



AARHUS SCHOOL OF ENGINEERING

SUNDHEDSTEKNOLOGI
3. SEMESTERPROJEKT

Dokumentation

Gruppe 2

Anne Bundgaard Hoelgaard (201404492)
Mette Hammer Nielsen-Kudsk (201408391)
Ditte Heebøll Callesen (201408392)
Martin Banasik (201408398)
Albert Jakob Fredshavn (201408425)
Johan Mathias Munk (201408450)

Vejleder

Studentervejleder
Peter Johansen
Aarhus Universitet

2. december 2015

Gruppemedlemmer

Anne Bundgaard Hoelgaard (201404492)	Dato
Mette Hammer Nielsen-Kudsk (201408391)	Dato
Ditte Heebøll Callesen (201408392)	Dato
Martin Banasik (201408398)	Dato
Albert Jakob Fredshavn (201408425)	Dato
Johan Mathias Munk (201408450)	Dato

Vejleder

Peter Johansen	Dato
----------------	------

Ordliste

Ord	Forklaring
(F)URPS+	Et akronym, der repræsenterer en model til klassificering af softwarens kvalitet
GUI	Graphical User Interface (Grafisk brugergrænseflade)
VPN	Virtual Private Network
DAQ	Data acquisition

Indholdsfortegnelse

Ordliste	ii
Kapitel 1 Indledning	1
Kapitel 2 Kravspecifikation	3
2.1 Versionshistorik	3
2.2 Godkendelsesformular	3
2.3 Indledning	4
2.4 Systembeskrivelse	4
2.5 Funktionelle krav	4
2.5.1 Aktør-kontekstdiagram	4
2.5.2 Aktørbeskrivelse	5
2.5.3 Use case-diagram	5
2.5.4 Use Cases	6
2.6 Ikke-funktionelle krav	9
2.6.1 (F)URPS+	9
Kapitel 3 Systemarkitektur	12
3.1 Hardware	12
3.1.1 Design	12
3.1.2 Implementering	14
3.1.3 Modultest	17
3.2 Software	20
3.2.1 Design	20
3.2.2 Implementering	26
3.2.3 Modultest	26
Kapitel 4 Accepttest	28
4.1 Accepttest af Use Cases	28
4.2 Indledning	28
4.2.1 Use Case 1	28
4.2.2 Use Case 2	29
4.2.3 Use Case 3	30
4.2.4 Use Case 3 - Undtagelse 1	31
4.2.5 Use Case 4	31
4.2.6 Use Case 4 - Undtagelse 1	32
4.2.7 Use Case 5	33
4.3 Accepttest af ikke-funktionelle krav	34
4.4 Godkendelsesformular	40
Litteratur	41

Figurer	41
----------------	-----------

Indledning 1

I dag bruges blodtryksmålere mange steder, både på hospitalet og i hjemmet. [?] Blodtryksmålere kan måle en persons blodtryk, hvor den viser puls, samt diastoliske- og systoliske tryk i numeriskform og afbilledet i en graf.

Vi har valgt at arbejde ud fra, at blodtryksmåleren skal bruges til forskning. Derfor skal systemet gemme samtlige målinger, der bliver foretaget, så en forsker senere kan tilgå dem. Samtidig skal selve puls og tryk vises på en graf, som skal være nem at aflæse. Brugeren vil kunne benytte målere gennem et interface, hvor han kan starte og gemme målinger. Det er også her grafen vises.

Der var fra start givet nogle krav som systemet skulle opfylde, samtidig har vi tilføjet nogen for at få de ting løst, vi som gruppe synes var vigtige. Disse kan findes i kravspecifikationen og i krav.

Nærmere informationer om opbygning af Hardware og Software kan findes i systemarkitektur, som er delt ind efter Hardware og Software. Her under findes også modultests. Under integrationstest kan det ses, hvordan vi har testet hele systemet samlet, både Hardware og Software. Under accepttest ses, om systemet opfylder kravene der blev sat.

Ansvarsområde

Initialer:

Albert Jakob Fredshavn - AJF

Martin Banasik - MBA

Mette Hammer Nielsen-Kudsk - MHNK

Ditte Heebøll Callesen - DHC

Johan Mathias Munk - JMM

Anne Bundgaard Hoelgaard - ABH

Afsnit	Ansvarlig
--------	-----------

Indledning	
------------	--

Kravspecifikation	
-------------------	--

Hardware arkitektur	
---------------------	--

Software arkitektur	
---------------------	--

Software implementering	
-------------------------	--

Accepttest	
------------	--

Fejlrapport

Kravspecifikation 2

2.1 Versionshistorik

Version	Dato	Ansvarlig	Beskrivelse
0.1	21-09-2015	MHNC og MB	Oprettelse og udfyldning af kravspecifikation
0.2	24-09-2015	DHC og ABH	Omskrivning af UC1 - UC5
0.3	28-09-2015	ABH	Ikke-funktionelle krav
0.4	08-10-2015	Alle	Tilrette efter review med Grp. 1
0.5	15-10-2015	MB	Indskrevet i LaTeX
0.6	20-10-2015	MHNC	Tilretning
0.7	26-11-2015	MHNC	Retning af hele kravspec.

2.2 Godkendelsesformular

Forfattere Anne Hoelgaard, Ditte Heebøll, Martin Banasik, Albert Fredshavn,
Mathias Munk og Mette Hammer Nielsen-Kudsk

Godkendes af Peter Johansen

Antal sider 41

Kunde IHA

Ved underskrivelse af dette dokument accepteres det af begge parter, som værende kravene til udviklingen af det ønskede system.

Sted

Dato

Kundens underskrift

Leverandørens underskrift

2.3 Indledning

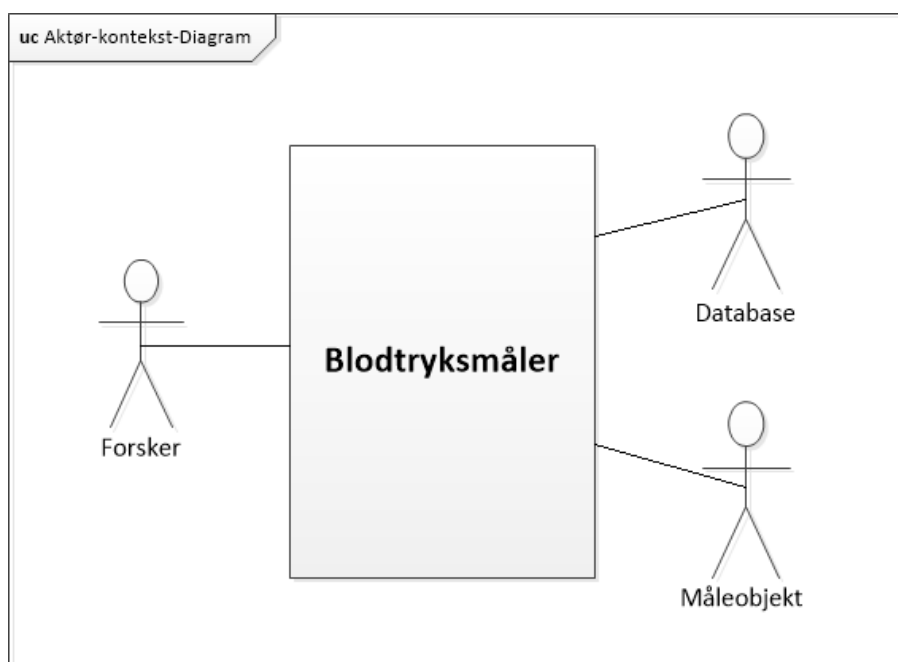
På baggrund af krav fra kunden samt hvad leverandøren finder muligt, er denne kravspecifikation blevet udarbejdet. Denne kravspecifikation har til formål at specificere kravene til produktet. Dette projekt tager udgangspunkt i en blodtryksmåler, hvortil der er en række aktører, som interagerer med et system, der er beskrevet yderligere nedenfor.

2.4 Systembeskrivelse

Blodtryksmålersystemet ønskes udviklet således at systolisk og diastolisk blodtryk samt puls kan bestemmes ud fra en invasiv arteriel blodtryksmåling. Der udvikles instrumentering til den udleverede transducer som hardware og et software-program til kontinuerligt visning af målt blodtryk, samt til udskrivelse af løbende systoliske, diastoliske og puls værdier. Disse to dele udgør til sammen systemet.

2.5 Funktionelle krav

2.5.1 Aktør-kontekstdiagram



Figur 2.1: Aktør-kontekstdiagram

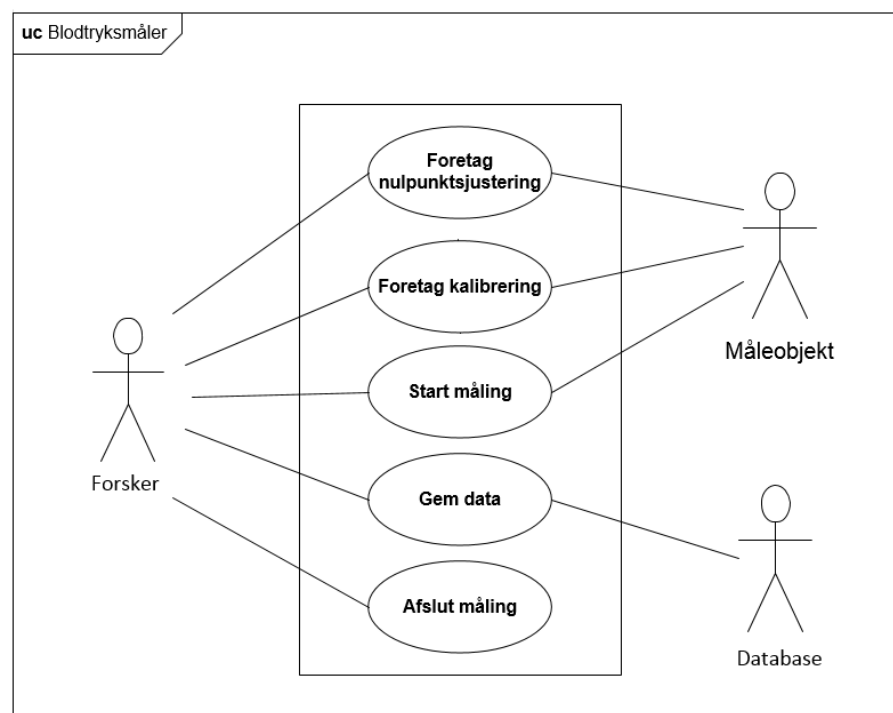
Af dette diagram ses vores aktører til at være: Forsker, Måleobjekt og Database. Herunder er der en detaljeret beskrivelse af hver aktør.

