



CHALMERS



Konceptutveckling av smart kabelskåp

Conceptual development of a smart cable cabinet

Examensarbete, Bachelor thesis

MARCUS MARTINSSON

EXAMENSARBETE

Konceptutveckling av smart kabelskåp

Framtagning av koncept för ett smart kabelskåp med spänning respektive strömmätning på säkringslastfrånskiljare i kabelskåp.

MARCUS MARTINSSON



CHALMERS

Institution för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2019

Konceptutveckling av smart kabelskåp

Framtagning av koncept för ett smart kabelskåp med spänning respektive strömmätning på säkringslastfrånskiljare i kabelskåp

Marcus Martinsson

© Marcus Martinsson, 2019.

Handledare: Thomas Hammarström, Elektroteknik

Examinator: Thomas Hammarström, Elektroteknik

Examensarbete 2019

Institutionen för Elektroteknik

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31 772 1000

Omslag: En uppsättning av ABB Kabeldons olika varianter av kabelskåp[1].

Typeset i L^AT_EX

Chalmers Reproservice

Göteborg, Sverige 2019

Konceptutveckling av smart kabelskåp
Framtagning av koncept för ett smart kabelskåp med spänning respektive ström-
mätning
MARCUS MARTINSSON
Institut för Signaler och System
Chalmers University of Technology

Sammanfattning

I linje med dagens utveckling mot ett mer digitaliserat samhälle så blir det önskvärt att samla in data kring olika processer och apparater för att kunna förbättra dessa eller den miljö de befinner sig i. ABB Kabeldon i Alingsås skiljer sig inte från denna utveckling utan vill utforska möjligheterna till att göra sina kabelskåp ”smarta”. I detta sammanhang innebär det att vara kapabla till att samla in mer information samt kommunicera denna information.

Syftet med detta arbete är att se efter hur möjligheterna är till att skapa ett ”smart” kabelskåp samt skapa ett grundläggande koncept kring detta.

Denna rapport behandlar resultatet från ett arbete gällande att ta fram ett grundläggande koncept för ett mätsystem för placering i ett kabelskåp. Detta mätsystem samt tillhörande koncept och idéer kring hur ytterligare mätningar skulle kunna utföras presenteras i denna rapport.

Mätsystemet är skapat för att mäta spänningar och strömmar på ABB Kabeldons säkringslastfrånskiljare, placerade i kabelskåpen. Konstruktion av en komplett prototyp samt test av denna har ej ingått i detta arbete.

Nyckelord: Säkringslastfrånskiljare, smart kabelskåp, koncept, mätsystem, kabelskåp.

Abstract

In line with today's development for a more digitalized society, it becomes increasingly accessible to collect data from various processes and apparatus in order to improve these or the environment in which they perform. ABB Kabeldon in Alingsås do not differ on this point and would like to explore the possibilities of making their own cable cabinets more digitalized. They wish to make their cabinets into "smart" cabinets by making them more capable of collecting various data of their components and their surroundings and then able to communicate this data to other units. The purpose of this work was to research the possibilities of building a "smart" cabinet and to develop a basic concept for this. This report deals with the result of a work regarding the development of a conceptual design for a measurement system inside the cable cabinet. This measurement system involves a complete design of a system for measuring voltages and temperature with associated concepts and ideas for further measurement implementations. It is designed to measure voltages and currents on the fuse-switch-disconnectors inside the cable cabinet. Further construction of a prototype of the measurement system described above has not been part of this work.

Keywords: fuse-switch-disconnector, smart cable cabinet, concept, measurement system, cable cabinet, measurement theory.

Förord

Denna rapport behandlar det examensarbete som utförts under sista halvåret av tre år på Elektroteknikutbildningen på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet innefattar 15hp av totalt 180hp som krävs för att bli utbildad högskoleingenjör.

Arbetet utfördes inom institutionen för Elektroteknik och i ABB Kabeldons lokaler i Alingsås, Sverige.

Jag vill rikta ett tack till ABB Kabeldon som gav mig möjlighet till att utföra detta arbete. Det har varit både givande i form av en inblick i hur branschen fungerar samt för personlig utveckling mot en mer kompetent elektroingenjör.

Ett speciellt tack riktas till mina handledare:

Fredrik Axelsson, RD Manager på ABB Kabeldon Alingsås

Thomas Hammarström, Tekniklektor vid Elektroteknik på Chalmers Göteborg.

Marcus Martinsson, Göteborg, 2019

Innehåll

Figurer	xv
Tabeller	xix
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Mål	1
1.4 Avgränsningar	2
2 Kravspecifikation	3
3 Teoretisk Bakgrund	5
3.1 Varför mäter vi?	5
3.2 Mätsystem	5
3.3 Hållbarhet	5
3.4 Kabelskåp	7
3.4.1 Kabelskåpets uppbyggnad	7
3.4.2 IP-System	8
3.4.3 Säkringslastfrånskiljare	8
3.4.4 Säkring	10
3.5 Trefasssystem	10
3.6 Elektriska Mätsystem	11
3.6.1 Givare	11
3.6.2 Operationsförstärkare	11
3.6.3 Filter	12
3.6.4 A/D-omvandlare	14
3.6.5 Signalbehandling	17
3.6.5.1 Arduino Uno	17
3.6.5.2 Beräkning av effektivvärde	17
3.6.5.3 Beräkning av fasförskjutning	18
3.6.6 LED Display	19
3.7 Mjukvaror	20
3.7.1 LTSpice	20
3.7.2 Circuitlab	20
3.7.3 Arduino IDE	20
3.7.4 MPLAB	20

