

# Autovandingssystem

Projektrapport

Afgangsprojekt af:  
Kenn Hedegaard Eskildsen  
Karsten Schou Nielsen

Vejleder:  
Bjarne Funch Skipper

Ingeniørhøjskolen, Aarhus Universitet  
18. maj 2017

| Navn                     | Studienummer | Underskrift |
|--------------------------|--------------|-------------|
| Kenn Hedegaard Eskildsen | 201370904    |             |
| Karsten Schou Nielsen    | 201370045    |             |

## **Abstract**

## **Resumé**

Resume

# Indhold

|  |     |
|--|-----|
| <b>Abstract</b>                            | ii  |
| <b>Resumé</b>                              | iii |
| <b>Indhold</b>                             | iv  |
| <b>Arbejdsopgaver</b>                      | v   |
| <b>1 Indledning</b>                        | 2   |
| 1.1 Læsevejledning.....                    | 2   |
| <b>2 Projektformulering</b>                | 3   |
| 2.1 Projektafgrænsning.....                | 3   |
| <b>3 Kravspecifikation</b>                 | 4   |
| <b>4 Design og Implementering</b>          | 7   |
| 4.1 Hardware Design og Implementering..... | 7   |
| 4.1.1 Kontrolboks.....                     | 7   |
| 4.1.2 Sensor .....                         | 11  |
| 4.2 Software Design og Implementering..... | 18  |
| <b>5 Udviklingsprocess</b>                 | 19  |
| 5.1 Udviklingsmodeller .....               | 19  |
| 5.1.1 V-Model og ASE-Model .....           | 19  |
| 5.2 Projektstyring.....                    | 20  |
| 5.3 Udviklingsværktøjer .....              | 20  |
| <b>6 Produktion</b>                        | 22  |
| 6.1 Produktionsovervejelser .....          | 22  |
| 6.2 Markedsundersøger .....                | 22  |
| 6.3 EMC og Godkendelser .....              | 22  |
| <b>7 Resultater og Diskussion</b>          | 23  |
| <b>8 Fremtidigt Arbejde</b>                | 24  |
| <b>9 Erfaringer</b>                        | 25  |
| <b>10 Konklusion</b>                       | 26  |
| <b>Litteraturliste</b>                     | 27  |

# **Arbejdsopgaver**

Arbejdsopgaver



Denne side er bevidst blank.

# 1 Indledning

Denne Projektrapporten er en opsummeringen af projektdokumentationen og dækker hovedsageligt over de udviklingsmæssige overvejelser og beslutninger som projektgruppen har foretaget undervejs i udviklingen. Rapporten indeholder beskrivelse af udviklingen og design af 1. overordnede iteration af Autovandings-systemet. Autovandings-systemet kan via en kontrolboks tilkoblet brugenes vandforsyning og en sensor placeret i et ønsket gromedie videregive brugerens informationer om hhv. fugtighed og temperatur i mediet, der kommunikeres trådløst imellem kontrolboks og sensor. På baggrund af data fra sensoren kan systemet selv foretage vanding af gromediet afhængig af brugerens ønske og indstillinger.

## 1.1 Læsevejledning

Projektdokumentationen til denne rapport er skrevet kronologisk i forhold til de givne faser i ASE Modellen [1], på nær accepttestspecifikationen, som er udarbejdet i forlængelse af kravspecifikationen. Selve accepttesten er dog udført i slutningen af forløbet, deraf placeringen sidst i dokumentet. Den samme rækkefølge er ført i denne rapport under kapitel 4 fra side 7. På denne måde er der struktur i hvordan der kan søges mere information i projektdokumentationen.

## 2 Projektformulering

Som befolkningen vokser bliver det nødvendigt at bruge jordens ressourcer mere effektivt. Drikkevand er en ressource som i nogle områder er truet pga. forurening og overforbrug. Ved kun at bruge den nødvendige mængde af de nuværende drikkevandsressourcer vil der blive mere vand til vores efterkommer og vi vil have større mulighed for stadig at sikre rent drikkevand i hancerne. I Danmark vandes der i mange haver med rent drikkevand og her er der en mulighed for at kunne optimere brugen og samtidig sikre optimale grobetingelser for planterne. Ved at installere et automatisk fugtbaseret havevandingsanlæg sikres der at der ikke overvandes men samtidig også at planterne ikke mangler vand. Det automatiske fugtbaseret havevandingsanlæg består samlet af en sensor, en kontrolboks og en motorventil. Systemet virker ved at sensoren er placeret ved et gromedie og sender et trådløst signal indeholdende jordfugtigheden samt en overfladetemperatur, batteristatus og lysintensitet til kontrolboksen. Kontrolboksen åbner eller lukker herefter for den givne ventil afhængig af hvilken fugtighed kontrolboksen er præindstillet til og brugerne har mulighed for at aflæse fugtigheden og temperatur på kontrolboksen. Bruger skal selv tilslutte en haveslange til ventilen og kan derfor også selv bestemme hvilken type af havevander der skal tilkobles. En anden stor fordel ved systemet er at brugerne nu også har mulighed for at være væk fra sin bopæl eller fritidshus igennem længere tid, uden at skulle have andre til at tilse sin have.

### 2.1 Projektafgrænsning

Målet for dette afgangsprojekt har fra dag 1 været at ende med ud et produkt egnet til privat-salg. Derfor er der naturligt en afgrænsning i forbindelse med hvor meget der kan tages med indenfor den tidsramme der er blevet stillet. Det arbejde og de overvejelser der ligger forude er beskrevet i Afsnit 8: Fremtidigt Arbejde på side 24. Afgrænsning af projektet har i første omgang baseret sig på at kunnestå med 1. iteration af en færdig prototype der opfylder alle *Must-kravene* fra tabel 1 i afsnit 3 på side 4. Der har derfor været fuld fokus på disse krav og dermed er valget også taget om, at de resterende funktionelle krav ville blive implementeret hvis der var tid og ressourcer til det. Der har som udgangspunkt også været en afgrænsning omkring de salgsrelaterede overvejelser og hele den forretningsmæssig del af et salgsprojekt, da fokus er holdt på udvikling af selve produktet og dokumentation heraf. Dog er der foretaget en markedsundersøgelse for at danne sig et billede af hvad produktet er oppe imod. For mere info henvises til Afsnit 6.2: Markedsundersøger på side 22. I forbindelse med udvikling er der fra starten tænkt high-volumen produkt ind i designet, således at det vil kunne egne sig til masseproduktion. Disse overvejelser er uddybet i Kapitel 6 under Afsnit 6.1 Produktionsovervejelser på side 22.

### 3 Kravspecifikation

I dette afsnit er de opstillede krav for Autovandingssystemet beskrevet. Disse krav er opstillet ud fra projektformuleringen og ud fra forestillinger om relevante test af systemet. Funktionelle krav er opstillet ud fra Use Cases og ikke-funktionelle krav er opstillet ud fra relevante målbare størrelser.

på Figur 1 på side 6 ses Use Cases for systemet samt en kort beskrivelse af dem. De funktionelle krav for systemet er udledt ud fra disse og beskrevet herunder. For at se den komplette beskrivelse af kravene for systemet henvises til Kapitel 2 Kravspecifikation på side 5 i dokumentationen.