2.5.2 Aktørbeskrivelse

Aktørnavn	Type	Beskrivelse
Forsker	Primær	Forskeren er aktøren, der starter og giver besked om at data ønskes gemt samt afslutter fysisk måling af blodtryk
Database	Sekundær	Databasen er aktøren, hvori måledata bliver gemt
Måleobjekt	Sekundær	Måleobjekt er aktøren, hvorfra blodtrykssignalet indhentes. Måleobjektet er tilkoblet transduceren I den endelige version er måleobjektet In Vitro maskinen, som findes i Cave Lab Under løbende test i udviklingsprocessen benyttes Analog Discovery og Waveform

Tabel 2.3: Aktørbeskrivelse

2.5.3 Use case-diagram



Figur 2.2: Use Case-diagram

Diagrammet ovenfor viser at systemet har fem Use Cases: Foretag nulpunktsjustering, Foretag kalibrering, Start måling, Gem data og Afslut måling. Herunder følger en nærmere beskrivelse af de enkelte Use Cases, gennem et fully-dressed Use Case skema.

Systemet består af en computer, hvor softwaren er placeret, en NI-DAQmx, en Analog Discovery samt en transducer med tilhørende implementering. Systemet gør det muligt at foretage en blodtryksmåling på et måleobjekt, som er tilsluttet og sender disse signaldata

ind i systemet via transduceren og det tilhørende hardware, hvor signalet vises. Det ønskede interval af blodtrykssignalet gemmes så i databasen.

I systemet benyttes algoritmer til at analysere signalet, ud fra opsatte grænseværdier, så systolisk, diastolisk og puls værdier hentes frem. Disse algoritmer undersøger signalet for hvor top og bund er placeret. Da top er signalets systoliske værdi og bund er signalets diastoliske. Puls bestemmes ved at tælle antallet af blodtryksperioder pr. minut.

Brugergrænseflade er det, som forsker initierer med, altså herfra hvor systemet aktiveres. Brugergrænsefladen forkortes til GUI.

2.5.4 Use Cases

Use Case 1

Scenarie	Hovedscenarie
Navn	Foretag nulpunktsjustering
Mål	At få foretaget en nulpunktsjustering
Initiering	Startes af Forsker
Aktører	Forsker (primær), Måleobjekt (sekundær)
Referencer	
Samtidige forekomster	Én nulpunktsjustering pr. kørsel
Forudsætninger	Alle systemer er ledige og operationelle
Resultat	Nulpunktsjustering er blevet foretaget efter ønske
Hovedscenarie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pop-up vindue for nulpunktsjustering er åbent 2. Forsker trykker på: <ol style="list-style-type: none"> a. Ja-knap for at starte en nulpunktsjustering <ol style="list-style-type: none"> i. System beder om udlignelse af atmosfærisk tryk ii. System venter på bekræftigelse fra forsker iii. Nulpunktsjustering foretages og vinduet lukker efter endt justering b. Nej-knap for ikke at få foretaget en nulpunktsjustering <ol style="list-style-type: none"> ii. Vinduet lukker
Undtagelser	-

Tabel 2.4: Fully dressed Use Case 1

Use Case 2

Scenarie	Hovedscenarie
Navn	Foretag kalibrering
Mål	At få foretaget et valg om kalibrering, samt evt. udført kalibrering
Initiering	Startes af Forsker
Aktører	Forsker (primær), Måleobjekt (sekundær)
Referencer	Use Case 1
Samtidige forekomster	Én kalibrering pr. kørsel
Forudsætninger	Alle systemer er ledige og operationelle
Resultat	Kalibrering er blevet foretaget efter ønske
<hr/>	
Hovedscenarie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pop-up vindue for kalibrering er åbent 2. Forsker trykker på: <ol style="list-style-type: none"> a. Ja-knap for at starte en kalibrering <ol style="list-style-type: none"> i. System beder om signal til justering ii. System venter på bekræftigelse fra forsker iii. Kalibrering foretages og vinduet lukker efter endt kalibrering b. Nej-knap for ikke at få foretaget en kalibrering ii. Vinduet lukker
Undtagelser	-

Tabel 2.5: Fully dressed Use Case 2

Use Case 3

Scenarie	Hovedscenarie
Navn	Start Måling
Mål	At få foretaget en blodtryksmåling
Initiering	Startes af Forsker
Aktører	Forsker (primær), Måleobjekt (sekundær)
Referencer	Use Case 1 og Use Case 2
Samtidige forekomster	Ét signal pr. måling

Forudsætninger	Use Case 1 og Use Case 2 er kørt succesfuldt, samt alle systemer kører og er klar til at foretage en måling
Resultat	Systolisk-, diastolisk blodtryk samt puls bliver vist på GUI
Hovedscenarie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Forsker indtaster Forsøgsnavn 2. Filteret signal er valgt per default af systemet <i>[Undtagelse 1:]</i> Forsker vælger ufiltreret signal på radiobutton 3. Forsker trykker på Start-knap på GUI 4. Signal for blodtryk vises på GUI 5. Systolisk og diastolisk blodtryk samt puls bliver vist i bokse på GUI
Undtagelser	<i>[Undtagelse 1]</i> Forsker vælger ufiltreret signal <ol style="list-style-type: none"> a. Use Case fortsættes fra punkt 3

Tabel 2.6: Fully dressed Use Case 3

Use Case 4

Scenarie	Hovedscenarie
Navn	Gem data
Mål	At gemme data i databasen
Initiering	Startes af Forsker
Aktører	Forsker (primær), Database(sekundær)
Referencer	Use Case 1 - 3
Samtidige forekomster	Ét signal pr. måling
Forudsætninger	Use Case 1 og 2 er kørt succesfuldt, Use Case 3 kører. VPN er tilsluttet
Resultat	Systolisk- og diastolisk blodtryk samt puls er blevet gemt i en Database under Forsøgsnavn
Hovedscenarie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Forsker trykker på Gem-knap 2. Systemet gemmer det fremadrettede ufiltreret signal i Database 3. Forsker trykker på Gem-knap for at stoppe med at gemme

	[<i>Undtagelse 1:</i>] Forsker trykker på Afslut-knap
4.	Det fremgår af GUI at data er gemt
Undtagelser	[<i>Undtagelse 1:</i>] Forsker trykker på Afslut-knap
a.	Systemet stopper med at gemme, hvorefter systemet lukker

Tabel 2.7: Fully dressed Use Case 4

Use Case 5

Scenarie	Hovedscenarie
Navn	Afslut måling
Mål	At stoppe måling af blodtryk
Initiering	Startes af Forsker
Aktører	Forsker (primær)
Referencer	Use Case 1 -3
Samtidige forekomster	Ét signal pr. måling
Forudsætninger	Use Case 1 og 2 er kørt succesfuldt, Use Case 3 kører
Resultat	Måling af blevet stoppet
Hovedscenarie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Forsker trykker på Afslut-knap 2. Måling stopper, hvorefter systemet lukker
Undtagelser	-

Tabel 2.8: Fully dressed Use Case 5

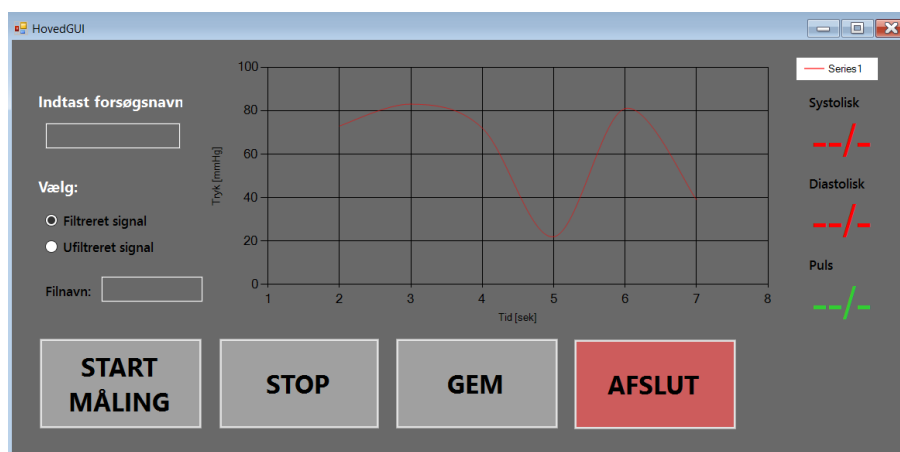
2.6 Ikke-funktionelle krav

2.6.1 (F)URPS+

Functionality

1. Blodtryksmåleren skal indeholde en Start-knap til at igangsætte målingerne.
2. Blodtryksmåleren skal indeholde en Afslut-knap hvorfra måling kan stoppes.
3. Blodtryksmåleren skal indeholde en Gem-knap til at gemme målingerne i Databasen.

4. Blodtryksmåleren skal indeholde en tekstboks til forsøgsnavn, hvori forsker indtaster det pågældende forsøgsnavn.
5. Blodtryksmåleren skal indeholde radiobutton til filtreret signal, denne skal være default valget.
6. Blodtryksmåleren skal indeholde radiobutton til ufiltreret signal.
7. Blodtryksmåleren skal indeholde tekstbokse til puls, systolisk og diastolisk blodtryk som vises med op til tre cifre.
8. GUI'en skal se ud som vist på figuren herunder:



Figur 2.3: Skitse af GUI

Usability

1. Forskeren skal kunne starte en default-måling maksimalt 30 sekunder efter systemet er startet.

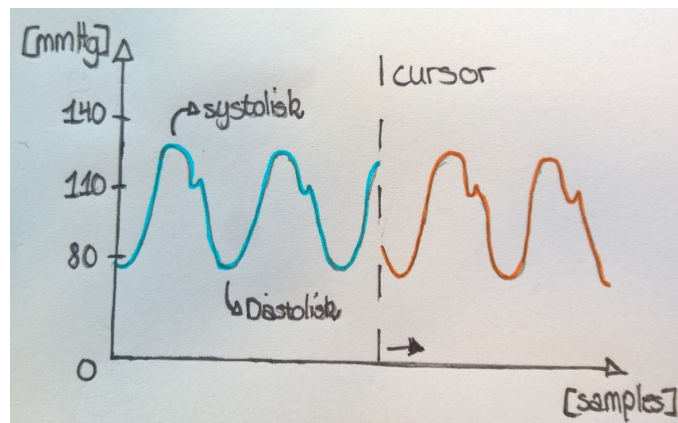
Reliability

1. Det skal maksimalt tage 5 timer at gendanne systemet (MTTR - Mean Time To Restore)
2. Systemet skal have en opetid uden nedbrud på minimum 1 måned (720 timer) (MTBF - Mean Time Between Failure).
3. Systemet skal have en opetid/køretid på:

$$Availability = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 = \frac{720}{720 + 5} * 100 = 99,31\% \quad (2.1)$$

Performance

1. Blodtryksmåleren skal, indenfor 3 sekunder, kunne vise systolisk og diastolisk blodtryk via graf. Dette accepteres med en tolerance på $\pm 15\%$.
2. Blodtryksmåleren skal, inden for måleperioden, kunne alarmere hvis måleobjekt har forhøjet eller for lavt blodtryk. Defineres efter grænseværdier beskrevet i... xxxx...
3. Blodtryksmåleren skal, indenfor 30 sekunder fra der er trykket på Gem-knap, kunne gemme målingerne i Databasen. Dette accepteres med en tolerance på $\pm 15\%$.
4. Grafen vises i ét vindue, hvor y-aksen måles i mmHg (millimeter kviksølv) og x-aksen i tid pr. sekund.
5. Hvert 7. sekund skal værdier for systolisk og diastolisk blodtryk samt puls opdateres. Dette accepteres med en tolerance på $\pm 15\%$.
6. Graf for blodtryk skal køre kontinuerligt i GUI efter følgende princip, hvor det blå signal erstatter det orange signal ved at den seneste måling altid sættes ved cursorens placering.