4	Metod	21
4.1	Arbetsgång	21
4.2	Kabelskåpet	21
4.2.1	Temperaturområde	21
4.2.2	Utrymme	22
4.2.3	Spänningar och strömmar	22
4.2.4	Kopplingar	22
4.2.5	Säkringslastfrånskiljare	22
4.2.6	Informationsinhämtning för spänningsmätningar	22
4.2.7	Spänningsmätning utan transformator	23
4.2.8	Spänningsmätning med transformator	23
4.3	Simulering	23
4.3.1	Utvärdering av kretskonstruktioner	23
4.4	Test och verifiering	24
4.4.1	Arduino Uno test och verifiering	24
4.4.2	Beräkning av spänning	25
4.4.3	Utvärdering av verifikationsresultat	25
4.4.4	Mikrokontroller test och verifiering	26
4.5	Strömmätning	26
4.6	Skalning och förbättring av system	26
5	Resultat och Genomförande	27
5.1	Tidiga modeller för spänningsmätning	27
5.1.1	Spänningsmätning utan transformator	27
5.1.2	Spänningsmätning med transformator	29
5.2	Simuleringsresultat	31
5.2.1	Simulering av kretskonstruktion utan transformator	32
5.2.2	Simulering av kretskonstruktion med transformator	33
5.3	Utvärdering	34
5.4	Test och verifiering	35
5.4.1	Val av kretskonstruktion	36
5.5	Resultat för koncept av mätsystemet	37
5.5.1	Säkringslastfrånskiljare	39
5.5.2	Spänningsförsörjning av mätsystemets olika delar	40
5.5.3	Transformator	40
5.5.4	Enkelmatad Förstärkarkrets	40
5.5.5	Operationsförstärkare OP295	41
5.5.6	Aktivt Lågpasfilter	42
5.5.7	Mikrokontroller PIC16F1827	46
5.5.8	Temperaturmätning	46
5.5.9	Justering av mätsystem	46
5.6	Resultat ifrån test och verifikation	48
5.7	Utförda Förbättringar	49
5.7.1	Analog Multiplexer	49
5.7.2	Skydd mot transienter	49
5.8	Förbättringsförslag	50

5.8.1	Mikrokontroller	50
5.8.2	Mätning av fasförskjutning	51
5.8.3	Temperaturkompensering av komponenter	55
6	Slutsats och diskussion	57
6.1	Kravspecifikation	57
6.2	Vad gick bra	58
6.3	Vad gick mindre bra	58
6.4	Rekommenderat fortsättningsarbete	58
	Litteraturförteckning	61
A	Bilagor	I
A.1	Programkod	I
A.1.1	Programkod för Arduino Uno	I
A.1.2	Programkod för Mikrokontroller	VI
A.2	Bilagor	XV

Figurer

3.1	Ett typiskt Venndiagram beskrivande hur de olika hållbarhetsaspekterna överlappar varandra.	6
3.2	Illustration av de lager av ytbehandling som finns på kabelskåpen[1].	7
3.3	Exempel på hur ett kabelskåps komponenter kan vara kopplade på dess skenor[5].	8
3.4	Olika varianter av säkringslastfrånskiljare[5].	9
3.5	Exempel på hur komponenter kan vara kopplade på skenorna i ett kabelskåp.	10
3.6	Exempel på ett typiskt mätsystem.	11
3.7	Illustration över passband, stoppband, brytfrekvens samt lutning i ett lågpasfilter av typ Butterworth.	13
3.8	Exempel på ett passivt lågpasfilter t.v och ett aktivt andra ordningens Sallen-Key lågpasfilter t.h.	14
3.9	Exempel på vinkningsfenomenet som syns i den nedre figuren där fel resultat erhålls ifrån samplingarna.	16
3.10	Uppbyggnad av en Sample-and-Hold krets.	17
3.11	Förhållandet för effekter. t.v illustreras en ”släpande” effektfaktor. t.h illustreras en ”ledande” effektfaktor.	19
3.12	Illustration av en typisk konstruktion för en 7-segmentsdisplay.	19
4.1	Blockdiagram över kopplingsschema vid kretsverifiering.	25
4.2	Egenkonstruerade transformatorbox för att säkra användandet av transformator.	25
5.1	Spänningsmätningsskrets baserad på operationsförstärkare MCP6021.	27
5.2	Typisk prestanda för differentialsförstärkare AD629[18].	28
5.3	Spänningsmätningsskrets baserad på AD629.	29
5.4	Spänningsmätningsskrets variant 1.	30
5.5	Spänningsmätningsskrets variant 2.	30
5.6	Spänningsmätningsskrets variant 3.	31
5.7	Spänningsmätningsskrets variant 4.	31
5.8	Simuleringsresultat av kretskonstruktion baserad på MCP6021(figur 5.1). Signal motsvarar signal ut ur MCP6021 och krets matas med 230V AC.	32

5.9	Simuleringsresultat av kretskonstruktion baserad på AD629(figur 5.3). Signaler motsvarar signaler ut ur AD629(Vut(2)AD629) samt signaler ut ur kretskonstruktionen (Vin(pre / post)fuse) och krets matas med 230V AC före samt efter säkring enligt figur 5.3.	32
5.10	Simuleringsresultat från krets av variant 1 enligt figur 5.4. Signalen av större amplitud motsvarar "VinRect" (signalen som uppstår på kretsens ingång) och signalen av lägre amplitud motsvarar "Vout"(den signal som ska kopplas till efterföljande krets) i figur 5.4	33
5.11	Simuleringsresultat från system av variant 3(figur 5.6). Sinussignaler motsvarar signaler ut ut respektive krets (VoltageInput1 / VoltageInput2 i figur 5.6) samt en DC-spänning motsvarande "VoltageOffsetInput" i figur 5.6.	33
5.12	Simuleringsresultat från system av variant 4. Signaler motsvarar spänning på kretsingång innan spänningsdelning (pilen till höger), spänning på förstärkarens ingång(pilen till vänster) samt spänningen ut ur förstärkarkretsen (pilen i mitten) från figur 5.7	34
5.13	Mätresultat från system av variant 3(figur 5.6). Sinuskurvan motsvarar det spänningsvärde som uppmäts och bearbetats i mjukvara. Resultat i tabell 5.2 baseras på denna kurva.	36
5.14	Mätresultat från system av variant 4(figur 5.7). Sinuskurvan motsvarar det spänningsvärde som uppmäts och bearbetats i mjukvara. Resultat i tabell 5.3 baseras på denna kurva.	36
5.15	Helhetsbild över en illustration av ett kabelskåp.	37
5.16	Illustration över mätenhetens komponenter.	38
5.17	Kretsschema över mätenheten + transformator med transientskydd.	38
5.18	Illustration över den centrala enhetens tänkta komponenter.	38
5.19	SLD 1 t.v i bild och SLD 000 t.h i bild. Notera att bilden innehåller två bilder där de två enheter till höger är desamma som de fyra till vänster fast ihopsatta.	39
5.20	Enkelmatad förstärkarkrets. Del av tidigare figur 5.17.	41
5.21	Bild över det 4:e ordningens filter som använts i slutgiltigt koncept. Del av figur 5.17.	42
5.22	Polynom av olika grad för konstruktion av Butterworth filter[19].	44
5.23	Mätning av filter vid 25Hz signal. V_{ut} (fasförskjuten) motsvarar signalen ut ur filter och V_{in} motsvarar signal från signalgenerator.	44
5.24	Mätning på samma sätt som figur 5.23 fast med högre frekvens(50Hz) på V_{in}	45
5.25	Mätning på samma sätt som figur 5.23 vid frekvens(68Hz) där V_{ut} dämpas med 3dB gentemot V_{in}	45
5.26	Spänningsdelning från figur 5.17.	47
5.27	Resultat av mätning med hel krets från bilaga A.1. Observera att skalan är annorlunda för de två signalerna för att båda ska få plats i oscilloskopsbilden.	48
5.28	Simuleringsresultat från Circuitlab med samma krets som testades i figur 5.27 ovan.	48
5.29	Transientskydd ur figur 5.17	49