- **UC1: Tænd system** sørger for opstart af systemet.
- **UC2: Aflæs fugtighed og temperatur** sørger for aflæsning af fugtighed og temperatur fra sensoren
- **UC3: Indstil ønsket fugtig** benyttes til, på kontrolboksen at indstille den ønskede fugtighed i det medie hvori sensoren er placeret
- **UC4: Indstil åbningstid** giver brugeren mulighed for at indstille hvor længe der skal vandes ad gangen
- **UC5: Indstil vandingsinterval** giver brugeren mulighed for at indstille intervallet imellem vandingerne
- **UC6: Åbn/luk for ventil manuelt** giver brugeren mulighed for at åbne og lukke ventilen manuelt
- **UC7: Indstil vandingstidspunkt** giver brugeren mulighed for at indstille hvornår på dagen der ønskes at vande
- **UC8: Par sensor og kontrolboks** giver brugeren mulighed for parre sensor og kontrolboks

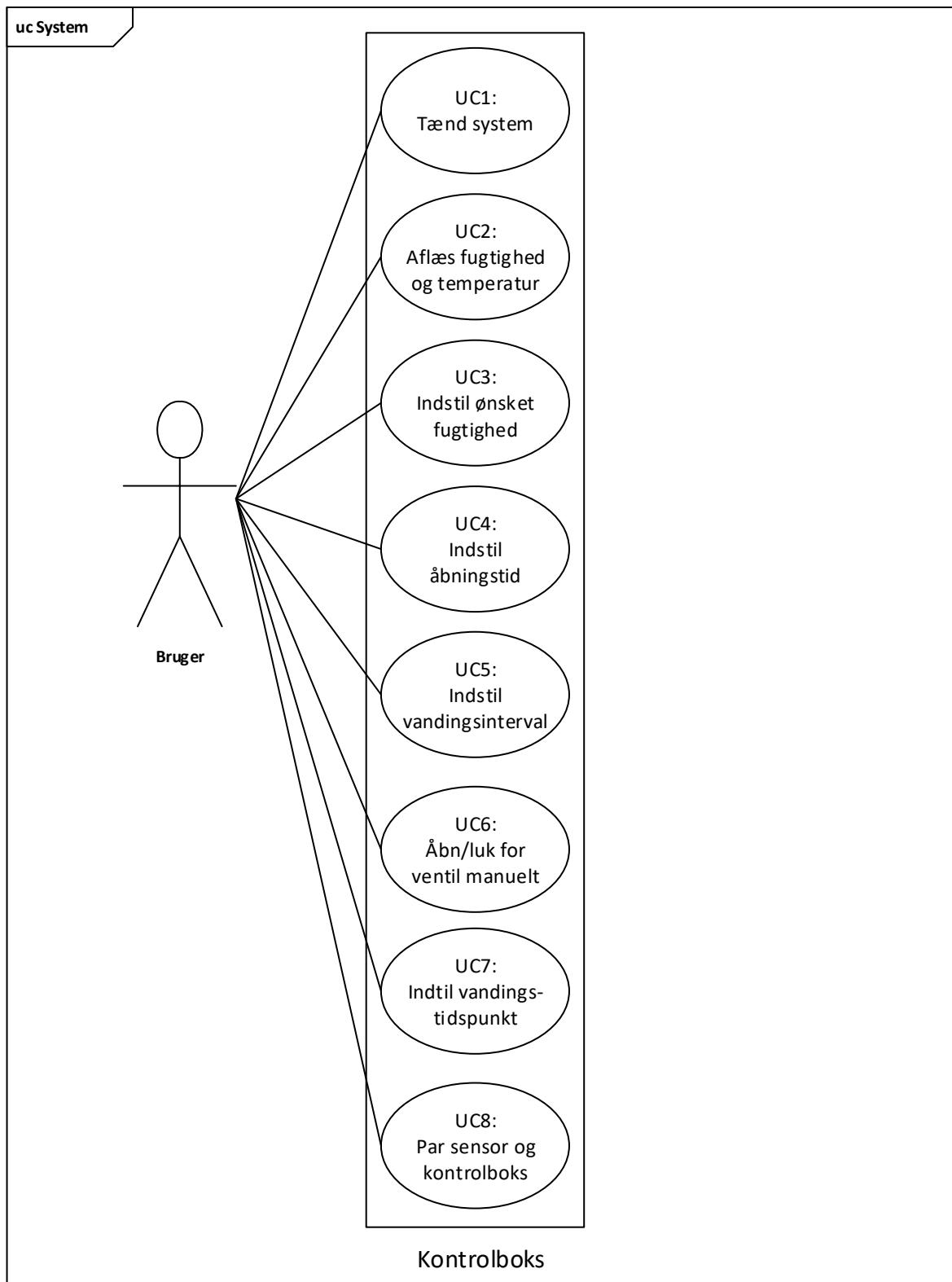
I tabel 1 opstilles de funktionelle krav til systemet, disse krav skal være opfyldt for at systemet betragtes som fuldt funktionelt. Kravene listes med et unik ID således de kan spores tilbage igennem hele dokumentationen. Kravenes ID er givet ved:

- **MC: Mechanical Constraints:** Dette er de mekaniske krav til systemet
- **EL: Electrical Constraints:** Dette er de elektriske krav til systemet
- **CM: Communications Constraints:** Dette er de krav der vedrører kommunikation i systemet
- **UX: User Experience:** Dette er de bruger-relaterede krav til systemet

| ID:   | Krav:   | Prioritet:    |
|-------|---|---------------|
| MC_01 | Systemet skal bestå af en sensor samt en kontrolboks                              | <i>Must</i>   |
| MC_02 | Sensoren skal måle temperatur, jordfugtighed samt lysintensitet                   | <i>Must</i>   |
| MC_03 | Kontrolboksen skal vise jordfugtighed og temperatur på et display                 | <i>Would</i>  |
| MC_04 | Kontrolboksen skal indeholde et tastatur  | <i>Would</i>  |
| MC_05 | Kontrolboksen skal drive en indbygget motorventil til at åbne og lukke for vandet | <i>Would</i>  |
| MC_06 | Systemet skal kunne pre-indstilles til en specifik afgrøde                        | <i>Could</i>  |
| MC_07 | Systemet skal kunne måle PH-værdien i jorden                                      | <i>Could</i>  |
| MC_08 | Systemet skal kunne betjenes fra en smartphone-applikation                        | <i>Would</i>  |
| MC_09 | Systemet skal kunne indeholde flere sensor/kontrolboks par                        | <i>Would</i>  |
| EL_01 | Sensoren skal være batteridrevet  | <i>Must</i>   |
| EL_02 | Kontrolboksen skal kunne forsynes med en 3. parts 5V AC/DC adaptor                | <i>Must</i>   |
| CM_01 | Kontrolboksen skal kunne udveksle data med sensoren via en trådløs forbindelse    | <i>Must</i>   |
| CM_02 | Sensor og kontrolboks skal parres manuelt   | <i>Must</i>   |
| CM_03 | Kommunikation fra sensor til kontrolboks skal virke ved minimum 30m               | <i>Should</i> |
| UX_01 | Bruger skal have mulighed for at åbne/lukke for ventilen manuelt på kontrolboksen | <i>Must</i>   |
| UX_02 | Bruger skal kunne indstille en ønsket jordfugtighed på kontrolboksen              | <i>Must</i>   |
| UX_03 | Bruger skal kunne indstille en åbningstid for ventilen                            | <i>Must</i>   |
| UX_04 | Bruger skal kunne vælge automatisk vandingstidsrum                                | <i>Must</i>   |
| UX_05 | Kontrolboksen skal kunne måle om slangen er sprunget fra, og give fejmelding      | <i>Should</i> |
| UX_06 | Bruger skal kunne indstille en tidsbaseret vandingssekvens                        | <i>Should</i> |

Tabel 1: Funktionelle krav

De ikke-funktionelle krav findes i Kapitel 2 Kravspecifikation på side 5 i dokumentationen.



Figur 1: Use Cases for autovandingssystem

## 4 Design og Implementering

Efter at kravspecifikationen var på plads gik gruppen i gang med implementeringen af både hardware og software. Hardwaren blev lavet først da det herefter var nemmere at skrive softwaren. Dog har der være flere versioner af softwaren samtidig med at hardwaren er blevet ændret. Eks. er der blevet skrevet software til at teste den resistive-målemetode af jordfugten og lavet automatisk kalibrering af kredsløbet til fasemåling af den kapacitive-målemetode. Disse software funktioner er ikke blevet implementeret eller dokumenteret da hardwaren siden er blevet ændret. For et fuld overblik over disse ændringer henvises til projektdokumentationen under afsnittet implementering. Der gives herunder en kort beskrivelse af hver blok og hvordan de er blevet designet og implementeret.