Figur 2.4: Graf for blodtryk

7. Når der trykkes på Gem-knap gemmes det ufiltrerede signal under det indtastede forsøgsnavn og et autogenerated nr. "forsøgsnavn_nr".
8. Systemet skal kunne måle blodtryksværdier fra 0 til 250 mmHg.

Supportability

1. Forskeren skal kunne udskifte hardwaren på 10 minutter.
2. Softwaren skal opbygges med lav kobling.

Systemarkitektur 3

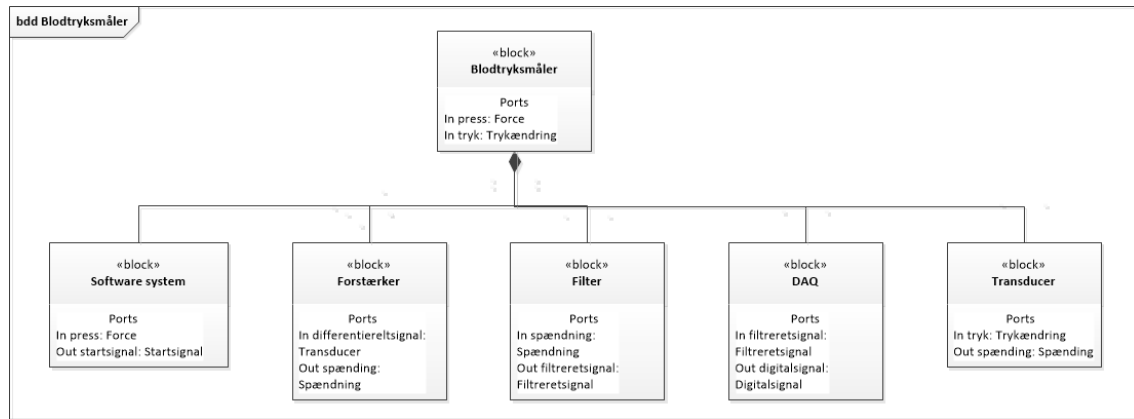
Version	Dato	Ansvarlig	Beskrivelse
0.1	03-11-2015	MB	Oprettelse
0.2	10-11-2015	DHC, MB	HW Start af skrivning, indsætning af billeder
0.3	11-11-2015	DHC	HW Design Forstrækning
0.4	18-11-2015	ABH	HW Rettelse af diagrammer
0.5	18-11-2015	DHC, AJF	HW Implementering Forstrækning, Modultest Lavpas
0.6	18-11-2015	MHNC, MJM	SW Design, Udkast til domænemodel
0.7	18-11-2015	ABH	SW Design, Metodeidentifikation
0.8	20-11-2015	MHNC	Indskrivning af alle sekvensdiagrammer
0.9	26-11-2015	DHC	HW Modultest, Kalibrering ved vandsøjle
1.0	26-11-2015	DHC, AJF	HW Design Lavpas

I det følgende beskrives arkitekturen for systemet. Systemarkitekturen er vores udviklingsramme for den videreudvikling af design og implementering af blodtrykssystemet. Designet af systemet er grebet an således at der først kigges på det overordnede system, hvorefter systemet arbejdes ned i mindre brudstykker. Dette gøres ved at benytte diagrammer med tilhørende beskrivelser.

3.1 Hardware

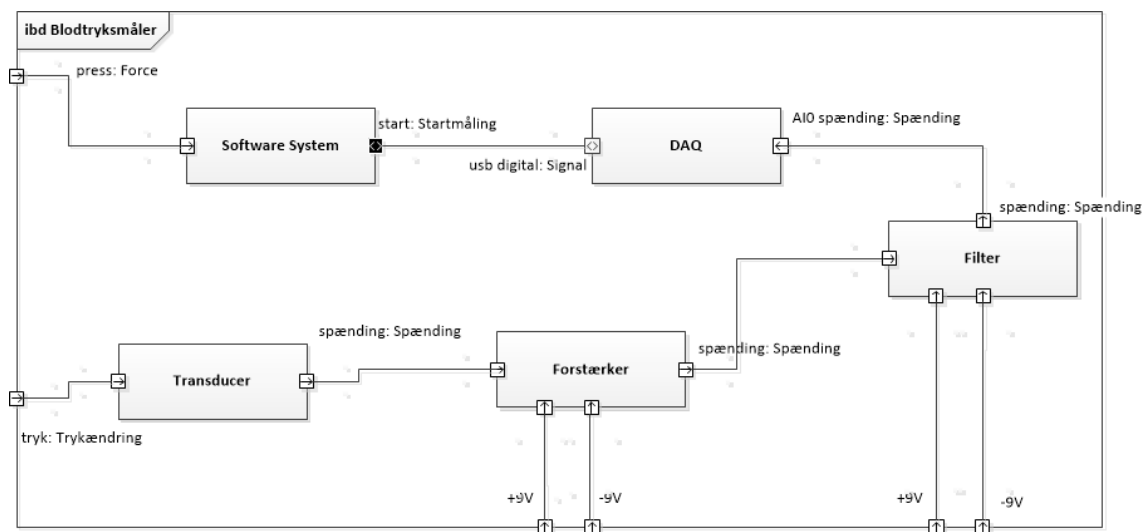
3.1.1 Design

Systemets hardware kan illustreres i et BBD. Det ses at nedenstående figur at systemet består af fem hardware blokke: software system, forstærker, filter, DAQ og transducer. Disse fem blokke udgør til sammen selve blodtryksmåleren.



Figur 3.1: Block Definition Diagram for hardware

Ovenstående BDD-diagram fører videre til udarbejdelsen af IBD for hardware komponenterne. I dette diagram vises koblingen mellem de forskellige blokke gennem port forbindelser. Det ses at signalet starter ved transduceren, hvorefter det bliver behandlet gennem forstærker, filter og DAQ. Til sidste sendes det ind i software systemet, som bliver påvirket af tryk på knapper på GUI.



Figur 3.2: Infernal Block Diagram for hardware

Forstærkning

Transduceren måler en trykændring som den omsætter til en spænding. Dette er udtrykt ved et differentieret signal, som sendes ind i forstærkning-blokken. Da signalet fra transduceren er en lav spænding, skal det forstærkes op, for at det passer med DAQ'ens input. Denne forstærkning skal udregnes ud fra det maksimale output fra transduceren og det maksimale input til DAQ'en. Se under Implementering.

Under simulering bruges Analog Discovery som en funktionsgenerator, der simulerer det differentieret signal. Analog Discovery har en usikkerhed, når der arbejdes med små spændinger. Dette kan modarbejdes vha. spændingsdeler princippet. Dette gør at Analog Discovery kan sende en højere spænding ind i systemet, så usikkerheden mindskes.

Lavpas

I projektet skal der laves et 2. ordens lavpasfilter. Filteret skal laves for at sikre, at der ikke opstår aliasering. Det sikre derfor at der ikke er noget signal ved den halve samplingsfrekvens.

Aliasering [?] er, hvor signalet bliver gentaget. Når man har signalet i det digitale domæne, bliver spektret for signalet en periodisk funktion. Det vil sige, at den gentager sig selv, efter et bestemt stykke tid.

Det skal sikres, at der ikke kommer overlap mellem signalet og et alias. Da det ellers kunne give anledning til misforståelser. Derfor laves et lavpasfilter som sikre at der ikke ligger noget signal ved den halve samplingsfrekvens. Signalet her kan med fordel gøre så lille at DAQ'en ikke kan læse det, dvs. signalet skal være mindre end $1/2 \cdot LSB$ (Least Significant Bit).

Lavpasfilteret skal være et Sallen-Key Butterworth-filter med en knæfrekvens på 50 Hz og en samplingsfrekvens på 1kHz. Ud fra oplysninger givet til projektet, vides det at filteret skal dæmpe signalet med 20 dB, under antagelse af at den forekommende støj er mindre end signalet, også når det forekommer over knæfrekvensen.

Ved en typisk blodtryksmåling forekommer der ikke signal over 50 Hz, samtidigt er signalet her aftaget med ca. 70 dB. For at få signalet, ved den halve samplingsfrekvens til at være $1/2 \cdot LSB$, skal det ydeligere dæmpes 20 dB. Derfor oplyses filterets til at være 50 Hz, da dette giver en minimums dæmpning på 20 dB pr. dekade.

3.1.2 Implementering

Forstærkning

For at få den rette forstærkning er det blevet valgt at benytte operationsforstærkeren INA-114. Her kan transduceren sættes på med det differentieret signal. Under opbygning og modultestning vil det differentieret signal blive simuleret af Analog Discovery. For at udregne den korrekte forstærkning bruges følsomheden fra transduceren og eksistationsspændingen. Først udregnes det maksimale output fra transduceren:

$$9V \cdot 250mmHg \cdot 5 \cdot 10^{-5}uv/V/mmHg = 11.25mV \quad (3.1)$$

Da det er besluttet at den maksimale input til DAQ'en er 5V, kan forstærkningen (Gain) nu udregnes:

$$\begin{aligned} 5V &= 11.25mV \cdot G \\ G &= 444.44 \end{aligned} \quad (3.2)$$

For at få den rette forstærkning udregnes den eksterne modstand (R_g) til INA114. INA114's forstærkning kommer af størrelsen på R_g , hvis modstanden er stor, er forstærkningen lille og vice versa. R_g udregnes ved formelen:

$$\begin{aligned} G &= 1 + \frac{50k\Omega}{R_g} \\ 444.44 &= 1 + \frac{50k\Omega}{R_g} \Rightarrow R_g = 112.75\Omega \end{aligned} \quad (3.3)$$

Derved fås en værdi for den eksterne modstand til INA114, som skaber den ønskede forstærkning.