5.30	Simuleringsresultat av spänning på kretsingång(VinMux i figur 5.29) vid förväntad spänning 325V AC (230V RMS).	50
5.31	Simuleringsresultat av spänning på kretsingång(VinMux i figur 5.29) vid transient på 800V motsvarande ± 1125 V AC på ingång på transformator.	50
5.32	Grundmodell från DigiKey för fasförskjutningsmätningar[23].	51
5.33	Kretskonstruktion för att detektera fasförskjutning. Egen utbyggnad av grundkonstruktionen från DigiKey(figur 5.32)	52
5.34	En "hög" signal genereras på utgången på XOR-grinden("En_Hög?" i figur 5.33) då en av signalerna ger utslag från komparator. Alltså då en av signalerna, spänning eller ström, överstiger komparators referensnivå. Namnet "En_Hög" användes främst för att enkelt kunna lokalisera de olika mätpunkterna i resultatrutan för simuleringen.	52
5.35	Signal som kombinerar komparators utsignal för spänning samt ström i en AND-grind för att indikera då båda signaler befinner sig under referenspunkten(jord). (signal "Båda_negativ?" i figur 5.33).	53
5.36	Signal från komparator, för strömsignal eller spänningssignal, tillsammans med signal från XOR-grind genererar resultat för vilken av signalerna som gått över referenspunkten(jord) för komparator. I denna figur visas båda signalerna("Spänning_Hög?" respektive "Ström_Hög?" i figur 5.33).	53
5.37	Tillståndsdigram som beskriver den tänkta arbetsgången i mjukvara för ovanstående egenkonstruerade fasförskjutningsdetektering.	54
A.1	Kretskonstruktion som användes vid test av mikrokontroller.	XV
A.2	Kretskonstruktion för att mäta spänning (ej likadan som i figur 5.17).	XVI
A.3	Kretskonstruktion för att behandla mätdata (mikrokontroller) samt visa denna på 7-segmentsdisplayer.	XVI

Tabeller

5.1	Parametrar AD629	28
5.2	Resultat från mätsystem av variant 3	35
5.3	Resultat från mätsystem av variant 4	35
5.4	Justeringar i mjukvara	47

1

Inledning

Detta kapitel syftar till att ge en inblick till rapportens huvudsakliga fokus samt förklarar hur projektet är relevant i vår samtid.

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle uppfinner företag allt fler funktioner för sina produkter och en del av dessa tillför ökade möjligheter till att utföra mätningar av individ samt teknik. Exempelvis kan mätningar som pulsmätningar, distansmätningar och sömn utföras med hjälp av något så enkelt som ett armbandsur för att ge användaren mer information kring sin hälsa. Andra exempel på mätningar som temperatur, luftfuktighet och energiförbrukning kan ge företag ökad kontroll över hur deras produkterna presterar inom olika förhållanden.

Ett av alla dessa företag som är intresserade av att kunna samla in mer data kring sina produkter är en enhet inom verkstadskoncernen ABB, ABB Kabeldon. ABB Kabeldon önskar att kunna utveckla ett system för att mäta fler parametrar inom sina kabelskåp och på så sätt erhålla mer information kring sina produkter under användning.

Syftet med dessa kabelskåp är att distribuera el på spänningsnivån 400V på både ett driftsäkert samt personsäkert sätt. Genom att samla in information kring ett flertal parametrar i dessa kabelskåp, då de är under drift, så kan detta sedan användas som stöd vid utvärdering av nuvarande produkter samt utveckling av nya produkter inom ABB Kabeldon.

1.2 Syfte

Denna rapport behandlar ett projekt som syftar till att ta fram ett koncept för ett mätsystem som ska kunna möjliggöra mätningar av ett flertal parametrar inom kabelskåp producerade av ABB Kabeldon.

1.3 Mål

Målet med arbetet är att ta fram ett koncept för hur olika parametrar skulle kunna uppmätas och samlas in i ett kabelskåp. Vidare så bör systemet ha möjlighet att paketera den insamlade datan samt sända denna till en kommunikationsenhet i skåpet

vars syfte är att skicka datan vidare till en annan ort. Det finns ytterligare önskemål om ett lättinstallerat system med utbytbara enheter då detta underlättar vid reparation och medför minimal påverkan på resterande produkter inom kabelskåpet.

1.4 Avgränsningar

Rapporten kommer inte behandla olika typer av kostnadsanalyser för projektet och dess komponenter. Mätssystemet, det projekt som rapporten behandlar, kommer att begränsas i den mening att endast ett koncept för mätningar kommer att tas fram. Ett koncept för hur denna data, som mätssystemet samlat in, ska kunna skickas vidare till en annan ort har ej varit en del av detta arbete.