### 4.1 Hardware Design og Implementering

#### 4.1.1 Kontrolboks

##### Mikroprocessor

Mikroprocessoren til kontrolboksen er valgt til at være en Atmel ATMEGA8L i TQFP pakke. Samme mikroprocessor er valgt til sensoren. Valget stod mellem Microchip's PIC serie eller Atmels ATMEGA serie og da der var størst kendskab til programmering af Atmel var det den producent der blev valgt. Fordelen ved Atmel er samtidig at programmet til at programmere mikroprocessoren i, AtmelStudio, er gratis og at der er nogle gode biblioteker som er godt dokumenteret. Microchip kan derimod godt være svære at gennemskue med hensyn til hvad der kræves betaling for.

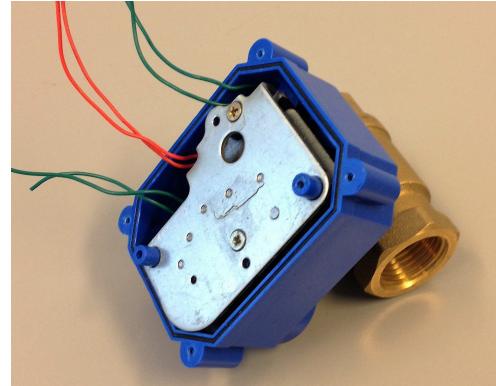
Af perifere enheder på kontrolboksen bruges der SPI til transceiveren, I2C til displayet samt en del analoge pins til kontrol af motorventil og tastatur. På sensoren bruges der også den indbyggede 10-bit SAR ADC.

##### Motorventil

Der blev hos den kinesiske producent Flow-Control bestilt nogle motorventiler hjem. Disse blev i første omgang valgt grundet deres lave pris, omkring 150kr stykket og har en tilslutning som fylder kravet om den skal kunne monteres på et 1/2" vandrør. Ventilen blev adskilt og det sås at der sat et lille print med et relæ til styring af ventilen. Styringen var lavet således at når den enten var i fuldt lukket eller åben position trak den intet strøm. 2 ses motorventilen som den kommer fra producenten. På Figur 3 ses motorventilen adskilt, hvor de grønne ledninger er til posotions-kontakterne og de røde er til motoren.

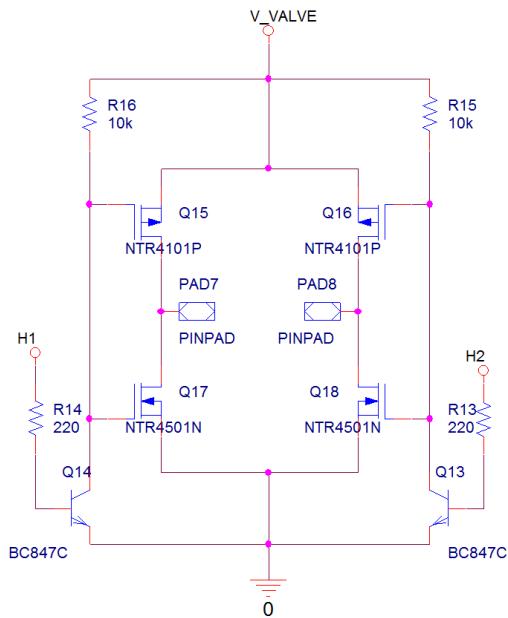


Figur 2: Motorventil



Figur 3: Motorventil adskilt

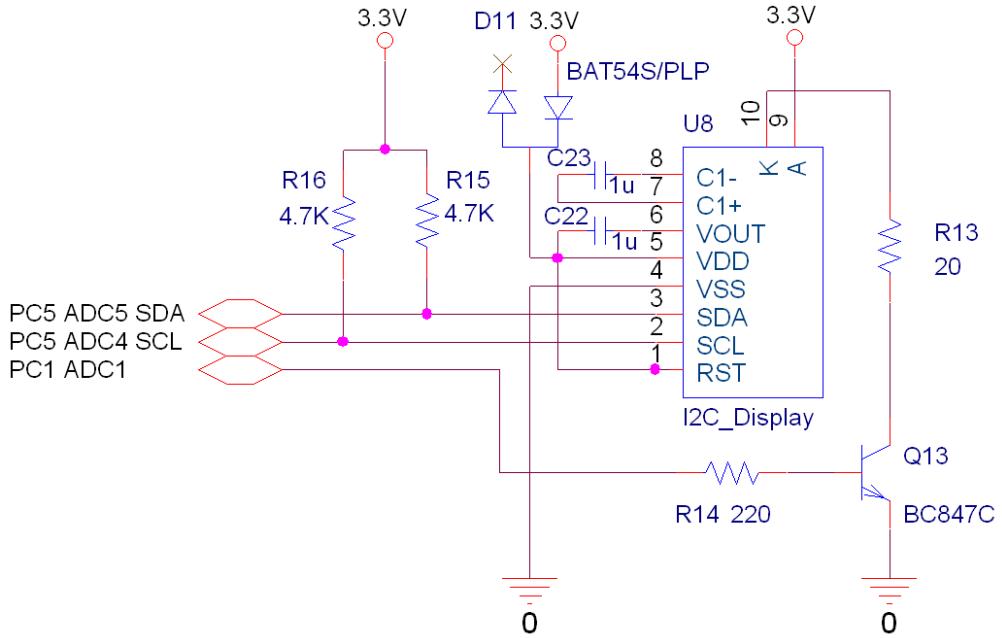
Der blev dog i første omgang designet en relæstyring af ventilen. Men den viste sig at være dyr at producere samtidig med at relæet træk en del strøm når det var sluttet. Herefter blev der designet en H-bro som bruger minimal tomgangsstrøm.



Figur 4: Diagram over H-bro'en

## Display

Af krav til displayet var at det skulle køre på 3.3V, kommunikere over I2C bus og have 16X2 karakterer og have baggrundsbelysning. Ved undersøgelse af flere displays blev Newheaven's display *NHD-C0216CiZ-FSW-FBW-3V3* udvalgt. Dette skyldes primært at display'et har indbygget DC-DC step-up converter således at displayet kan forsynes ned til 2.8V. Normalt kører LCD displays på 5V, hvilket er over forsyningenskravet på 3.3V. Opsætning og kommunikation sker via I2C som kravet foreskriver. Diagrammet for display'et ses på Figur 5.



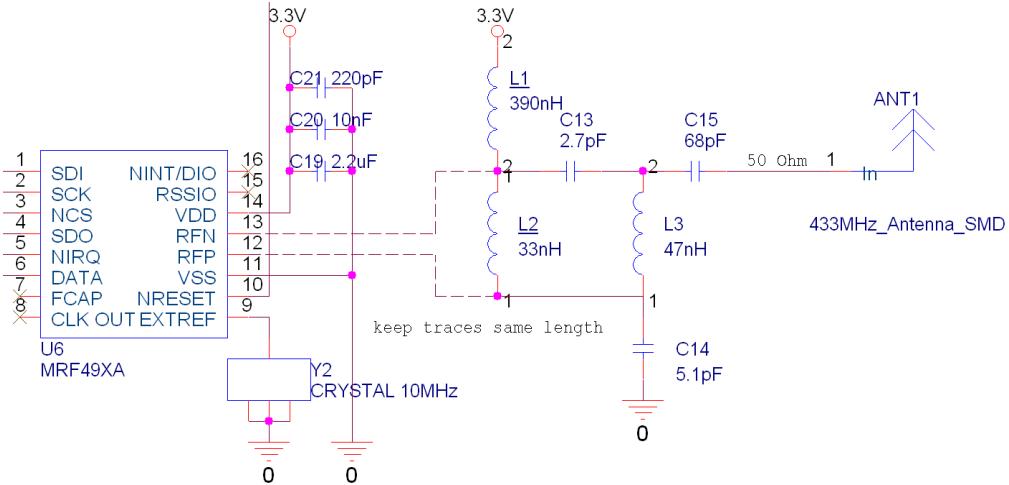
Figur 5: Diagram over I2C Display

D11 sidder for at sænke forsyningsspændingen til omkring 3V da forsyningen ikke må overskride 3.3V. C22 sidde over pin5 og pin6 som udgangskondensator for Step-up konverteren, C23 sidder over pin7 og pin8 som en integreret del af step-up konverteren og disse værdier er valgt ud fra databladet anbefalinger. Derudover benyttes Q13 for at kontrollere LED'en til baggrundsbelysningen hvormed dette kan styres fra software. SDA og SCL linjerne har pull-up modstande påsat som en del af standardopsætning for I2C-bussen.