Det skal nu sikres at dette kan lade sig gøre. Derfor sikres det, at den ønskede forstærkning kan ske ved båndbredden. Dette kan undersøges da produktet af forstærkning og båndbredde er en konstant. Konstanten aflæses i databladet. XX-reference til datasheet.

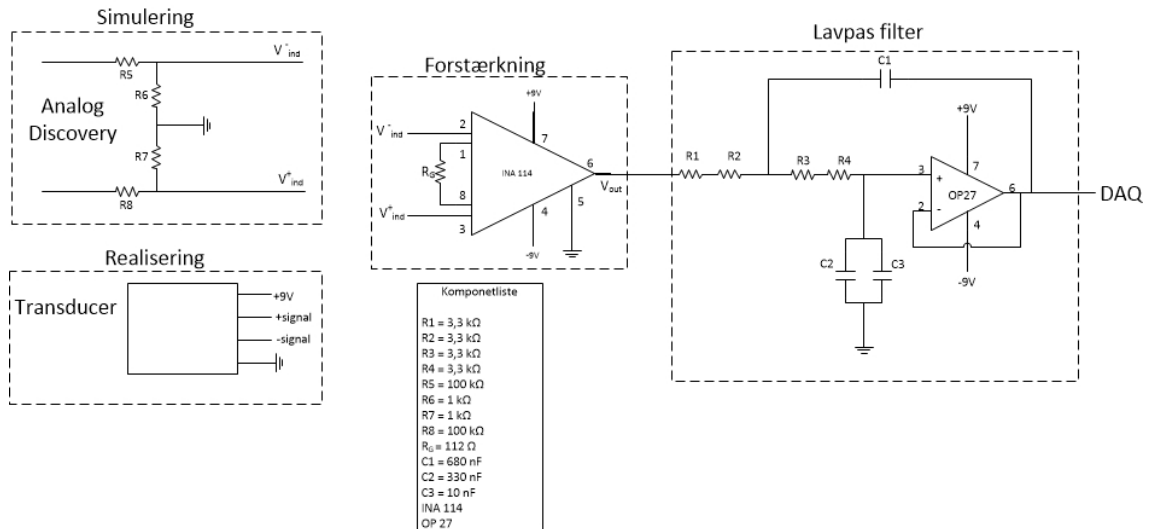
$$\begin{aligned} 1000000Hz &= G \cdot BW \\ BW &= 2250Hz \end{aligned} \quad (3.4)$$

Da båndbredden ligger over knækfrekvensen for lavpas filtret, er dette godkendt. Hvis båndbredde havde lagt under knækfrekvensen vil operationsforstærkeren ikke kunne arbejde med de ønskede frekvenser. Det er vigtigt at båndbredden er bred nok til at kunne indeholde frekvenser fra begge side af knækfrekvensen.

For at imødekomme usikkerheden ved Analog Discovery ved små signaler, laves et kredsløb efter spændingsdeler princippet. Signalet fra Analog Discovery skal sende igennem dette kredsløb, hvor de efter spændingsdeler princippet gøres mindre. I kredsløbet bruges $R_1 = 100k\Omega$ og $R_2 = 1k\Omega$. Da vi kender signalet som skal ind i INA114 og modstandene i kredsløbet, kan størrelsen af den spænding som skal sendes fra Analog Discovery findes:

$$\begin{aligned} U_{INA} &= U_{analog} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ 5mV &= U_{analog} \cdot \frac{1k\Omega}{100k\Omega + 1k\Omega} \Rightarrow U_{analog} = 505mV \end{aligned} \quad (3.5)$$

Derved kan Analog Discovery sende nogle større signaler ud og usikkerheden mindskes. Der er taget højde for at, hvis modstandene i kredsløbet bliver for store, vil det skabe en termisk usikkerhed. Derfor er modstandene valgt som de er.



Figur 3.3: Diagram over HW

Lavpas

For at opnå den ønskede effekt i lavpasfilteret, blev det oplyst at $f_c = 50$ Hz, $f_s = 1$ kHz, $R_1 = R_2$ og $C_2 = 680nF$. Ud fra det udregnes de resterende komponentværdier for filteret.

Overføringsfunktionen for et 2. ordens filter er:

$$H(z) = \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot s + \omega_n^2)} \quad (3.6)$$

For at finde en overførings funktion for det gældende system, vides det at: REFERENCE WIKI

$$\begin{aligned} \omega_n &= 2 \cdot \pi \cdot 50 = \frac{1}{\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}} \\ 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n &= \frac{1}{C2} \cdot \left(\frac{R1 + R2}{R1 \cdot R2} \right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Derved fås en overføringsfunktion som hedder:

$$H(z) = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}} \right)^2}{s^2 + \left(\frac{1}{C2} \cdot \left(\frac{R1 + R2}{R1 \cdot R2} \right) \cdot s \right) + \left(\frac{1}{\sqrt{R1 \cdot R2 \cdot C1 \cdot C2}} \right)^2} \quad (3.8)$$

Da det bliver oplyst at $R1 = R2$, kan funktionen reduceres. I sidste ende fås funktionen:

$$H(z) = \frac{\frac{1}{C1 \cdot C2 \cdot R^2}}{s^2 + s \cdot \frac{2}{R \cdot C2} + \frac{1}{C1 \cdot C2 \cdot R^2}} \quad (3.9)$$

Nu den sidste overføringsfunktion sammenlignes med den generelle for 2. ordens systemer, er det muligt at isolere forskellige lige led. Først isolere vi for modstanden:

$$\begin{aligned} \frac{2}{R \cdot C2} &= 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \\ \frac{2}{R \cdot 680 \cdot 10^{-9}} &= 2 \cdot 1 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50) \\ &\Downarrow \\ R &= 4681 \end{aligned} \quad (3.10)$$

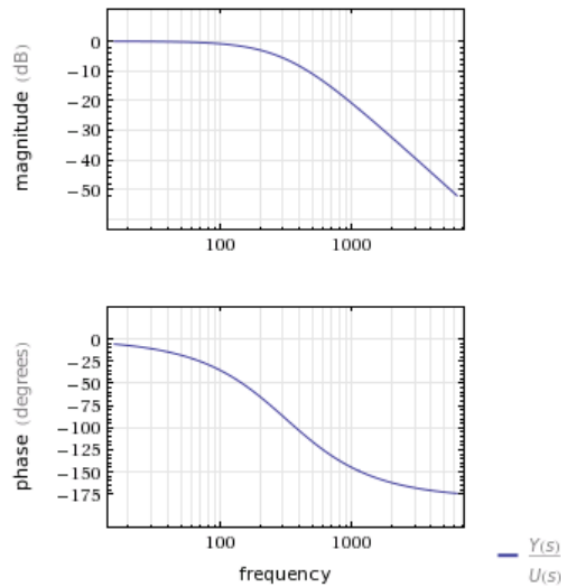
Derved er modstandene udregnet til $R = 4681\Omega$. Nu kan der isoleres for den sidste kondensator C1:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C1 \cdot C2 \cdot R^2} &= \omega_n^2 \\ \frac{1}{C1 \cdot 680 \cdot 10^{-9} \cdot 4681^2} &= (2 \cdot \pi \cdot 50)^2 \\ &\Downarrow \\ C1 &= 680 \cdot 10^{-9} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Dvs. at kondensatorerne også er ens og deres værdi er $C = 680 \cdot 10^{-9}$. Derved har vi alle komponentværdierne til lavpasfilteret og det kan nu realiseres.

For at være sikker på at filteret har de ønskede karakteristika, laver vi et bodeplot af den endelig overføringsfunktion:

$$H(z) = \frac{625000000000000}{6332498929 \cdot \left(s^2 + \frac{50000000}{79577} \cdot s + \frac{625000000000000}{6332498929} \right)} \quad (3.12)$$



Figur 3.4: Bodeplot

Ud fra bodeplottet kan det antages at ζ må være 1. Når ζ er en betyder det at systemet er kritisk dæmpet. Værdien for ζ kan også beregnes:

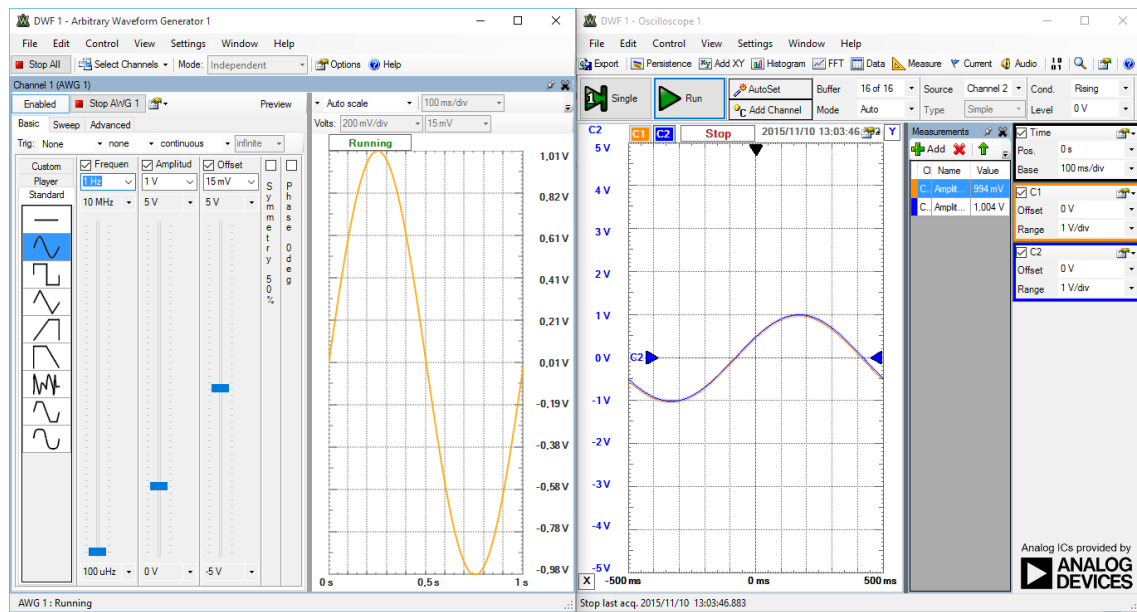
$$\begin{aligned} \frac{2}{R \cdot C1} &= 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \\ \frac{2}{4681 \cdot 680 \cdot 10^{-9}} &= 2 \cdot \zeta \cdot (2 \cdot \pi \cdot 50) \\ &\Downarrow \\ \zeta &= 1 \end{aligned} \tag{3.13}$$