Rapporten kommer främst behandla grundläggande mätteori som är av relevans för ett kandidatprogram inom elektroteknik. Därmed kommer inte följande avancerad databehandling att behandlas (definierad som avancerad enligt [1]):

1. Signalanalys i frekvensrum
2. Systemanalys i frekvensrum
3. Signal- respektive systemanalys i tidsrum
4. Korrelation
5. Kurvanpassning
6. Signalinterpolation
7. Mätosäkerhet

Viss avancerad mätteori kan komma att tas upp om det är av relevans för arbetet. Exempel på detta är:

1. Analog filterteori

2

Kravspecifikation

Den kravspecifikation som togs fram i samarbete med ABB Kabeldon i början av detta arbete beskrev ett system innehållandes komponenter för att mäta spänningar samt strömmar före respektive efter varje säkring i respektive säkringslastfrånskiljare för att detektera om en säkring gått eller ej.

De primära kravspecifikationer definierades enligt följande:

- Systemet ska för varje fas mäta spänningar före- respektive efter varje säkring på säkringslastfrånskiljarna.
- Systemet ska mäta strömmar på respektive utgång från säkringslastfrånskiljarna.
- Systemet ska kunna detektera om en säkring har gått.

Ytterligare sekundära kravspecifikationer var följande:

1. Systemet ska kunna mäta temperatur
2. Systemet ska kunna behandla mätdata så att en överföring av denna blir möjlig i ett senare skede då en kommunikationsenhet tagits fram.
3. Systemet ska inte innebära någon fara för operatörer vid arbete i kabelskåp.
4. Systemet ska vara utbytbart utan att behöva byta säkringslastfrånskiljarna.
5. Systemet ska vara kostnadseffektivt.

3

Teoretisk Bakgrund

I följande kapitel beskrivs den teori som var av nytta för arbetet, teori för generella mätsystem och mätmetoder samt vad som bör tas hänsyn till vid utveckling av ett mätsystem. Även använd programvara samt övrig teknisk fakta presenteras under detta kapitel.

3.1 Varför mäter vi?

Allt eftersom människor levt på denna planet har fler naturliga fenomen upptäckts och olika metoder samt instrument har tagits fram för att kunna mäta dessa fenomen på olika vis. För att kunna förstå och förklara det vi sett har olika fysikaliska storheter tagits fram i form av längd, massa, tid, elektrisk ström, absolut temperatur, substansmängd och ljusstyrka vilka sedan kunnat användas för att härleda en mängd ytterligare storheter. Genom dessa data har människan kunnat beskriva samt förstå sin omgivning.

3.2 Mätsystem

För att kunna beskriva naturliga fenomen måste vi uppmäta olika aspekter av vår natur med hjälp av mätsystem speciellt anpassade för att mäta den fysikaliska storhet som är av intresse. Det finns en mängd olika typer av mätsystem som var och ett har för- respektive nackdelar beroende på vilken typ av noggrannhet, kostnad, storlek och tålighet som önskas.

3.3 Hållbarhet

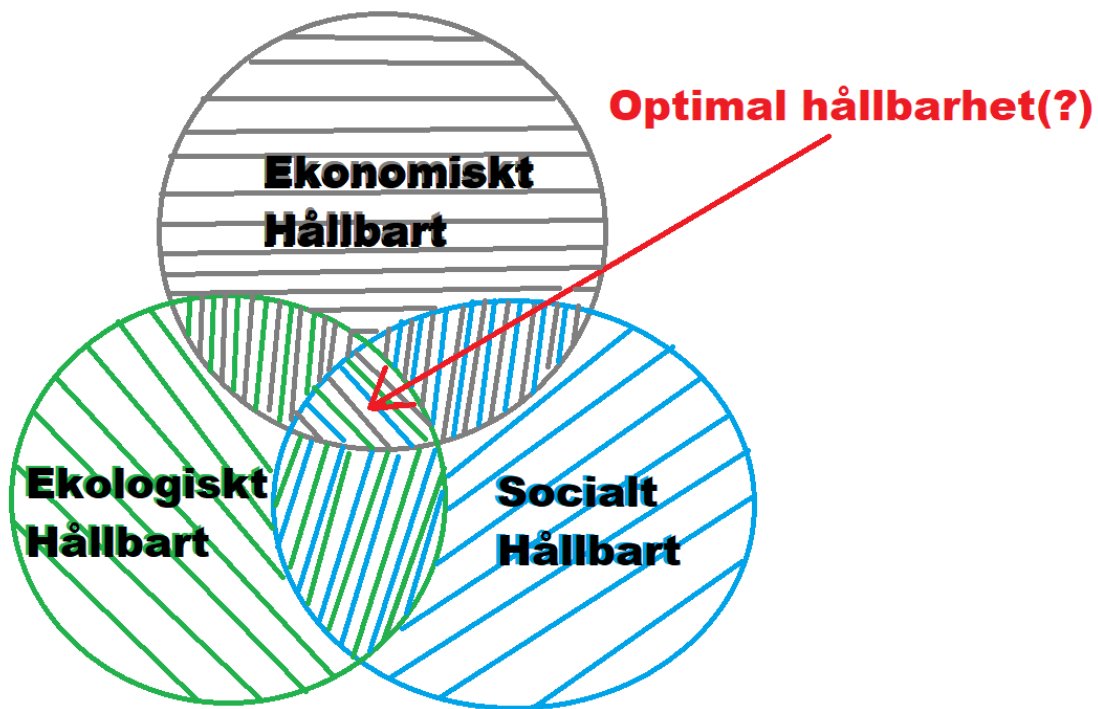
Första tillfället då hållbarhet definierades offentligt var vid Brundtland Kommissionen år 1987. Hållbarhet definierades då som "En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov"[2].

När det talas om hållbarhet så innefattar det ofta tre olika aspekter:

1. Ekologisk hållbarhet
2. Social hållbarhet
3. Ekonomisk hållbarhet

Dessa aspekter brukar ibland presenteras i ett Venndiagram (likt det i figur 3.1) där det centrala, överlappande, området innefattar att alla ovanstående aspekter på

hållbarhet uppfylls.



Figur 3.1: Ett typiskt Venndiagram beskrivande hur de olika hållbarhetsaspekterna överlappar varandra.