### HF Transceiver

Der er valgt at benytte en transceiveren MRFX49A fra Microchip, denne er valgt da den opfylder designkravene. Derudover skal denne kreds ikke forprogrammeres som mange andre RF-kredse skal, den kan derimod sættes op ved initialisering fra mikroprocessoren som krævet af systemet. Chippen er som skræddersyet til dette system da den er designet til batteri-applikationer. Den har en indbygget "low battery voltage detection" som afgiver et interrupt til mikroprocessoren når batterispændingen når under et forudindstillet threshold som sættes internt i transceiveren. Dette interrupt bliver brugt på sensoren til at enable boostkonverteren, mere info kan finde i implementeringsafsnittet for transceiveren på sensoren i dokumentationen. Derudover har den også en indbygget wake-up timer således at chippen kan sættes i sleep-mode, herved minimeres strømforbruget til nogle få  $\mu$ A, den kan herefter vækkes op igen efter en forudindstillet tidsperiode. Transceiveren kan kommunikere ved 433/868/915 MHz og ligger derfor i et frekvens område som ofte benyttes i consumer-elektronik. Transceiveren benytter sig af FSK modulation.

På Figur 6 ses implementering af transceiveren på kontrolboksen.



Figur 6: Diagram af MRF49XA på kontrolboksen

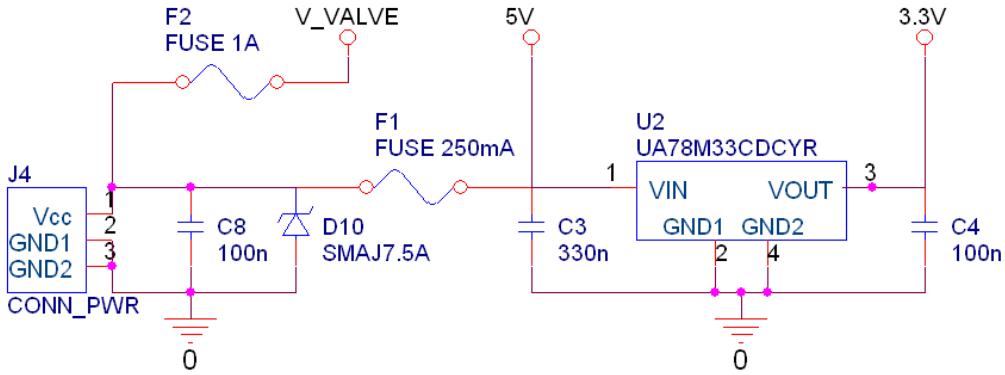
Som udgangspunkt er databladets anbefalinger fulgt. Balun-kredsløbet er designet på baggrund af referencedesignet i databladet. Her er det vigtigt at holde sig til at lavtolerance-komponenter for at holde sig tæt på de  $50\ \Omega$  udgangsimpedans som det kræves af antennen. Det skal dog nævnes at der i databladet er byttet om på værdierne til balun-kredsløbet ved 433MHz og 868MHz i tabellerne under diagrammerne. Det er derfor svært at vide hvilke værdier der er de rigtige. Fejlen blev først opdaget til sidst i projektet da rækkevidden ikke kunne komme længere op end ca 10m. Det er derfor nærliggende at tro det er de forkerte værdier som er blevet monteret.

### Antenne

Der er på kontrolboksen valgt at bruge en SMD-antenne. Dette skyldes at der var begrænset plads i kontrolboksen og at andre løsninger enten ville være for dyre eller mekanisk ustabil. Her var der overvejet at trække en metalwire rundt i hele kontrolboksen som antenne eller at lave et ekstra print med en PCB-antenne. SMD-antennen er af producenten **Johanson Technology** med navn **0433AT62A0020**.

### Strømforsyning

Kontrolboksen forsynes med en ekstern strømforsyning på 5V denne har en tolerence på 10%. Da kontrolboksen internt skal køre på 3.3V er derfor nødvendigt at konvertere spændingen ned. Til dette er brugt en spændingsregulator. Samtidig er der lavet beskyttelse på indgangen således der beskyttes for omvendt polarisation, overspænding samt et for stort strømtræk. Se Figur 7

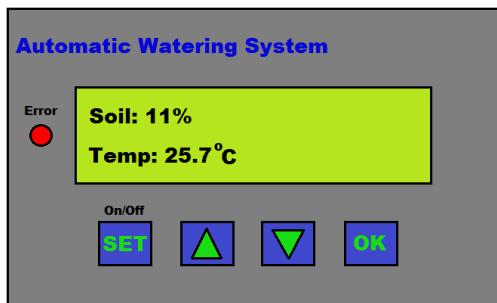


Figur 7: Diagram over strømforsyning

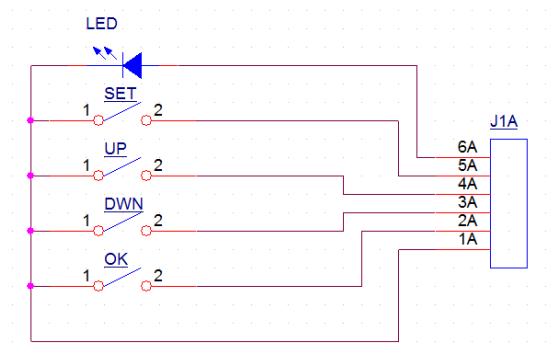
Spændingsregulatoren kan leve op til 500mA hvilket er mere end hvad der er brug for. Allerede sikringen vil sprænge ved et strømforbrug på 250mA. Beregninger som findes i projektdokumentationen i afsnittet strømforsyning på kontrolboks, viser at der trækkes maksimalt omkring 40mA. Spændingsregulatoren kan derfor vælges til en mindre type som samtidig vil være billigere.

### Tastatur

Systemet betjenes via et tastatur der moneres på kontrolboksen. Tastaturet består af 4 knapper som brugeren kan benytte til at navigere rundt i menuen. En sketchup af tastaturet kan ses på Figur 8. SET knappen benyttes til at skifte mellem menupunkterne. Pil-op og Pil-ned benyttes hhv. til at inkrementere eller dekrementere en given værdi. OK benyttes til at gemme indstillingen. For et fuldt overblik over menuen henvises til usecases i sektion 2 i projektdokumentationen. Tastaturet indeholder desuden et vindue til displayet, samt en rød LED der tændes hvis systemet registrerer en fejl. Eks. hvis batterispændingen bliver for lav. I det færdige produkt forventes det at implementere en specialbygget keypad, men til prototypeformål er her benyttet en 4 knappers membrane switch keypad som tastatur.



Figur 8: Skitse af keypad'en som den ønskes i en færdig produktion



Figur 9: Diagram over keypad'en

### 4.1.2 Sensor

#### Mikroprocessor

Som mikroprocessor er der valgt samme type som på kontrolboksen. Her er der dog små ændringer i brugen da den interne ADC bruges til at sample værdierne fra både jordfugtmåleren og lyssensoren.