3.1.3 Modultest

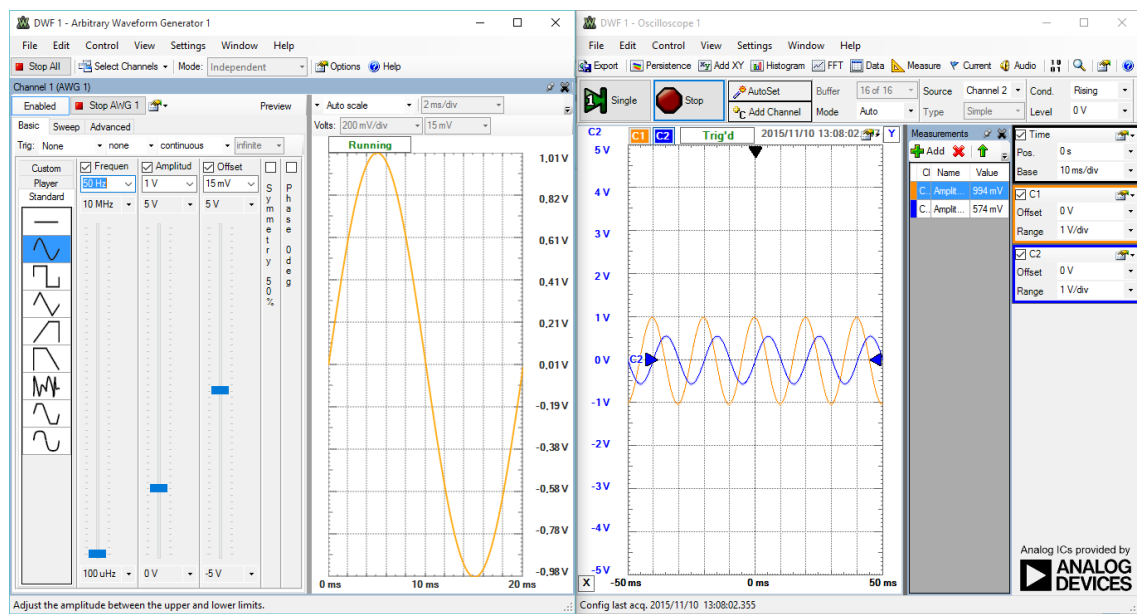
Forstærkning

Lavpas

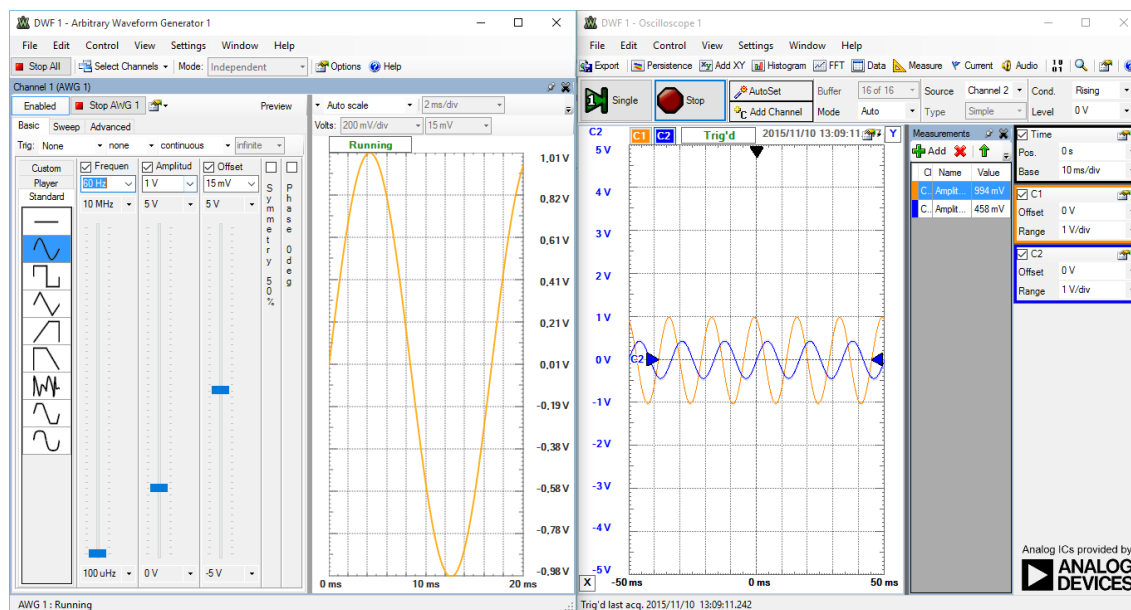
For at teste lavpasfilteret foretages målinger med en sinus, hvor frekvensen variere for hver måling. Derved aflæses fasen, mellem indgang- og udgangssignal, og amplituden for hver måling. Ved knækfrekvensen skal fasedrejningen være 90° . Amplituden skal ændre sig XXX. Dette kan aflæses på billedet Måling for 50 Hz. Efter knækfrekvensen skal amplituden blive mindre og mindre(går mod nul). På Måling for 60 Hz, kan det ses hvordan amplituden er faldet drastisk efter knækfrekvensen.



Figur 3.5: Måling for 10 Hz



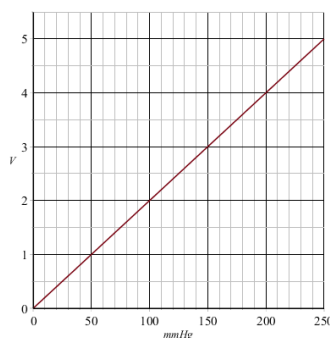
Figur 3.6: Måling for 50 Hz



Figur 3.7: Måling for 60 Hz

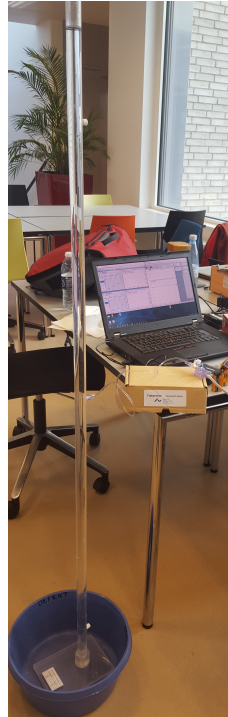
Kalibrering med vandsøjle

Efter forstærkning og lavpas er blevet testet hver for sig, udføres en kalibrering ved en vandsøjle. Her bruges en udleveret vandsøjle med tre målepunkter, hvor det er angivet hvor højt trykket er ved hver, i millimeter kviksølv. Derved kan det testes om hardware-delen måler den rigtige spænding i forhold til millimeter kviksølv. Ud fra den maksimale spænding og millimeter kviksølv kan det udregnes, hvad hardware skal vise ved 100 mmHg.



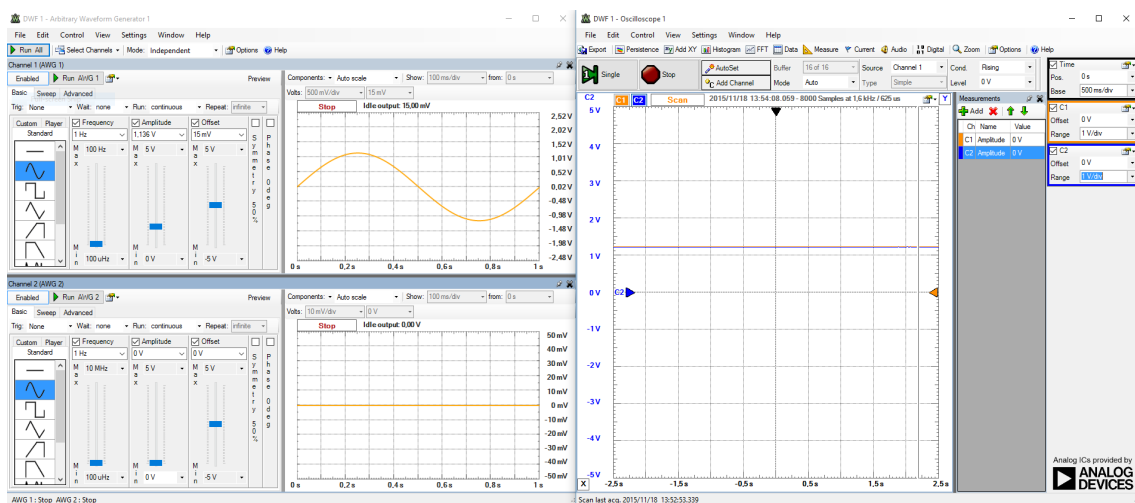
Figur 3.8: Graf til kalibrering, fra udregninger

Testen udføres ved, at der fyldes vand i søjlen til et bestemt punkt. Transducere skal være tilkoblet et af de tre målepunkter, mens de andre er lukket til. Transducere er sat til forstærkningen, der hvor Analog Discovery tidligere har været sat til. Transducere er tilkoblet 0-9V, ved batterierne. På samme måde som ved simuleringen aflæses målingen på computeren ved hjælp af programmet WaveForms. Da det vides hvilken trykændring der måles på, ved vi fra grafen til kalibreringen, hvilken spænding den skal vise. Dette foretages for de tre målepunkter på vand søjlen, hvor hver måling sammenlignes med den udregnet graf. For hver gang, skal transducere flyttes til et af de andre målepunkter.



Figur 3.9: Opstilling

Test resultater..



Figur 3.10: Måling

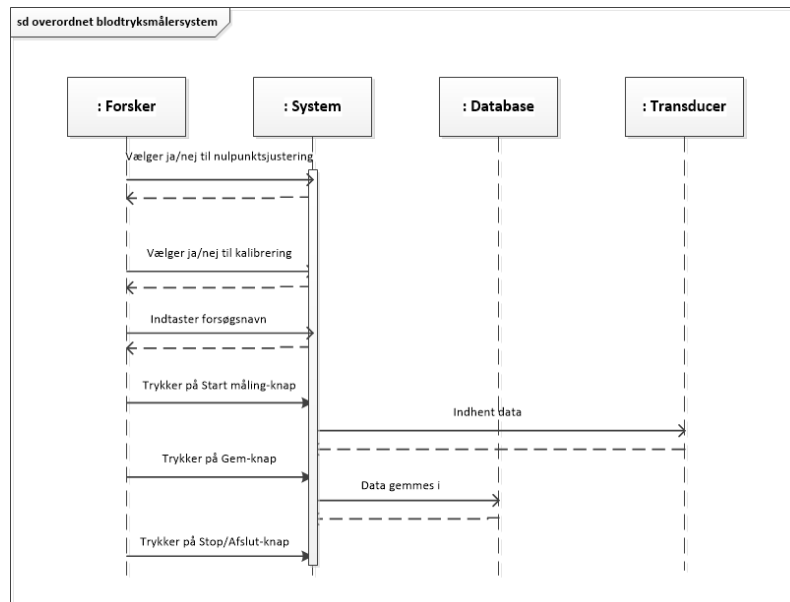
3.2 Software

3.2.1 Design

I dette beskrives systemets softwaredesign på baggrund af systembeskrivelsen og kravspecifikationen. De overvejelser vi har gjort i forbindelse med design og implementering af software vil blive præsenteret i dette afsnit.