De tre aspekterna baseras på de tre kapital som människan är beroende av nämligen:

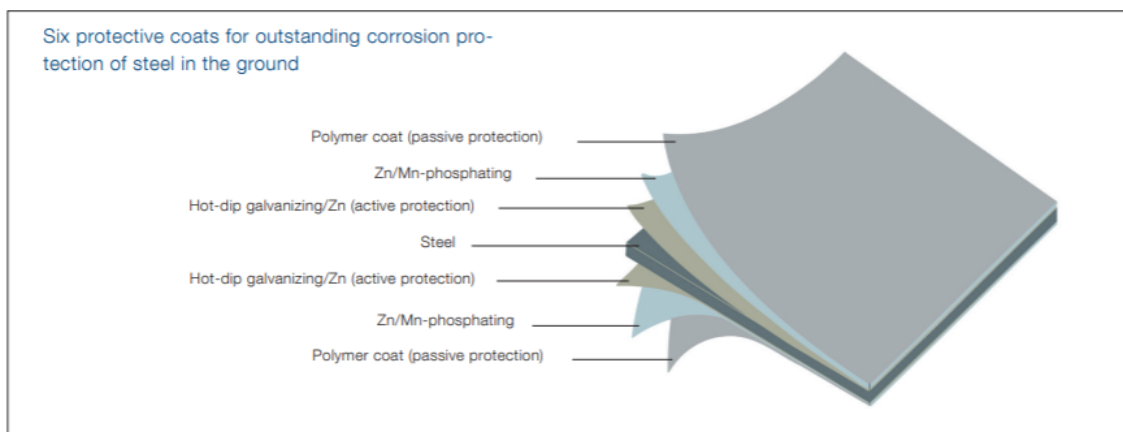
1. Ekonomiskt kapital
2. Socialt kapital
3. Ekologiskt kapital

Hållbarhet innebär därmed, enligt definitionen i början av sektionen, att tillfredsställa behovet av dessa ovanstående kapital för nuvarande samt framtida världsbefolkning. Tack vare verktyg som "Gapminder.org" så går det idag att se tydliga trender i världen gällande en mängd olika parametrar[3]. Den nuvarande digitaliseringen samt globaliseringen har ökat välbefindandet för människor i många länder världen över men kanske till en kostnad av miljön[4].

Detta arbete innefattar hållbarhet i den mening att mätsystemet kan i framtiden, då det sätts i bruk, samla in data över specifika parametrar som kan användas för att utveckla infrastruktur och genomföra effektiv stadsplanering mot ett mer hållbart samhälle. Dessa parametrar har tagits hänsyn till och förslag till dataanvändning presenteras i resultatdelen.

3.4 Kabelskåp

ABB Kabeldon erbjuder en uppsättning olika kabelskåp som alla är anpassade för att klara av det arktiska klimatet. Kabelskåpen uppfyller krav på en lång livstid med låga underhålls- samt driftskostnader och med god säkerhet även vid livstidens slut. Skåpen är behandlade enligt specifika metoder för att skåpet ska motstå det tuffa klimat som det kan tänkas placeras i. Exempelvis så appliceras ett extra korrosionsskydd på de delar som grävs ner i marken då dessa är extra utsatta för korrosion[5].



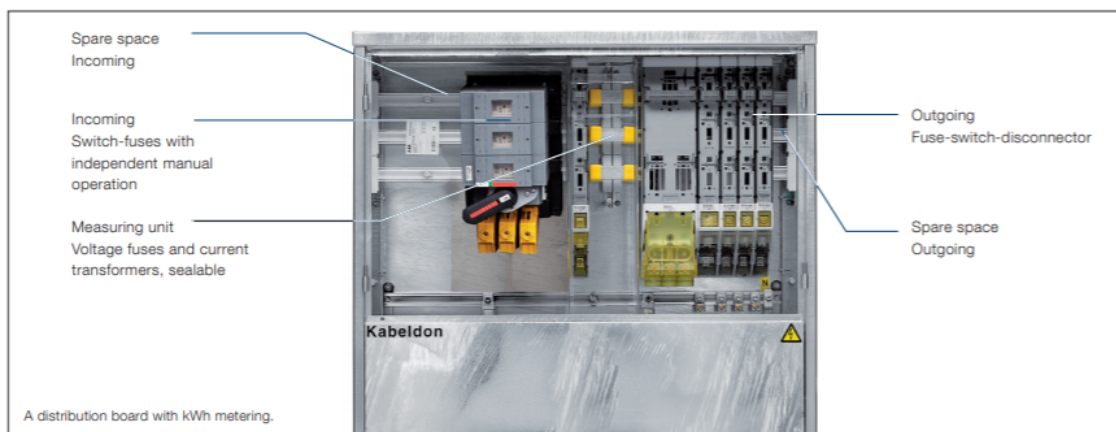
Figur 3.2: Illustration av de lager av ytbehandling som finns på kabelskåpen[1].

3.4.1 Kabelskåpets uppbyggnad

Dessa ovanstående nämnda parametrar togs hänsyn till vid val av transformator samt val av strömmätningseenhet. Inuti skåpen finns oftast fyra stycken anslutnings-skenor, Line 1, Line 2, Line 3 vilket motsvarar de tre olika faserna samt PEN (PE+N) vilket motsvarar "Protective Earth" och "Neutral" sammankopplad. Ibland separeras dessa vilket innebär att det monteras fem skenor i skåpet.

På vardera fas verkar en fasspänning som ofta benämns vid sitt effektivvärde, 230V. Emellan fasskenorna så verkar huvudspänningen motsvarande $\approx 400V(\sqrt{3} \cdot 230)$.

På dessa skenor monteras sedan olika enheter som brytare och kontakter.



Figur 3.3: Exempel på hur ett kabelskåps komponenter kan vara kopplade på dess skenor[5].

3.4.2 IP-System

Inuti skåpen placeras ett "IP-system". Detta är ett modulsystem som möjliggör en enkel installation av en mängd olika enheter i skåpet. "IP" står för "international protection marking" och är en benämning för vilken grad av säkerhet som de olika enheterna innehar. Klassningen baseras på hur väl enheterna är skyddade samt skyddar mot:

- Mänsklig beröring av farliga delar.
- Åtkomlighet av farliga delar med främmande föremål.
- Inträngning av vatten.

Modulsystemet är uppbyggt på ett sådant sätt att installation av olika enheter är både säkert, flexibelt och snabbt då det går att ansluta vissa enheter under ett spänningssatt system.