### Jordfugtmåler

Hovedformålet med jordfugtmåleren er som det fremgår af navnet; at måle jordfugtigheden. Her er der i videnskabelige artikler fundet frem til fire metoder at gøre dette på. En resistiv målemetode [?], en kapasitiv målemetode [?], en optisk målemetode [?] og en metode hvor der bruges en varmepuls [?]. Den resistive målemetode er den simpleste men desværre også den mest upræcise. Der er igennem projektet blevet undersøgt om denne målemetode kunne bruges trods dens begrænsninger og om der kunne findes en løsning der på. Da det viste sig at være svært at forbedre den resistive målemetode blev der herefter undersøgt hvordan der kunne laves en kapasitiv måling. Skalaen som der er brugt at bestemme jordfugten er den volumetriske skala [?].

$$\theta = \frac{V_w}{V_s + V_w + V_a} \cdot 100\% \quad (1)$$

Hvor  $\theta$  er fugtigheden i procent.  $V_w$  er volumen af væsken,  $V_s$  er volumen af jorden og  $V_a$  er volumen af luften indeholdende i jorden. For at gøre det nemmere at bestemme en jordfugtighed afvejes først 1 liter jord, som der sammenpresses nok til at der ikke er noget luft i prøven. Herefter noteres vægten som  $m_{s1L}$  og nu kan ligning 1 omskrives til ligning 2

$$\theta = \frac{m_w}{(m_{wet} - m_w) \cdot \eta + m_w} \cdot 100\% \quad (2)$$

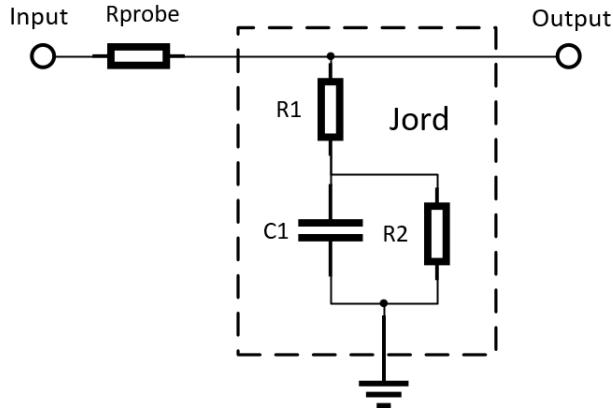
Hvor  $m_w$  er massen af væske,  $m_{wet}$  er massen af den fugtige jord og  $\eta$  er udregnet via vægten af 1 liter jord.

$$\eta = \frac{1}{m_{s1L}} \quad (3)$$

Det er derfor nu muligt at bestemme en jordfugtighed uden at skulle måle volumen af prøven. Til vejning af jordprøver er der blevet brugt en vægt af producenten **Sartorius** model **QUINTIX2102-1S** med en præcision på  $\pm 0.01g$ .

#### *Resistiv måling*

Den resistive målemetode er en metode til at måle den ohmske værdi af jorden. Jo mere vand jorden indeholder jo mere ledende vil jorden være og den ohmske værdi vil herefter falde. Der er dog mange faktorer som kan være med til at give en måleusikkerhed, disse usikkerheder er betinget af selve næringsindholdet i jorden, om jorden er forurenset med metaller eller om proben som der måles med, har været utsat for kraftig tæring. Disse betingelser kunne der kalibreres for, men en kalibrering vil være besværlig for en almindelig bruger af systemet, da det vil kræve at brugeren ovntørrer en jordprøve og herefter tilsætter en præcis mængde vand for at vide med sikkerhed hvilken værdi der skal kalibreres ind efter. Det viste sig dog at der sammen med den resistive måling af jorden også opstod en kapasitiv virkning, som funktion af en stigetid. Ved hjælp af denne kunne der opstilles et ækvivalent-diagram som ses på Figur 10.



Figur 10: Åkvivalentdiagram af jorden

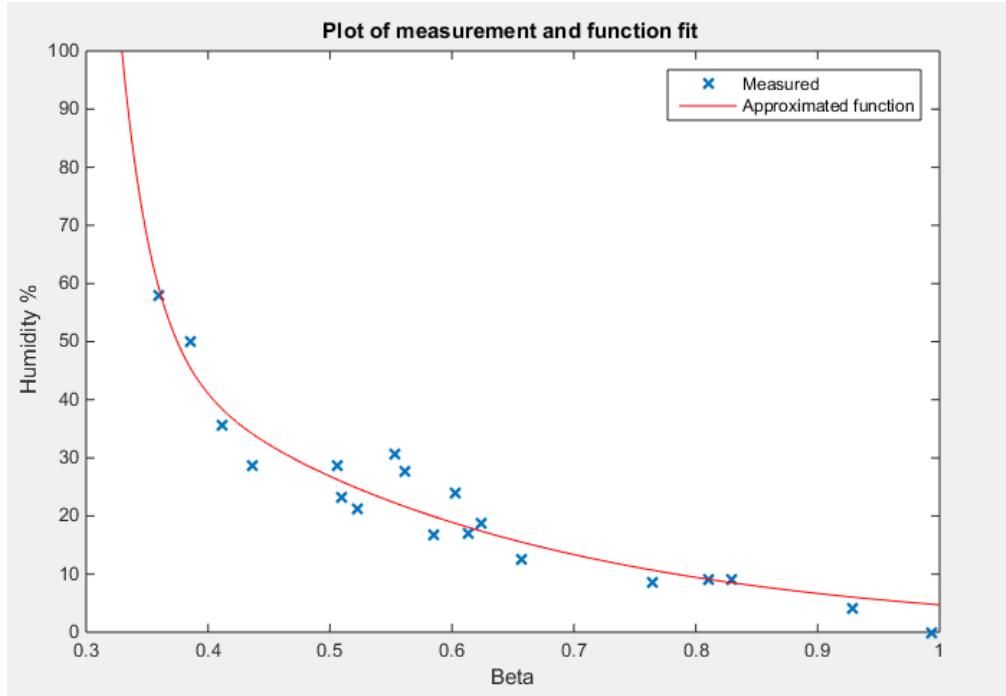
Systemet blev moduleret som et første ordenssystem med overføringsfunktionen:

$$System = \frac{\alpha \cdot \beta}{S + \alpha} \quad (4)$$

Der blev i alt lavet målinger af 3 typer jord. To fra en have og en fra en plantesæk. Både  $\beta$  værdien og  $\alpha$  værdien varierede med fugtigheden af jorden og det var derfor nærliggende at tro at ved brug af begge, ville der kunne opnås en større præcision. Det viste sig dog at  $\alpha$  værdien varierede med tiden siden sidste måling og at den derfor var uegnet til udregning af fugtigheden.  $\beta$  værdien var noget mere præcis, men den varierede meget for hvilken jordtype der var tale om og er derfor hellere ikke egnet til udregning af fugtighed. Se Figur 11 for regression over  $\beta$  værdien i MATLAB. Regressionen blev bestemt til at være:

$$\theta = a \cdot \exp(b \cdot x) + c \cdot \exp(d \cdot x) \quad (5)$$

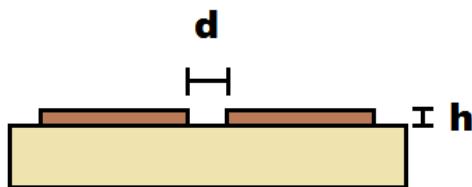
Hvor  $a=2.219 \cdot 10^7$   $b=-39.8$   $c=151.9$   $d=-3.473$



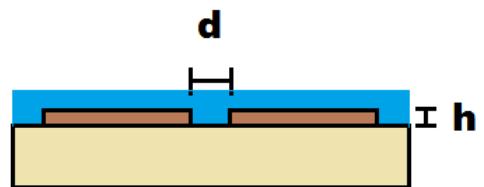
Figur 11: Functionfit i MATLAB

### Kapacitiv måling

Den kapacitive målemetode benytter sig af et jordspyd stukket ned i jorden [?] [?] [?] [?]. På jordspydet er der to kobberplader som vil danne en kapacitet der vil variere afhængig af fugtigheden af den jord det befinner sig i. Se Figur 12 og 13. Kobberbanerne skal dog forinden belægges med en elektrisk isolerende coating for at undgå kortslutning og korodering.