Overordnet sekvensdiagram

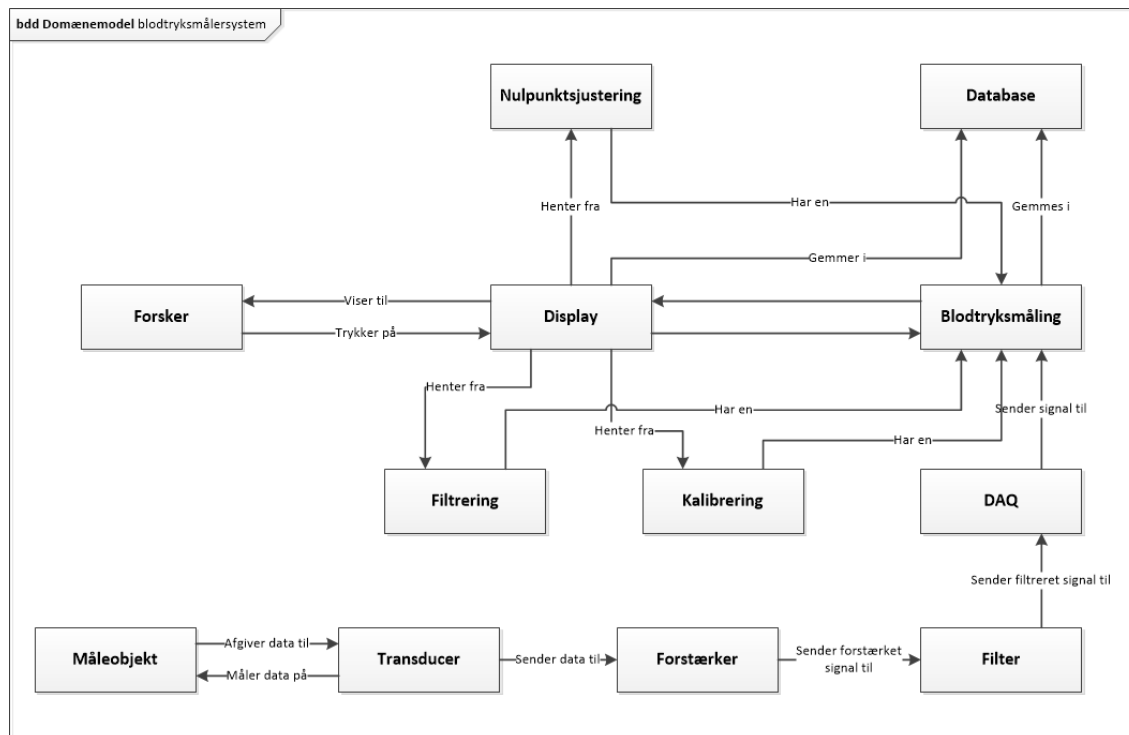
Overordnet set ønskes det at udvikle et system, der kan interagerer med en forsker. Diagrammet herunder viser at forskerens opgave består i at starte, tage stilling til nulpunktsjustering og kalibrering samt gemme de ønskede data. Diagrammet er en simpel illustration som viser systemets adfærd gennem alle fem Use Cases. Formålet med dette diagram er udelukkende at skabe et overblik over det samlede system.



Figur 3.11: Overordnet sekvensdiagram for systemet

Problemidentifikation

Første step i software designet er at klarlægge hvilke klasser systemet skal bestå af. Til dette er en domænemodel derfor udarbejdet med udgangspunkt i de fem Use Cases. I de fem Use Cases er de konceptuelle klasser blevet identificeret, og derefter indført som klasser i nedestående domænemodel. Modellen har til formål at vise hvilke dele systemet skal holde styr på.

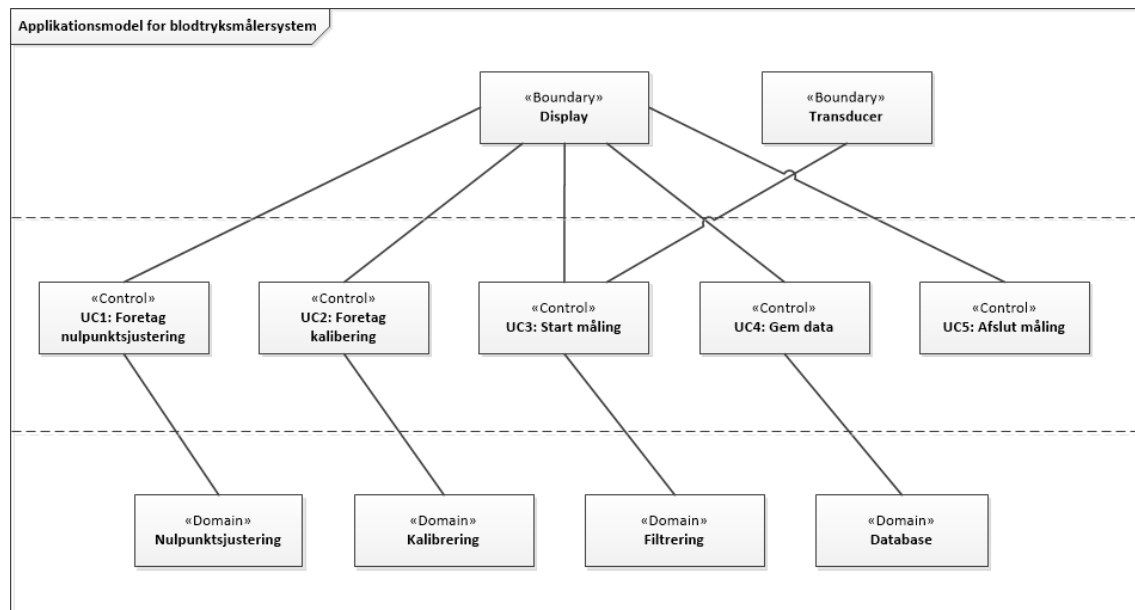


Figur 3.12: Domænemodel

Diagrammet viser tydeligt forskerens interaktion med display, samt hvilke handlinger denne interaktion starter i system. Hardware-komponenterne er medtaget for at vise signalets vej fra måleobjekt til system.

Klasseidentifikation

Ud fra domænemodellen kan et klassediagram udarbejdes, således tager dette diagram også udgangspunkt i de fem Use Cases. Hensigten med et klassediagram er at klarlægge hver klasses individuelle formål.



Figur 3.13: Applikationsmodel for software

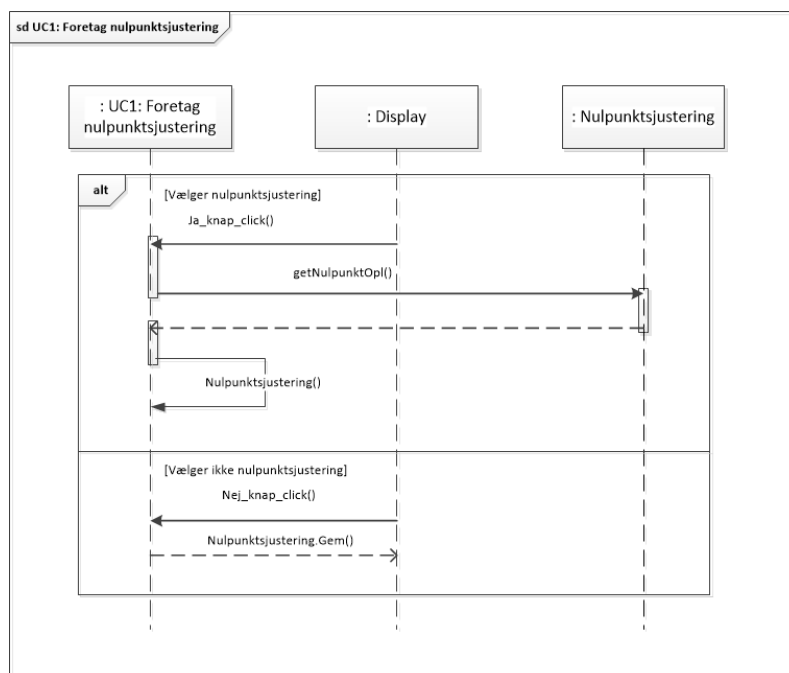
Dermed ses det at denne model er delt op i tre niveauer:

1. Grænsefladeklasse
 - a) Transducer - Indhentet data fra måleobjekt
 - b) Display - Brugergrenseflade til forsker
2. Kontrolklasse
 - a) UC1: Foretag nulpunktsjustering
 - b) UC2: Foretag kalibrering
 - c) UC3: Start måling
 - d) UC4: Gem måling
 - e) UC5: Afslut måling
3. Domæneklasse
 - a) Database

Metodeidentifikation

Klasserne i ovenstående klassesdiagram er med til at definere, hvilke blokke de følgende sekvensdiagrammer må indeholde. Det er yderst vigtigt at der er en sammenhæng mellem klasserne i klassesdiagrammet og blokkene i sekvensdiagrammet. Vi har valgt at udarbejde et sekvensdiagram for hver enkelt Use Case, hvori systemets interne kommunikation beskrives, når både normalforløb og undtagelser gennemløbes. I alle diagrammerne beskrives forløbet via de metodekald, der er nødvendige for at få de ønskede handlinger mellem blokkene udført.

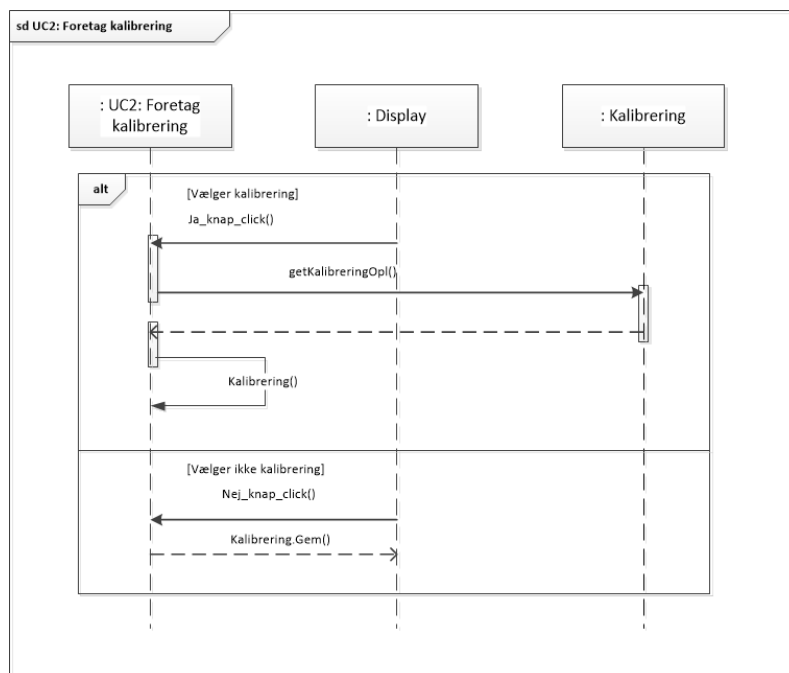
Use Case 1



Figur 3.14: Sekvensdiagram for Use Case 1

Det ses af ovenstående sekvensdiagram at forsker interagerer med display. Her er der to mulige udfald "Vælger nulpunktsjustering" og "Vælger ikke nulpunktsjustering", disse implementeres som to muligheder forsker kan vælge imellem.

