til kobber. Denne findes ud fra tabelopslag<sup>1</sup> til at være:

1,000022 hvilket afrundes til 1.

" $\sigma_r$ " er aluminiums konduktivitet relativ til kobber.

Konduktiviteten for kobber er:  $59,6 * 10^6 S * m^{-1}$  ved  $20^\circ C$

konduktiviteten for aluminium er:  $37,8 * 10^6 S * m^{-1}$  ved  $20^\circ C$ <sup>2</sup>.

$$\sigma_r = \frac{37,8 * 10^6 \frac{s}{m}}{59,6 * 10^6 \frac{s}{m}} = 0,63423$$

"t" er skærmkassens tykkelse: 3 mm.

### Absorptionen beregnes

$$A = 131 * \sqrt{20kHz * 1 * 0,634} * 3mm = 14dB$$

Den største mængde støj vurderes at komme fra elektrisk støj. Der laves derfor også en beregning af refleksionsdæmpningen af E-nærfeltet, denne beregning tager ikke højde for flere refleksioner.

$$R = 322 + 10 * \log\left(\frac{\sigma_r}{\mu_r} * \frac{1}{f^3 * r^2}\right)$$

"R" er refleksions dæmpningen i dB

"r" er afstanden til skærmkassens inderside. Der antages at være 5 cm ud til alle skærmkassens sider fra printet.

$$R = 322 + 10 * \log\left(\frac{0,634}{1} * \frac{1}{20^3 * 0,05^2}\right) = 287 dB$$

Den samlede dæmpning med skærmkassen bliver derfor:

$$\begin{aligned} TotalDaempning_{dB} &= 287dB + 14dB = 301dB \\ \Rightarrow TotalDaempning_{gg} &= 10^{\frac{301}{20}} = 10^{15} gg \end{aligned}$$

Som tidligere nævnt er disse beregninger lavet på baggrund af en ideel skærmkasse til motorkredsen, da den ikke har huller og der ikke tages højde for multiple refleksioner. Men det må antages at en skærmkasse med 3 mm tykke aluminiums sider er i stand til at afskærme motorkredsen tilstrækkeligt i forhold til de støj-følsomme kredsløb.

## 2.5 Banebredde til store strømme

Som det ses markeret med røde og gule pile på printlayoutet på figur ?? så er banerne der forsyner motoren med de store strømme lavet ekstra brede  $\simeq 2$  mm. Dette er gjort for at

<sup>1</sup>[http://da.wikipedia.org/wiki/Permeabilitet\\_\(elektromagnetisme\)](http://da.wikipedia.org/wiki/Permeabilitet_(elektromagnetisme))

<sup>2</sup>[http://da.wikipedia.org/wiki/Specifik\\_ledningsevne](http://da.wikipedia.org/wiki/Specifik_ledningsevne)

mindske impedansen og derved mindske banens selvinduktion og ohmske modstand.

## 2.6 Stelplan

Motorkredsløbs-printet er implementeret med to stelplaner en til hver forsyning. De to stelplaner er samlet med en enkelt forbindelse der sørger for at de har en fælles reference. Der blev valgt at bruge stelplan da et stelplan næsten ingen selvinduktion har. Impedansen i et stelplan bestemmes ud fra den ohmske modstand i hele planet. Dette har den virkning at den ohmske modstand vokser med frekvensen i minus første på grund af strømfortrængning<sup>3</sup>. I forhold til en tynd ledning stiger impedansen langsommere i stelplanet ved en stigning i frekvensen.

## 2.7 Motorledninger

Da motorstyrings-kredsen ikke i praksis kan sidde helt tæt på motoren, er strømledningerne til motoren også vigtige at tage i betragtning. Disse ledninger bærer en stor strøm, og løber i relativ nærhed af andre kredsløb såsom systemets accellerometer og gyroskop. Udstrålingen fra motorledningerne bør derfor parsnøes, og om nødvendigt også afskærmes. Hvorvidt afskærmning er nødvendigt kan vurderes når systemet er implementeret.

---

<sup>3</sup>Se side 4 i Kap.3.pdf EMC-bog

# Lydmonitor 3

---

Intelligent Lydmonitor består af flere bestanddele herunder:

- Mikrofon
- Mikrofonforstærker-kreds
- 4. ordens Butterworth lavpasfilter
- Spændingsregulering

Generelt for printet tilhørende den intelligente lydmonitor er immunitet det største EMC-hensyn foruden almindelige print-udlægs tiltag.

## 3.1 Mikrofon

Den intelligente lydmonitor benytter en elektret mikrofon. Denne har en ladet kapacitiv membran og en JFET transistor til forstærkning af strømudsvinget. JFET'en trækker en konstant DC strøm på 5 mA i arbejdspunktet og ved lydtryk svinger en små-signal strøm 5  $\mu$ A til begge sider.