Figur 12: Tværsnit af jordspyd



Figur 13: Tværsnit af jordspyd i vand

For en kapacitet gælder:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \quad (6)$$

Hvor  $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} F/m$  er permaviteten af vaccum,  $\epsilon_r$  er permaviteten af materialet mellem kobberet som er 1 for luft og omkring 80 for vand. A er arealet af det kobber som kan se hinanden og d er diameteren mellem banerne.

Det vil sige at kapaciteten vil blive 80 gange større når jordspydet er stukket ned i rent vand end hvis det var i tør luft. Hvis vi antager at der er 0.3mm mellem banerne, at de har en længde på 5cm,

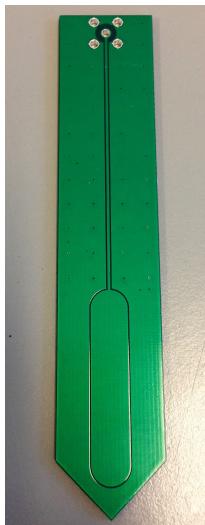
at kobbertykkelsen er  $35\mu m$  og at jordspyddet befinner sig i vaccum. Vil der være en kapacitet på:

$$C = \frac{8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 35 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{0.3 \cdot 10^{-3}} = 0.05pF \quad (7)$$

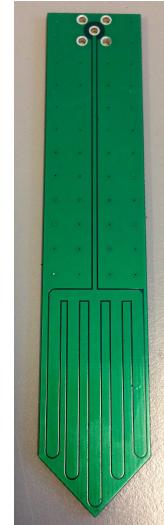
Antager vi at jordspyddet er stukket ned i vand vil vi have en kapacitet 80 gange større:

$$C = \frac{8.854 \cdot 10^{-12} \cdot 80 \cdot 35 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{0.3 \cdot 10^{-3}} = 4.00pF \quad (8)$$

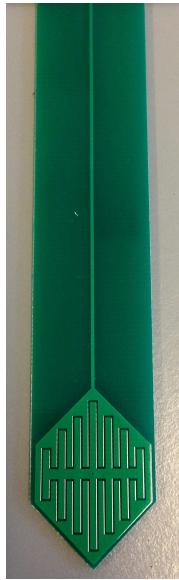
Der er blevet designet 4 typer af jordspyd som er blevet brugt til test. Det viste sig at kapaciteten lå højere end det forventede. Dette skyldes at der er udstråling fra banerne som der er svære at tage med i beregningerne. Se figur 14,15,16,17. Type 1 og 2 er meget ens. De danner begge en kapacitet mellem stelplanet og midterbanen. Størstedelen af kapaciteten vil ligge for enden af spyddet hvor banen er tykkest på Type 1 og gaffelformet på Type 2. Dog er det ikke ligegyldigt hvor dybt spyddes stikkes ned i jorden da der også vil dannes en kapacitet mellem fødebanen og stelplan'et. For at undgå at spyddet skal stikkes ned i en bestemt højde er Type 2 og 3 blevet lavet. Type 3 fører en bane på oversiden af printet hvor der ligger en identisk bane på bagsiden. På den måde skulle kapaciteten ikke ændre sig når der kommer vand længere op end til "diamanten". Test viste dog at kapaciteten alligevel varierede. Det blev lagt et stelplan uden på banerne for at indkapsle dem, ved at skære et andet print til, og lime det på således der laves et 4-lags print. Dette viste sig at have gode egenskaber og derfor skal jordspyddet også laves i 4-lag hvis der en gang skal laves en produktion. Type 4 er delt med et stelplan således at banerne ikke kan se hinanden. Dette print var dog det der performede dårligst da det kun virkede når der lå vand mellem banerne. Kom der først vand ud på stelplan'et blev her dannet en kapacitet som var sammenligning med det der var mellem pladerne og virkningen blev herved reduceret. Der blev herefter testet i en så og prikle jord med Type 1,2 og 3 for sammenhæng mellem kapacitet og fugtighed. Se Figur 18.