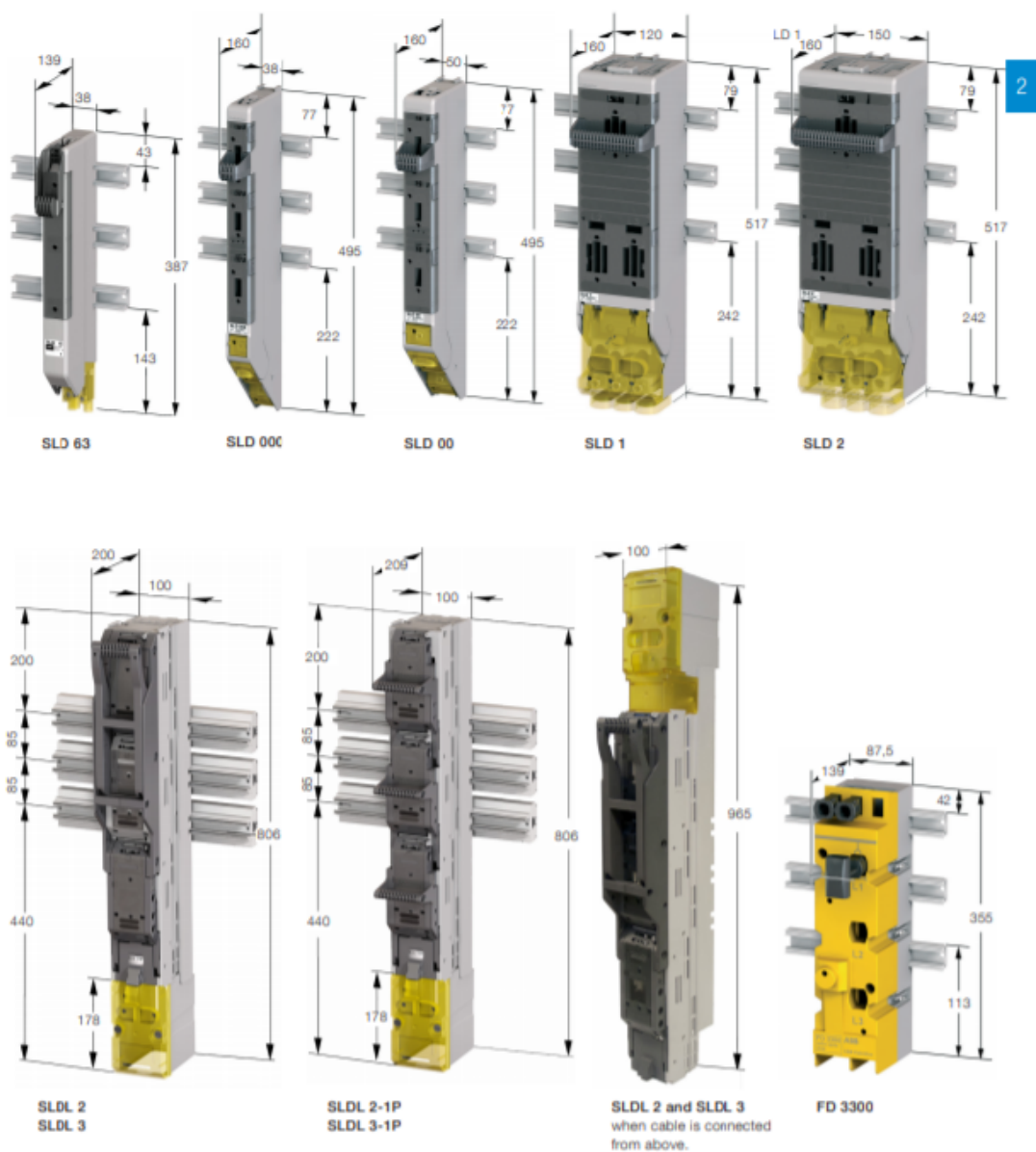
Exempel på enheter är följande:

- Säkringslastfrånskiljare
- Säkringslastbrytare
- Sektioneringslastbrytare
- Frånskiljningsdon

3.4.3 Säkringslastfrånskiljare

En säkringslastfrånskiljares(figur 3.4) uppgift är att frånskilja lasten från matningskällan på ett säkert samt effektivt sätt och innehåller en säkring per fas. Detta medför att anslutningen kan brytas genom att dra isär brytaren med hjälp av handtaget utan att medföra en risk för ljusbågar. Därefter kan byte av säkringar ske i ett spänningslöst tillstånd. Säkringslastfrånskiljare finns i ett flertal storlekar beroende på vilken storlek av säkring som ska placeras i frånskiljaren. ABB Kabeldon producerar säkringslastfrånskiljare med möjlighet att installera säkringar från 63 ampere till och med 630 ampere med både möjlighet till tre- respektive enpolig brytning, där antalet poler motsvarar antal faser som bryts vid en frånskoppling.

Dimension drawings All dimensions in mm



Figur 3.4: Olika varianter av säkringslastfrånskiljare[5].

De övriga enheter som presenterades under den ovanstående delen "IP-system" är andra typer av frånskiljare och brytare vars främsta uppgift är att bryta kopplingen mellan last och matning eller att bryta den inkommande spänningskällan till kabelskåpet för att kunna utföra arbete i detta.

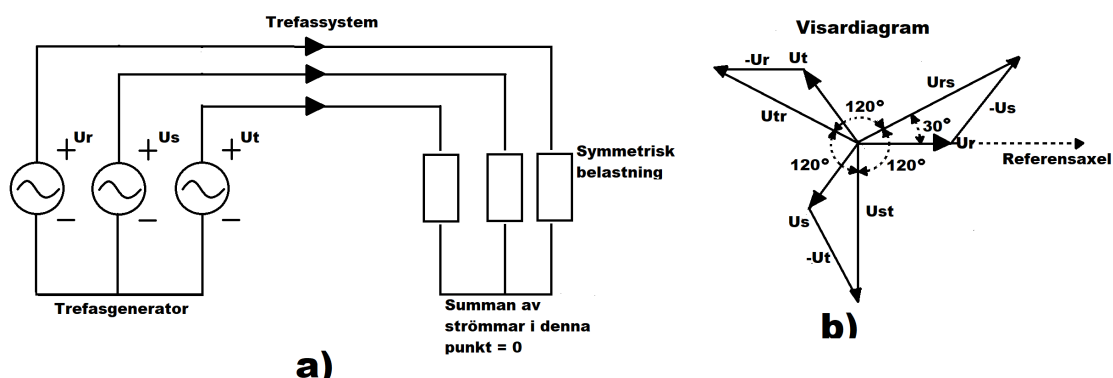
3.4.4 Säkring

En säkring är en enhet vars uppgift är att begränsa strömmen till ett efterliggande system. Detta med syfte att skydda utrustning som matas med samma ström som passerar säkringen och som kan ta skada vid för höga strömmar. I säkringslastfrånskiljaren används knivsäkringar som är en typ av smältsäkring. En smältsäkring fungerar vanligtvis på så sätt att en tunn tråd i seriekoppling med källa och last brister då strömstyrkan överstiger en specifik nivå[6].