## 3.2 Skærmning af kabler

Mikrofonen er forbundet til dens forstærker-kreds (på et print) gennem et ubalanceret signal (to ledere) via 1 meter kabel. Det vælges at benytte et koaksialkabel til forbindelsen mellem mikrofon og printet. Fordelen ved at vælge koaksialkabel er at yderdelen skærmer mod elektrisk indstråling. Almindeligvis benyttes et balanceret signal med 3-ledere til mikrofoner (dette har bedre immunitet over for støj idet indstrålet støj bliver common mode støj i stedet for differential mode støj), men grundet den lave kvalitet af den benyttede elektret mikrofon, MEC100 benyttes, er det valg at et 2-ledet ubalanceret kabel går an.



**Figur 3.1.** Illustration af skærmet 2-ledet ubalanceret kabel

### 3.3 HF-filtrering af signal

For at frafiltrere i kablet indstrålet HF-støj, lavpas-filtreres signalet med et simpelt RC filter inden det når forstærker-kredsen. Elektret mikrofonens båndbredde er 10kHz og en tilsvarende knækfrekvens for filtret anvendes.

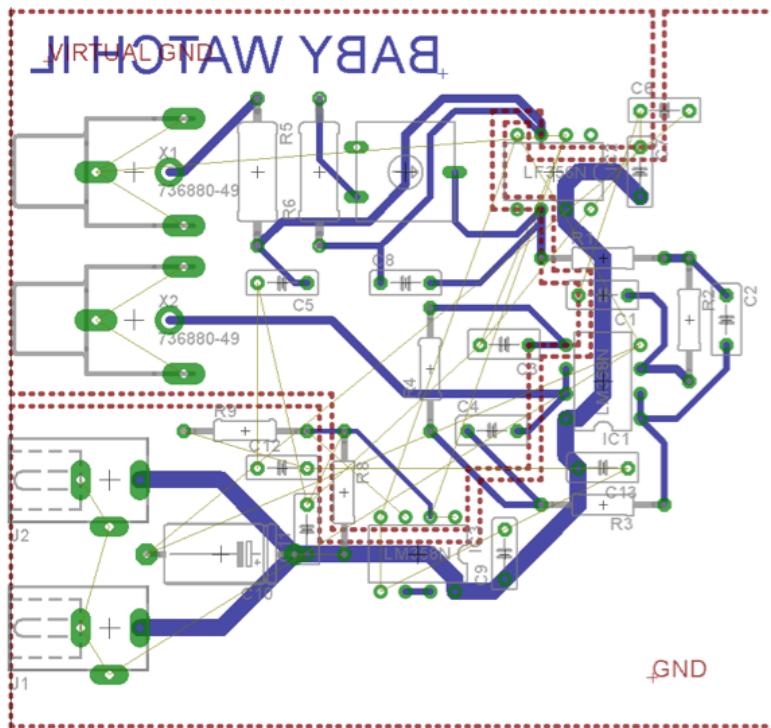
### 3.4 EMC tiltag på print

#### Stelplan

Printet er konstrueret med to stelplan (GND og virtual GND). Det er tilstræbt at placere de to stelplan således at kortest mulige returvej for strømmen er mulig. Stelplanerne og den brede printpane har lav selvinduktion, og specielt de gennemgående stelplan vil reducere kobling af høje frekvenser, idet strømsløjferne dannet af printbaner med returveje gennem stelplanet, vil være meget små. Sløjfeantennernes effektive areal reduceres ligeledes. Desuden sikres en lav-impedant spændingsforsyning til printets IC'er ved at plavere GND-planet under VCC banen.

#### Afkoblingskondensatorer

For at sikre tilstrækkelig strømtræk til integrerede kredse indskydes 100 nF kondensatorer mellem VCC og GND. Ligeledes er en større elektrolyt-kondensator på 470 nF placeret ved Blackfin strømudtaget, for at kompensere for dens strøm-fluktuationer.



*Figur 3.2.* Printudlæg tegnet i Eagle

## Generel printføring

VCC er ført med bred printbane for at nedsætte selvinduktion. Desuden er der ført separate printbaner til separate strømme.

## Stik

Signal ind- og udgange er placerede tæt sammen, ”single entry point”, således at uønskede strømme passerer uden om elektronikken. Indgangen til pre-ampen filtreres med en seriemodstand og en kondensator til stikstel (virtuel GND i dette tilfælde). Signaludgangen til blackfin-kittet lavpasfiltreres ligeledes med det aktive 4. ordens butterworth-filter, hvis egentlige opgave var at sikre en god signal-to-noise ratio til ADC'en.