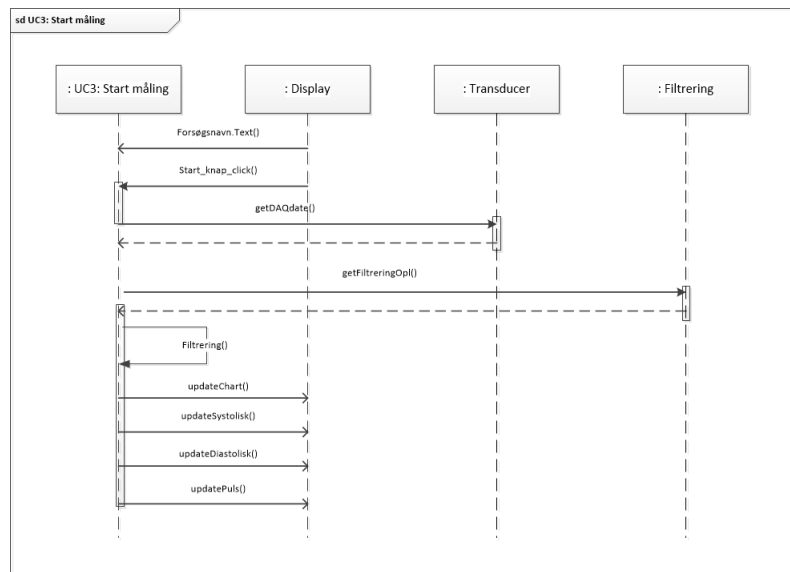
Use Case 2



Figur 3.15: Sekvensdiagram for Use Case 2

Diagrammet ovenfor viser at forsker interagerer med display, hvor der ved tryk enten vælges ja eller nej til kalibrering. Afhængig af valg foretager systemet de nødvendige kald.

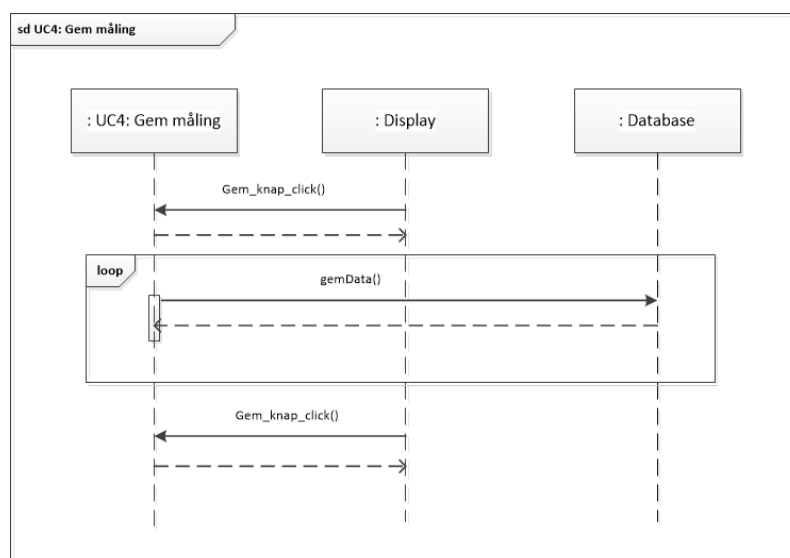
Use Case 3



Figur 3.16: Sekvensdiagram for Use Case 3

Ved Use Case 3 - Start måling ses det at display, transducer og filtreringsklassen vil komme i spil. Her modtages besked ved indtastning af forsøgsnavn og tryk på start-knap på display om, at signaldata fra transduceren skal hentes ind i systemet. Herefter foretages filtrering af signalet, samt visning af signal i graf, systoliske-, diastoliske og puls-værdier på display. Use Casen indeholder en undtagelse hvor filtrering af signal ikke ønskes foretaget, denne er ikke medtaget i sekvensdiagrammet.

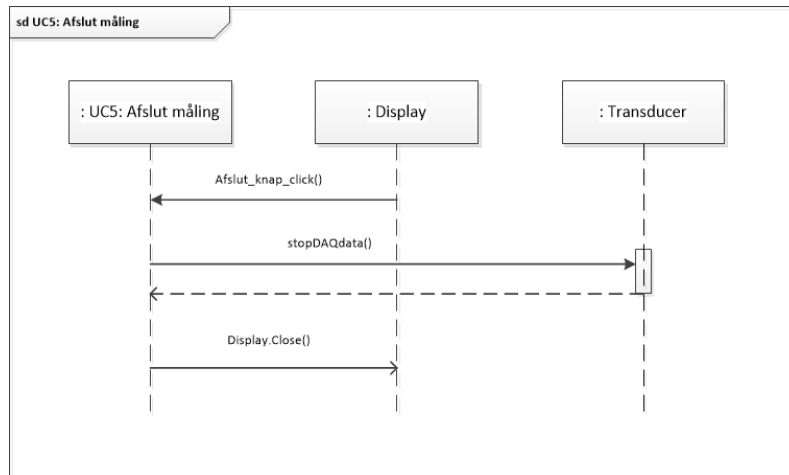
Use Case 4



Figur 3.17: Sekvensdiagram for Use Case 4

Ovenstående diagram viser at for at få gemt data fra signalet, kræver det at der trykkes på Gem-knap på display, hvor efter systemet konstant vil sende data ned i databasen indtil der igen trykkes på Gem-knappen, for at stoppe gemning af data.

Use Case 5



Figur 3.18: Sekvensdiagram for Use Case 5

Ved afslutning af en måling ses det at forsker trykker på Afslut-knap på display, hvorefter indhentning af data fra DAQ stoppes og programmet lukker ned.

3.2.2 Implementering

1. Observer - strategy
2. Oprettelse af metoder - trelagsmodel
3. Forklar princippet bag kalibrering og nulpunktsjustering, beregningerne
4. Visning i graf
5. Bestemmelse af systolisk, diastolisk og puls
6. GUI design
7. Aktivitetsdiagrammer
8. Klassediagrammer
9. Database

3.2.3 Modultest

1. GUI test
2. Test af tråde (observer strategy)
3. Test af systolisk, diastolisk og puls-værdier

4. Test af Gemini database

Accepttest 4

Version	Dato	Ansvarlig	Beskrivelse
0.1	28-09-2015	MH NK og MB	Oprettelse og udfyldelse af Accepttest
0.2	30-09-2015	ABH	Tilrette accepttest
0.3	08-10-2015	Alle	Tilrette efter review med Grp. 1
0.4	15-10-2015	MB	Indskrevet i LaTeX
0.5	20-10-2015	MH NK	Tilretning
0.6	26-11-2015	MH NK	Retning af hele accepttesten. Konsekvent med

4.1 Accepttest af Use Cases

4.2 Indledning

Accepttestene skal vise om produktet lever op til de standarder vi har sat op for, at den aktivt kan indgå i en forskningssituation. Accepttesten er en opfølgning af kravspecifikation, som har til formål at sikre at alle kravene er overholdt. Der vil blive testet både på hovedscenarier samt på undtagelser. Det er målsætningen, at disse test sikrer produktets kvalitet, idet produktet vil blive afprøvet før det tages i brug. Derfor er det accepttestens ansvarsfunktion, at godkende de opsatte delmål for produktet hvad angår både funktionalitet samt ikke-funktionelle krav.

Data der benyttes til målingerne fås fra In Vitro, der i form af tryk genererer et fysiologisk tryk. Brugergrænsefladen er det som forskeren initierer med, altså hvorfra systemet aktiveres. Brugergrænsefladen forkortes til GUI. Den benyttede Database er en lokal database. Når der i feltet Godkendt er et flueben, betyder det at testen er godkendt. Hvis der er et flueben i parenteser, betyder det at den er delvis godkendt.

4.2.1 Use Case 1

Indsæt beskrivelse og figurer med NI-DAQ, Analog discovery og transduceren. Det forventes for Use Case 1, at forskeren har fået påmonteret det væskefyldte kateter samt tændt for apparaturet.

Test af Use Case 1	Foretag nulpunktsjustering
--------------------	----------------------------

Scenarie	Hovedscenarie
Prækondition	Blodtryksmålesystemet er monteret korrekt. Forskeren har tændt for Blodtryksmåleren og pop-up vindue for nulpunktsjustering er åbent

Handling	Forventet observation/resultat	Faktisk observation/resultat	Godkendt
<i>Hovedscenarie</i>			
1. Forsker trykker på Ja-knap for at starte en nulpunktsjustering	Systemet foretager nulpunktsjustering, hvorefter vinduet lukker		
2. Forsker trykker på Nej-knap for ikke at få foretaget en nulpunktsjustering	Vinduet lukker		

Tabel 4.3: Accepttest af Use Case 1

4.2.2 Use Case 2

Test af Use Case 2	Foretag kalibrering
Scenarie	Hovedscenarie
Prækondition	Blodtryksmålesystemet er monteret korrekt. Forskeren har tændt for Blodtryksmåleren og pop-up vindue for kalibrering er åbent. UC1 er kørt succesfuldt

Handling	Forventet observation/resultat	Faktisk observation/resultat	Godkendt
<i>Hovedscenarie</i>			
1. Forsker trykker på Ja-knap for at starte en kalibrering	Systemet foretager kalibrering, hvorefter vinduet lukker		

- | | | |
|----|--|----------------|
| 2. | Forsker trykker på
Nej-knap for ikke at
få foretaget en
kalibrering | Vinduet lukker |
|----|--|----------------|

Tabel 4.5: Accepttest af Use Case 2

4.2.3 Use Case 3

Test af Use Case 3	Start måling
Scenarie	Hovedscenarie
Prækondition	Blodtryksmålesystemet er monteret korrekt. Forskeren har tændt for Blodtryksmåleren. UC1 og UC2 er kørt succesfuldt