3.5 Trefassystem

Ett trefassystem har flera fördelar gentemot ett enfassystem och en av dessa är att genom att kombinera tre fasförskjutna spänningar så blir summan av ögonblickseffekten i princip konstant (mycket små variationer) och därmed så varierar inte generatorers samt belastningars effekter på samma sätt som för ett enfassystem. Ett trefassystem har även ytterligare en fördel i form av att flera spänningar kan erhållas från de tre faserna. Genom att koppla belastningen mellan två faser så erhålls en så kallad "huvudspänning" och genom att koppla belastningen mellan en fas och neutral så erhålls en "fasspänning"[7].

Nedan följer en figur beskrivande trefassystemets uppbyggnad och hur dess fas- respektive huvudspänningar förhåller sig till varandra. Notera att det inte finns någon återledare i figuren till vänster. Förklaringen till detta är att då ett trefassystem utsätts för symmetrisk belastning, det vill säga lika belastning på vardera fas, så behövs ingen återledare för de tre faserna på grund av att i den punkt där faserna kopplas ihop så motverkar strömmarna varandra och strömsumman blir noll i neutral punkten. I verkligheten belastas sällan faserna helt symmetriskt och därmed ser visardiagrammet annorlunda ut gentemot det i figuren nedan[7].

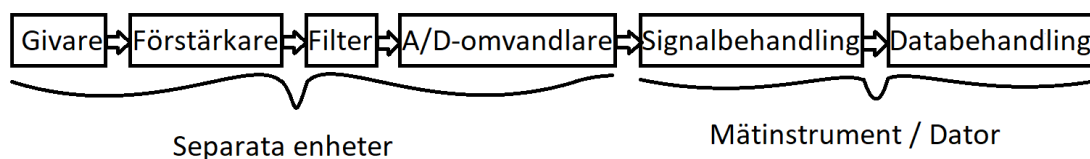


Figur 3.5: Exempel på hur komponenter kan vara kopplade på skenorna i ett kabelskåp.

3.6 Elektriska Mätsystem

I en allt mer digitaliserad värld har dagens mätsystem blivit allt mer digitaliserade för att kunna möjliggöra stor datainsamling och överföring av data över stora sträckor genom *nätet*(internet). För att digitalisera mätdata behöver den fysikaliska storhet som är av intresse kvantifieras med hjälp av ett elektriskt mätsystem. Detta kan ske med hjälp av ett flertal komponenter sammankopplade, exempelvis enligt figur 3.6.

Exempel av ett typiskt elektriskt mätsystem



Figur 3.6: Exempel på ett typiskt mätsystem.

3.6.1 Givare

Givare finns att tillgå i en mängd olika utformningar och kan mäta en stor uppsättning av fysikaliska storheter. Givare kan använda mekaniska eller andra "icke-elektriska" metoder för att bestämma en fysikalisk storhet. På grund av dess fördelar är det idag vanligt att använda elektriska mätsystem där givare används för att omvandla den fysikaliska "icke-elektriska" storheten till en elektrisk storhet[1].

I detta arbete har givare främst använts för att utföra temperaturmätningar och den valda sensorn för temperaturmätningar (LM35) fungerar enligt följande princip[8]:

$$V_{\text{ut}} = 10\text{mV}/^{\circ}\text{C} \cdot T \quad (1)$$

Där T är temperatur i grader *Celsius*.

Detta är alltså ett linjärt samband vilket är önskvärt vid resultat från givare för att undvika vidare beräkningar samt justeringar av mätresultatet.

3.6.2 Operationsförstärkare

Efter att ha erhållit en elektrisk mätsignal med hjälp av en noggrant utvald givare så måste mätsignalen i många fall förstärkas. Det finns en mängd olika sorters förstärkare med olika för- respektive nackdelar som måste analyseras noggrant för att uppnå önskvärt resultat. Det finns två grundläggande begrepp inom förstärkning: *decibel* samt *Operationsförstärkare*.

Vanligtvis så brukar förstärkning mätas i dB, *decibel*. Detta är en logaritmisk enhet som ofta används på grund av att örats känslighet är logaritmisk och därav går det att förstå hur exempelvis ljudet i ett audiosystem kommer att uppfattas av örat[1].

Definitionen för förstärkning uttryckt i decibel är följande:

$$F = 20 \cdot \log \frac{U_{\text{ut}}}{U_{\text{in}}} \quad (2)$$

U_{ut} = Förstärkarens utsignal

U_{in} = Förstärkarens insignal

Operationsförstärkaren är en mycket användbar komponent som kan användas i många olika kretssammanhang för att utföra olika matematiska operationer (addition, subtraktion, division, multiplikation, integrering) eller inom filterdesign som beskrivs senare i detta kapitel.

Ofta ses operationsförstärkaren i dess ideala format med följande parametrar[9]:

1. Förstärkning = ∞
2. Ingångsimpedans = ∞
3. Utgångsimpedans = 0

På grund av den ideala operationsförstärkarens oändligt höga förstärkning brukar denna ofta konstrueras i en motkopplad modell där signalen ut ur operationsförstärkaren kopplas tillbaka till en av ingångarna. Detta för att åstadkomma en mer linjär förstärkning för operationsförstärkaren.