## Skærmkasse

Der er i første omgang ikke beregnet skærmkasse, selvom denne utvivlsomt ville forbedre immunitet.

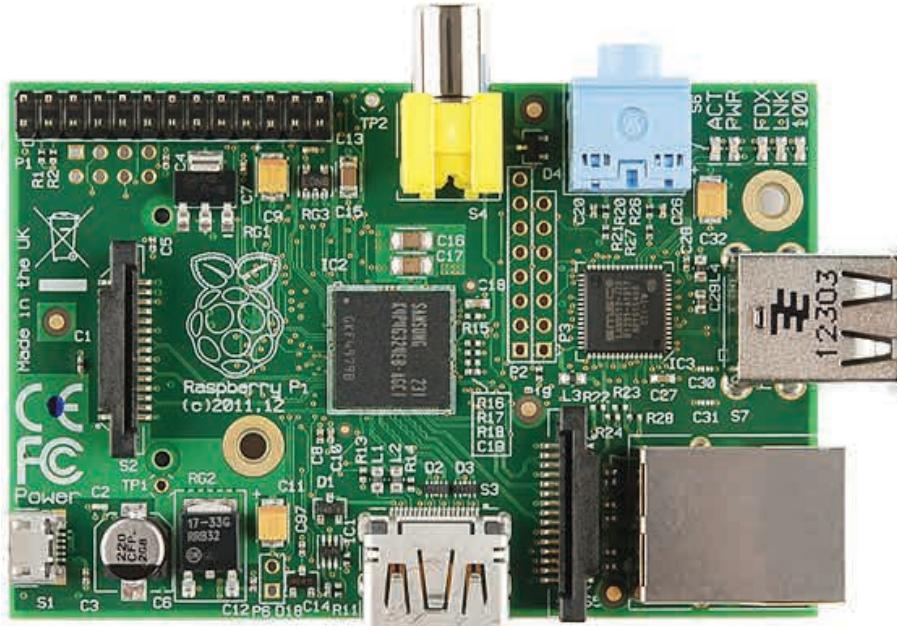


# Controller 4

---

Controlleren består af en Raspberry Pi, 3 lysdioder og 2 trykknapper samt stik til forbindelse af Int. lydmonitor, vuggesystem og strøm.

Der er ikke taget mange EMC hensyn, men der er forsøgt afskærmning af forbindelserne ud af controlleren med USB-B stik med tilhørende skærmmede USB kabler. USB valget er taget af praktiske årsager og for at der ikke indkobles støj i I2C forbindelsen, der er ikke fulgt nogen form for USB protokol.



*Figur 4.1.* Raspberry Pi Model B - Linux computer

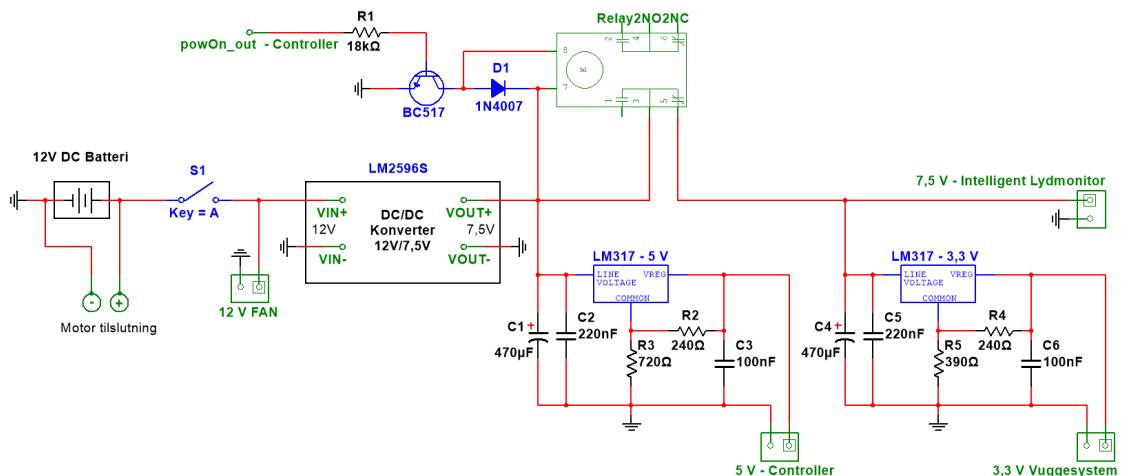


# Strømforsyning 5

---

I projektet er der blevet designet et print til at håndtere og tildele spændingsforsyninger til de forskellige delelementer i projektet. Printet er koblet sammen med en indkøbt DC-DC konverter der er justeret til at lave 7,5V. For at forsyne delelementerne, er der opsat spændingsregulatorer til at lave 3,3 V og 5 V.