Handling	Forventet observation/resultat	Faktisk observation/resultat	Godkendt
<i>Hovedscenarie</i>			
1. Forsker indtaster Forsøgsnavn.	Systemet godkender Forsøgsnummeret og tilgængeliggør Start-knap		
2. Filteret signal er valgt per default af systemet	Radiobutton til filtret signal er checket af		
3. Forsker trykker på Start-knap på GUI	GUI skriver at Start-knappen er blevet trykket		
4. Signal for blodtryk vises på GUI	GUI viser blodtryksmåling kontinuerligt		
5. Systolisk og diastolisk blodtryk samt puls bliver vist i bokse på GUI	GUI udskriver systoliske, diastoliske og puls værdier		

Tabel 4.7: Accepttest af Use Case 3

4.2.4 Use Case 3 - Undtagelse 1

Test af Use Case 3	Start måling
Scenarie	Undtagelse 1
Prækondition	Blodtryksmålesystemet er monteret korrekt. Forskeren har tændt for Blodtryksmåleren. UC1 - 2 er kørt succesfuldt

Handling	Forventet observation/resultat	Faktisk observation/resultat	Godkendt
<i>Hovedscenarie</i>			
1. Forsker indtaster Forsøgsnavn	Systemet godkender Forsøgsnummeret og tilgængeliggør Start-knap		
2. Forsker vælger ufiltreret signal	Radiobutton til ufiltreret signal er checked af		
3. Forsker trykker på Start-knap på GUI	GUI skriver at Start-knappen er blevet trykket.		
4. Signal for blodtryk vises på GUI	GUI viser blodtryksmåling kontinuerligt		
5. Systolisk og diastolisk blodtryk samt puls bliver vist i bokse på GUI	GUI udskriver systoliske, diastoliske og puls værdier		

Tabel 4.9: Accepttest af Use Case 3 - Undtagelse 1

4.2.5 Use Case 4

Test af Use Case 4	Gem data
--------------------	----------

Scenarie	Hovedscenarie
Prækondition	Blodtryksmålesystemet er monteret korrekt. Forskeren har tændt for Blodtryksmåleren. Use Case 1 og 2 er kørt succesfuldt, Use Case 3 kører

Handling	Forventet observation/resultat	Faktisk observation/resultat	Godkendt
<i>Hovedscenarie</i>			
1. Forsker trykker på Gem-knappen	Systemet viser at Gem-knappen er blevet trykket		
2. Systemet gemmer det fremadrettede ufiltreret signal i Database	Ufiltreret signal er blevet gemt i Database		
3. Forsker trykker på Gem-knap for at stoppe med at gemme	Det fremgår af GUI at data er gemt i Database		

Tabel 4.11: Accepttest af Use Case 4

4.2.6 Use Case 4 - Undtagelse 1

Test af Use Case 3	Gem data
Scenarie	Undtagelse 1
Prækondition	Blodtryksmålesystemet er monteret korrekt. Forskeren har tændt for Blodtryksmåleren. Use Case 1 og 2 er kørt succesfuldt, Use Case 3 kører

Handling	Forventet observation/resultat	Faktisk observation/resultat	Godkendt
<i>Hovedscenarie</i>			

1. Forsker trykker på Gem-knappen	Systemet viser at Gem-knappen er blevet trykket
2. Systemet gemmer det fremadrettede ufiltreret signal i Database	Ufiltreret signal er blevet gemt i Database
3. Forsker trykker på Afslut-knap	Systemet stopper med at gemme, hvorefter systemet lukker

Tabel 4.13: Accepttest af Use Case 4 - Undtagelse 1

4.2.7 Use Case 5

Test af Use Case 4	Afslut måling
Scenarie	Hovedscenarie
Prækondition	Blodtryksmålesystemet er monteret korrekt. Forskeren har tændt for Blodtryksmåleren. Use Case 1 og 2 er kørt succesfuldt, Use Case 3 kører

Handling	Forventet observation/resultat	Faktisk observation/resultat	Godkendt
<i>Hovedscenarie</i>			
1. Forsker trykker på Afslut-knappen	Måling stopper, hvorefter systemet lukker ned		

Tabel 4.15: Accepttest af Use Case 5

4.3 Accepttest af ikke-funktionelle krav

Krav nr.	Krav	Test	Forventet resultat	Resultat	Godkendt
1.	Blodtryksmåleren skal indeholde en Start-knap til at igangsætte målingerne	Åbn systemet og kørs Use Case 1 og Use Case 2	Start-knap er på GUI		
2.	Blodtryksmåleren skal indeholde en Afslut-knap hvor fra måling kan stoppes.	Åbn systemet og kørs Use Case 1 og Use Case 2	Afslut-knap er på GUI		
3.	Blodtryksmåleren skal indeholde en Gem-knap til at gemme målingerne i Databasen	Åbn systemet og kørs Use Case 1 og Use Case 2	Gem-knap er på GUI		
4.	Blodtryksmåleren skal indeholde en tekstboks til forsøgsnavn, hvori forsker indtaster det pågældende forsøgsnavn	Åbn systemet og kørs Use Case 1 og Use Case 2	Tekstboks til forsøgsnavn er på GUI		
5.	Blodtryksmåleren skal indeholde radiobutton til filtreret signal, denne skal være default valget	Åbn systemet og kørs Use Case 1 og Use Case 2	Radiobutton til filtreret signal er på GUI		

6.	Blodtryksmåleren skal indeholde radiobutton til ufiltreret signal	Åbn systemet og kørs Use Case 1 og Use Case 2	Radiobutton til ufiltreret signal er på GUI
7.	Blodtryksmåleren skal indeholde tekstboks til puls, systolisk og diastolisk blodtryk som vises med op til tre cifre	Åbn systemet og kørs Use Case 1 og Use Case 2	Systolisk-boks, diastolisk-boks og puls-boks er på GUI
8.	GUI'en skal se ud som på figur xxx i KS	GUI'en ser ud som figur xxx i KS	GUI'en ser ud som figur xxx i KS
9.	Forskeren skal kunne starte en default-måling maksimalt 30 sekunder efter systemet er startet	Systemet åbnet samtidig med at der startes et stopur. Når måling er startet stoppes uret	Måling er startet og stopuret viser mindre end 30 sekunder
10.	Det skal maksimalt tage 5 timer at gendanne systemet (MTTR - Mean Time To Restore)		Kan ikke testes på prototypen

11.	Systemet skal have en oppetid uden nedbrud på minimum 1 måned (720 timer) (MTBF - Mean Time Between Failure)		Kan ikke testes på prototypen
12.	Systemet skal have en oppe-tid/køretid på: $\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} * 100 = 99,31\%$		Kan ikke testes på prototypen
13.	Blodtryksmåleren skal, indenfor 3 sekunder, kunne vise systolisk og diastolisk blodtryk via graf. Dette accepteres med en tolerance på +/- 15 %	Use Case 1 og 2 køres. Der trykkes på Start-knappen samtidig med at et stopur startes. Når måling vises i graf stoppes uret	Stopuret viser mellem 2.55 - 3.45 sekunder

14.	Blodtryksmåleren skal, inden for måleperioden, kunne alarmere hvis patienten har forhøjet eller for lavt blodtryk. Defineres efter grænseværdier beskrevet i . . . xxxx. . .	Use Case 1 - 2 køres. Indsend et signal i systemet der indeholder værdier uden for grænseværdierne. Der trykkes på Start-knappen samtidig med at et stopur startes. Når alarm starter stoppet uret. Måleperiode: 30 sek.	Alarm er startet og stopuret viser mindre end 30 sekunder
15.	Blodtryksmåleren skal, indenfor 30 sekunder fra der er trykket på Gem-knap, kunne gemme målingerne i Databasen. Dette accepteres med en tolerance på +/- 15 %	Use Case 1 - 3 køres. Der trykkes på Gem-knappen samtidig med at et stopur startes. Når målingerne er gemt i Database stoppes uret	Stopuret viser mellem 25.5 - 34.5 sekunder
16.	Grafen vises i ét vindue, hvor y-aksen måles i mmHg og x-aksen i tid pr. sekund	Use Case 1 - 3 køres	På GUI er y-aksen målt i mmHg og x-aksen i tid pr. sekund

17.	Hver 7 sekund skal værdier for systolisk og diastolisk blodtryk samt puls opdateres. Dette accepteres med en tolerance på +/- 15 %	Use Case 1 - 2 køres. Forsøgsnummer indtastes og der trykkes på Start-knappen samtidig med at et stopur startes. Når værdier i bokse vises stoppes uret	Stopuret viser mellem 5.95 - 8.05 sekunder
18.	Graf for blodtryk skal køre kontinuerligt i GUI efter princip beskrevet i KS	Use Case 1 - 3 køres	Grafen i GUI kører kontinuerligt efter beskrevet princip i KS
19.	Når der trykkes på Gem-knap gemmes det ufiltrerede signal under det indtastede forsøgsnavn og et autogenereret nr. <i>"forsøgsnavn_nr"</i>	Use Case 1 - 4 køres	Data er blevet gemt i Databasen under filnavnet <i>"forsøgsnavn_nr"</i>
20.	Systemet skal kunne måle blodtryksværdier fra 0 til 250 mmHg	Use Case 1 - 3 køres	Det indhentede signals blodtryksværdier er indenfor 0 til 250 mmHg på grafens y-akse

21.	Forskeren skal kunne udskifte hardwaren på 10 minutter	Udskiftning af hardware påbegyndes samtidig med at stopur startes. Når hardware er udskiftet stoppes uret	Stopuret viser mindre end 10 minutter
22.	Softwaren skal opbygges med lav kobling	Åbn systemets programkode	Koden er opbygget med lav kobling

Tabel 4.16: Accepttest af Ikke-funktionelle krav

4.4 Godkendelsesformular

Godkendes af Peter Johansen

Kunde IHA

Dato for test _____

Ved underskrivelse af dette dokument godkendes den kørte accepttest.

Sted

Dato

Kundens underskrift

Leverandørens underskrift

Litteratur

Figurer

2.1	Aktør-kontekstdiagram	4
2.2	Use Case-diagram	5
2.3	Skitse af GUI	10
2.4	Graf for blodtryk	11
3.1	Block Definition Diagram for hardware	13
3.2	Infernal Block Diagram for hardware	13
3.3	Diagram over HW	15
3.4	Bodeplot	17
3.5	Måling for 10 Hz	18
3.6	Måling for 50 Hz	18
3.7	Måling for 60 Hz	19
3.8	Graf til kalibrering, fra udregninger	19
3.9	Opstilling	20
3.10	Måling	20
3.11	Overordnet sekvensdiagram for systemet	21
3.12	Domænemodel	22
3.13	Applikationsmodel for software	23
3.14	Sekvensdiagram for Use Case 1	24
3.15	Sekvensdiagram for Use Case 2	24
3.16	Sekvensdiagram for Use Case 3	25
3.17	Sekvensdiagram for Use Case 4	25
3.18	Sekvensdiagram for Use Case 5	26