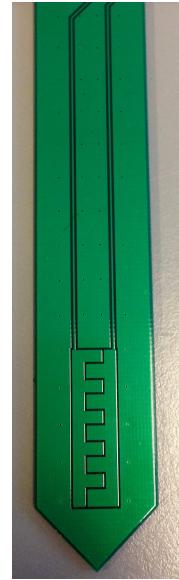
Figur 14: Type 1 jordspyd



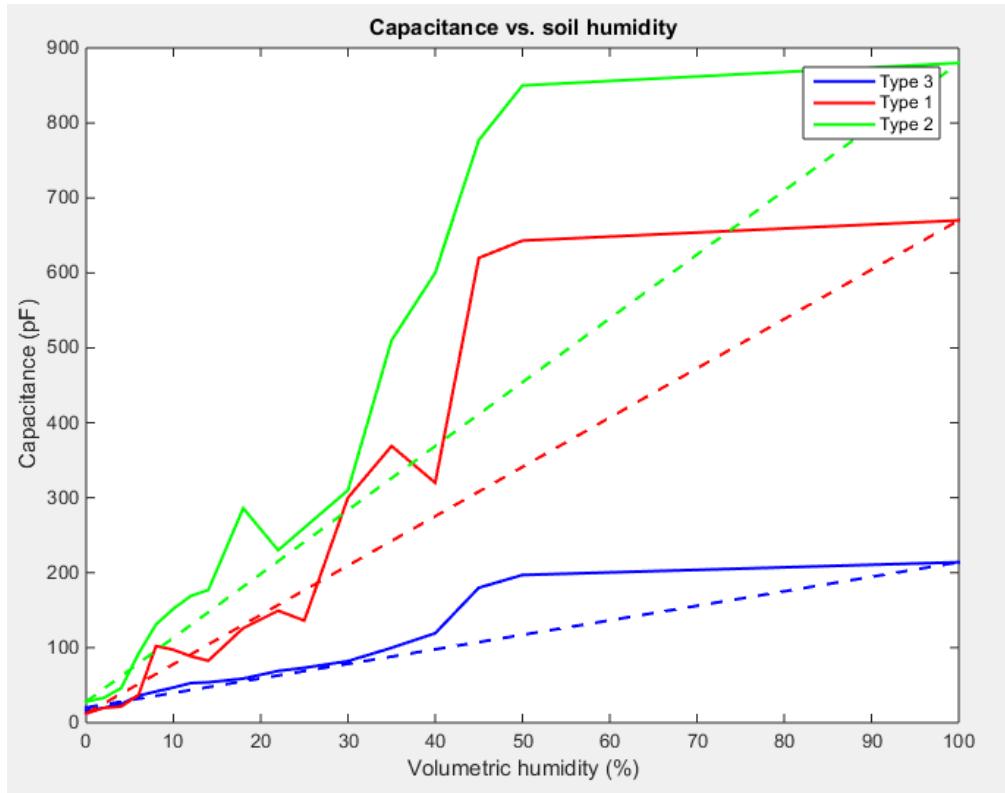
Figur 15: Type 2 jordspyd



Figur 16: Type 3 jordspyd



Figur 17: Type 4 jordspyd



Figur 18: Kapacitet vs. jordfugtighed. Her er målt i en så og priklejord

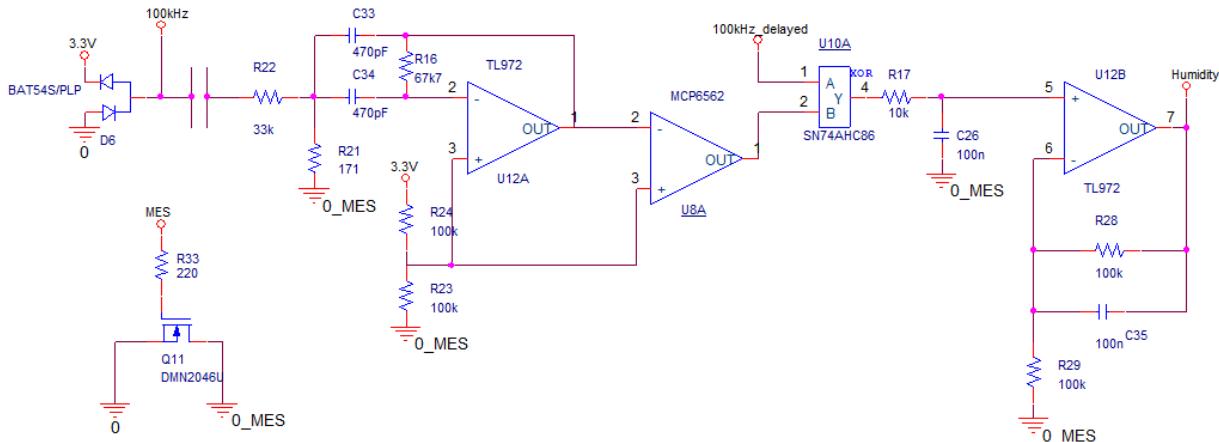
Det ses på Figur 18 at Type 1 og type 2 er meget varierende i deres udslag, men at Type 3 har et pålægget forhold op til omkring 40%. Afvigelsen skyldes at ved 40% bliver jorden så våd at der begynder at ligge mere vand på spydet end hvad der er i jorden. Derfor bliver kapaciteten

højere end hvad den burde. Der kan nu opstilles en formel til beregning af fugtigheden af jorden hvis kapaciteten af spyddet er kendt for både tør og våd.

$$\theta = \frac{C_{wheat} - C_{dry}}{100} \cdot (C - C_{dry}) \cdot \% \quad (9)$$

### Målekredsløb

Det blev overvejet hvordan kapaciteten kunne måles præcist uden at det skulle blive et alt for dyrt kredsløb. Det blev overvejet at lave en amplitude måling af kapaciteten. Men denne viste sig at være meget støjfyldt og meget temperatur afhængig. Herefter blev der designet et kredsløb til måling af faseændringen, som ved hjælp af et båndpass-filter med et højt Q dæmpede støjen betragteligt. Se Figur 19.

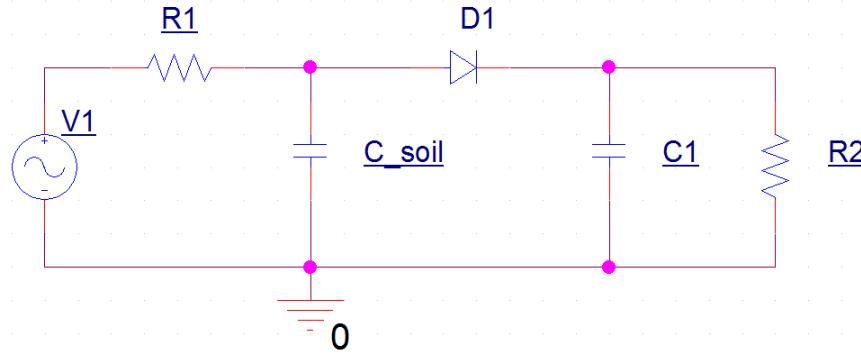


Figur 19: Målekredsløb ver.2

Kredsløbet virker ved at der fra mikroprocessoren kommer en firkantspænding på 100kHz igennem jordspydet som virker som en kondensator. Denne kondensator bliver belastet af R22 således at der totalt opnåes en faseændring på  $55^\circ$  fra 0% fugtighed til 100% fugtighed. Herefter føres firkantspændingen i et båndpasfilter og vil ligge som en faseforskudt sinus på udgangen af U12A. Da U12 er en inverterende forstærker monteres U8A som en komparator der både vender fasen til  $0^\circ$  igen og samtidig sørger for at konvertere sinusen om til en firkant igen, således indgangen af U10A skifter hurtigt. U10A er en XOR-gate som her bruges tom fasedetektion. På indgang B kommer den faseforskudte firkant og på indgang A er en forskudt frekvens fra mikroprocessoren som kalibreres ind ved at kalde en kalibrerings-funktion således der ligger 0V på C26 ved 0% fugtighed. Alt afhængig af fugtigheden i jorden vil der nu ligge en DC på C26. Denne forstærkes som sidste led op af U12B således der gived et bedre dynamisk range til mikroprocessorens ADC. Q11 er blevet monteret for at kunne slukke totalt for målekredsløbet når det er inaktivt for at spare strøm.

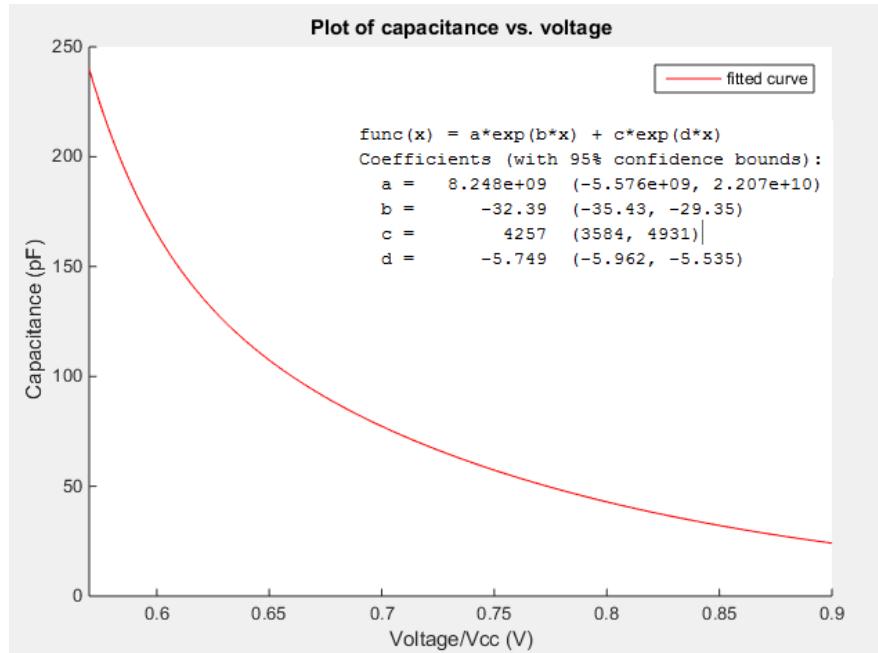
Desværre viste kredsløbet sig at volde store problemer. I første øjekast så det ud til at virke, men ved nærmere iagttagelse sås der at det gav en stor faseforskydelse. Det viste sig at faseforskydelsen opstod i U12A. Der blev testet med en tonegenerator og det blev observeret at der ved en amplitude ændring på indgangen opstod en faseforskydelse på udgangen. Filterets komponentværdier blev ændret til et lavere Q men dette gav intet bedre resultat. Komponent-værdierne blev også skaleret

således udgangen ikke blev belastet så hårdt. Dette hjalp hellere ikke. Til sidst blev det forsøgt at udskifte operationsforstærkeren til en anden type. Dette gjorde dog at båndpassfilteret begyndte at oscillere. Da det begyndte at knibe med tiden blev der derfor implementeret en løsning som i starten var valgt fra pga. dens dårlige støj og temperatur forhold. Se Figur 20.



Figur 20: Amplitudemåling af kondensator

På Figur 21 ses udgangsspændingen vs. kapaciteten. Regressionen er blevet implementeret i mikroprocessoren og en kalibrerings-funktion bliver kaldt når brugeren trykker på connect-knappen på sensoren.