Kredsløbsdiagrammet er tegnet i Multisim, hvor det er blevet simuleret og efterfølgende er printet blevet designet i EAGLE og sendt til E-LAB for produktion.

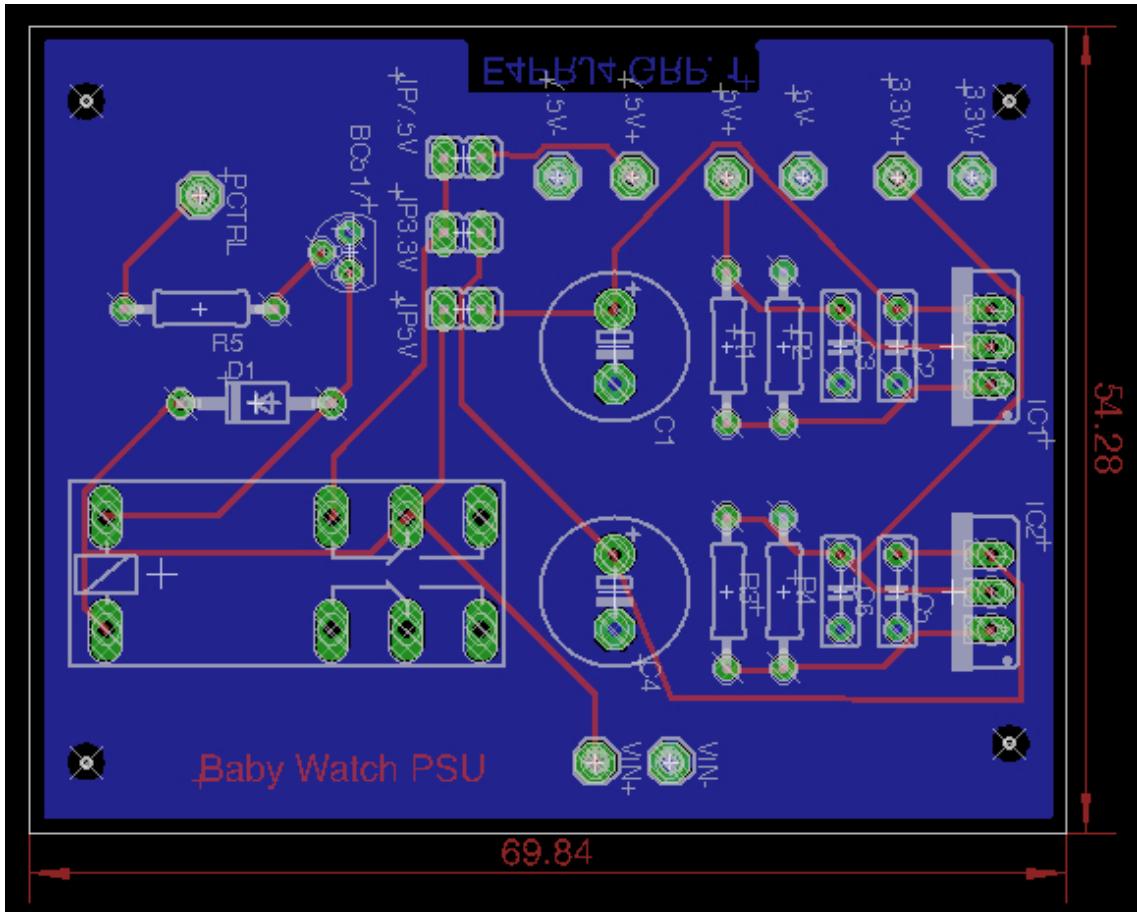


**Figur 5.1.** Multisim tegning af spændningsforsyningen

Som udgangspunkt, er der ikke kritiske EMC mæssige problematikker. Dog er der taget følgende overvejelser mht. EMC.

- Print frem for veroboard el. fumlebræt
- Fælles stel plan
- Minimum brud på stelplan
- Elektrolyt kondensatorer med ben i samme ende (C1 og C4)

Her ses printudlaegget med fælles stelplan (blå) og forbindelserne(rød). Forbindelserne er forsøgt gjort så korte som muligt.



**Figur 5.2.** Printudlæg tegnet i Eagle

# Note 6

---

Udarbejdet af Gruppe 1 bestående af:

- 201370738 - Kristian Boye Jakobsen
- 201370768 - Lukas Hedegaard Jensen
- 201370794 - Poul O. Pedersen
- 201370801 - Jeppe Hofni
- 201370970 - Mick Kirkegaard
- 201371008 - Felix Blix Everberg

Antal anslag (med mellemrum og indholdsfortegnelse): 15238

Antal sider:  $\frac{15238}{2400} = 6,3ns^1$

---

<sup>1</sup>ns = normalside