Figur 21: Kapacitet vs. udgangspænding i forhold til forsyningsspændingen

## 4.2 Software Design og Implementering

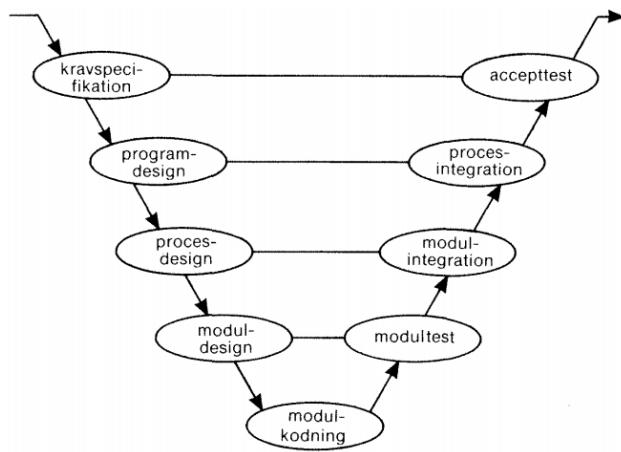
Software design

## 5 Udviklingsprocess

### 5.1 Udviklingsmodeller

#### 5.1.1 V-Model og ASE-Model

Under udvikling af dette projekt at det valgt at følge V-Modellen [1]. Denne model definere forløbet for udviklingsprojektet og egner sig godt til et iterativt projekt, da der let kan køres flere iterationer under implementeringsfasen. Se Figur 22 for denne model.



Figur 22: V-model

I dette projekter modul- og process-integration dog udeladt, og projektet har holdt sig til modul samt accepttests. Derudover er der, som det også fremgår af den iterative beskrivelse i projektdokumentationen udført løbende modultests under implementering af hardware og software.

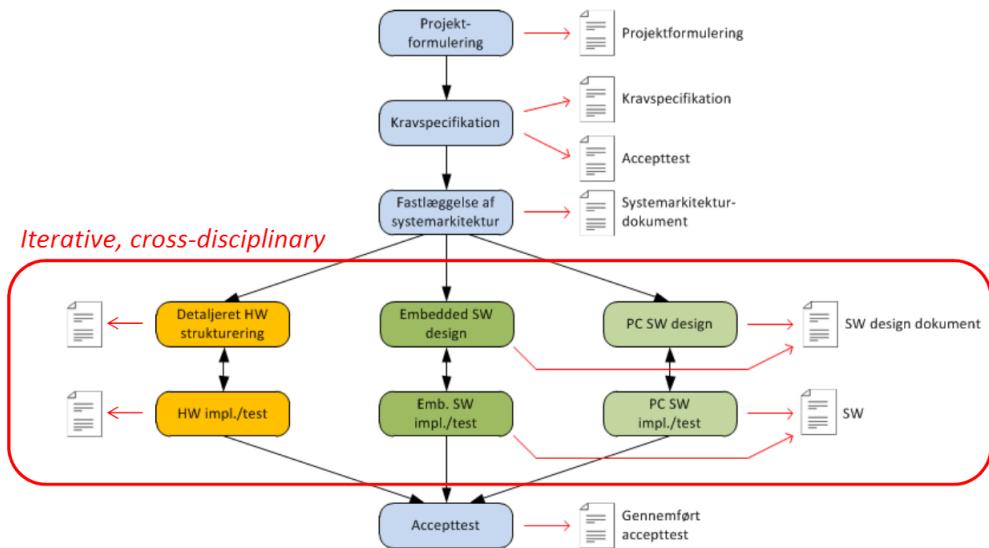
Ud over V-Modellen, er ASE-Modellen [1] taget i brug som en vejledning til gennemførelse af projektet. ASE-modellen kobler hver fase i udviklingsprojektet med en dokument, disse dokumenter udgår herefter projektdokumentationen. Derudover kan der med denne model efter defineret Systemarkitektur udviklet hardware og software hver for sig i et givent antal iterationer, dette samles så til sidst i Accepttesten for hele systemet. Oversigt over ASE-modellen ses på figur 23 på 20.

#### SysML

Projektet har anvendt SysML primært i systemarkitekturfasen, for at beskrive systemet bedst muligt ud industristandarden for opbygning logiske blokke. Muligheden for derefter at beskrive overordnede blokke har givet mulighed for forskellige abstraktionsniveauer i udviklingen af projektet. Veldefinerede grænseflader mellem blokke ved hjælp af SysML har også bidraget til en mere klart defineret designfase og implementeringsfase.

#### Versionsstyring

Der er anvendt versionshistorik på dokumenter i projektdokumentationen samt projektrapport i for git, og for resten af projektet i form af dropbox. Væsentlige ændringer i eks. design har givet anledning til versions-ændring, hvilket hjælper med at holde styr på hvilke større ændringer projektet har gennemgået.



Figur 23: ASE-model

## 5.2 Projektstyring

Tidsplan - Mødestruktur - Arbejdsfordeling

## 5.3 Udviklingsværktøjer

I dette afsnit vil de forskellige udviklingsværktøjer, som er blevet anvendt under dette projekts design-, implementerings- og integrationsproces, blive gennemgået.

### Cadence OrCAD Capture

Cadence OrCAD Capture er brugt til at designe alle hardwarediagrammer til kontrolboks og sensor. Programmet blev valgt da dette er industristandard, samt at der i projektgruppen er et rigtig godt kendskab til dette arbejdsmiljø. Der har ligeledes været mulighed for at oprette et stort antal af egne komponenter der er brugt til designs. Derudover Cadence pSpice-modulet blevet brugt i forbindelse med alle simuleringer. OrCAD integrerer derudover fuldt ud med det valgte layout-tool.

### Cadence Allegro

Cadence Allegro er valgt som Layout-tool da der i projektgrupper er stor erfaring med dette program. Derudover integrerer det fuldt ud med det brugte design-tool, og mulighed derudover crossprobing som markant nedsætter arbejdstiden.

### Atmel Studio 7.0

Atmel Studio 7.0 er benyttet som udviklingsmiljø til al software. Dette miljø er skab af fabrikanten til den valgte mikrokontroller. Derfor var det oplagt at skrive i dette tool.

### AWR Design Environment 11

AWR Design Environment 11 designet af native Instruments er lavet til beregner på højfrekvente kredsløb, her er det benyttet til at lave beregninger på mikrostrip-linjerne til antennerne.

### WaveForms

WaveForms er brugt til at teste de forskellige hardwareenheder samt input/output porte af de forskellige embeddede enheder. WaveForms er et program der integrerer med Analog Discovery-

enheden, som begge er produceret af Analog Devices, og er et multi-funktions instrument med mulighed for bland andet at agere oscilloskop og funktionsgenerator. Fordelen med Analog Discovery er den mobilitet der gives under udviklingen.

#### **PTC MathCad Prime**

PTC MathCad Prime er benyttet til at lave diverse beregninger.

#### **Maplesoft Maple**

Maplesoft Maple er benyttet til at lave diverse beregninger.

#### **MathWorks MATLAB**

MathWorks MATLAB er benyttet til at lave diverse beregninger samt diverse plot og dataanalyser.

#### **Git**

Git er et versionsstyringsværktøj til vedligeholdelse af diverse dokumenter. Som repository host er der valgt Github grundet stabilitet og projektgruppens tidlige arbejde med dette miljø. Projektgruppen har valgt at lægge kildekoden til bl.a. denne rapport og Projektdokumentationen på Git for netop at opnå en kraftfuld versionsstyring af hele projektet.

## 6 Produktion

### 6.1 Produktionsovervejelser

test

### 6.2 Markedsundersøger

test

### 6.3 EMC og Godkendelser

test

## 7 Resultater og Diskussion

Resultater og Diskussion

## 8 Fremtidigt Arbejde

Eftersom at denne prototype kun er 1. iteration af det samlede system er der en del planer for fremtidigt arbejde, det er derfor valgt at dele op i enkelte afsnit afhængig af hvad det omhandler.

## 9 Erfaringer

Erfaringer

## 10 Konklusion

Konklusion

## Litteraturliste

- [1] Introduction to System Engineering Compendium

Type: *kompodium*

Forfattere: *Forskellige forfattere*

Udgivelsessted: *Aarhus Universitet*

Udgivelsesår: *Dato ukendt*

- [2] xxx

Type: *xx*

Forfattere: *xx*

Udgivelsessted: *xxx*

Udgivelsesår: *xx*

Link: *xxx/*