Följande gäller för den motkopplade operationsförstärkarens förstärkning[9]:

$$A_V = \frac{U_{\text{ut}}}{U_{\text{in}}} = \frac{A_{V0}}{1 + \beta A_{V0}} \quad (3)$$

Där

A_{V0} = råförstärkningen (open-loop voltage gain)

A_V = faktisk förstärkning på grund av motkoppling

β = motkopplingsfaktor

$\beta \cdot A_{V0}$ = slingförstärkning (loop gain)

$1 + \beta \cdot A_{V0}$ = motkoppling

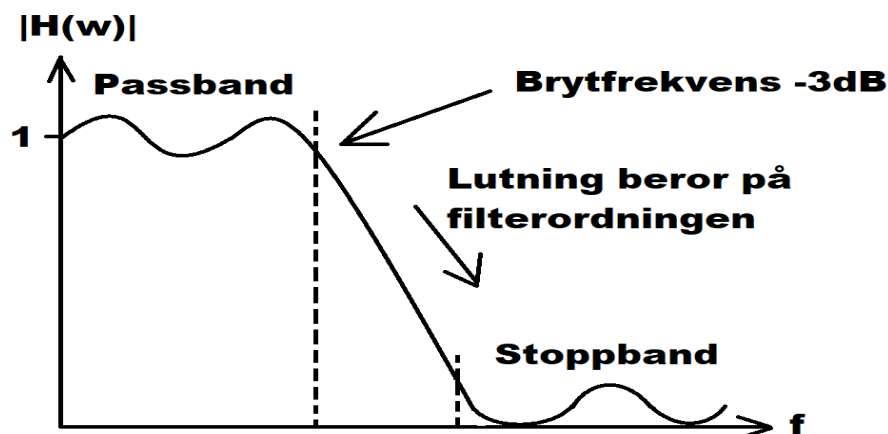
De skillnader som finns mellan en ideal och verklig operationsförstärkare hade ingen större påverkan i detta arbete men kan komma att påverka framtida vidarutveckling av konceptet då det testas vid betydligt högre eller lägre temperaturer vilket har en inverkan på operationsförstärkarens funktion (mer om detta i resultatdelen)[10].

3.6.3 Filter

Innan eller efter, eller till och med i kombination med en operationsförstärkare brukar ett filter placeras för att filtrera bort oönskade frekvenskomponenter. Ett filter går även att skapa i mjukvara och kallas då för "digitalt filter". I denna rapport behandlas endast det "analoga filtret" då det är det enda av intresse för denna rapport.

Analog filter går att konstruera som passiva eller aktiva filter och skillnaden sinsemellan är att det passiva filtret alltid är en spänningsdelning mellan två olika impedanser[1]. Ett filter konstrueras alltid efter en önskvärd gränshfrekvens som innebär vid vilken frekvens som signalen ska dämpas med 3dB från sitt maximala värde. Anledningen till att definitionen är sådan är på grund av att vid denna dämpning har även effekten sjunkit till hälften[9]. Denna gränshfrekvens innebär att alla frekvenser av signalen under (eller över) gränshfrekvensen, beroende på filter, dämpas.

Med hjälp av simuleringar så går det att ta fram ett filters specifika frekvenskaraktistik i ett så kallat "Bodediagram" vilket innebär att ta fram en graf som beskriver hur signalen förändras, förstärks eller dämpas, för ett spann av frekvenser. Bodediagrammet kan även ge information kring hur ett filter påverkar signalens fas då den passerar filtret. Den del av frekvensspannet som förstärks eller förblir oförändrad kallas för "passband" och den del av frekvensspannet som dämpas kallas för "spärrband". Dessa olika termer illustreras i figur 3.7. Ett filter går även att konstruera så att ett särskilt spann av signalfrekvenser filtreras bort eller tillåts passera där det tidigare kallas "bandspärrfilter" och det senare för "bandpassfilter"[9].



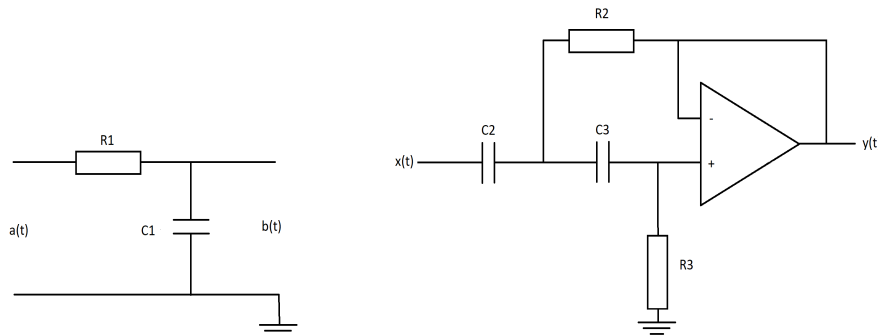
Figur 3.7: Illustration över passband, stoppband, brytfrekvens samt lutning i ett lågpassfilter av typ Butterworth.

Förutom att konstruera filter utefter vilka frekvenser som skall tillåtas passera går det även att designa filter i olika ordningar baserat på vilken frekvenskaraktistik som önskas. Ett filters ordning bestäms av antalet poler samt nollställen som finns i filtrets överföringsfunktion. Poler samt nollställen kan enkelt beskrivas som de värden där nämnare, för poler, eller täljaren, för nollställen, är lika med noll. Dessa är antingen reella eller så förekommer de i form av ett komplexkonjugerat par. Om det önskas ett filter med en brantare övergång mellan passband och stoppband så kan detta åstadkommas genom att öka ordningen på filtret genom att kaskadkoppla flera filter av lägre ordning, flackare övergång, och resultatet blir ett nytt filter med ordning motsvarande summan av de kaskadkopplade filtrens ordning.

En viktig sak att påpeka är dock att alla sorters filterkonstruktioner kan ej seriekopplas utan att det uppstår problem. Vissa filterkonstruktioner kan komma att

påverka varandras impedanser och resultera i ett oönskat resultat. Ett sätt att lösa detta problem är att koppla in en operationsförstärkare mellan de olika filtren och använda denna som en spänningsföljare. På så sätt, på grund av operationsförstärkarens mycket höga impedans på ingångarna och mycket låga impedans på utgången, så kommer de två filterkretsarna ej att påverka varandra.

Ett exempel på ett passivt lågpasfilter innehållande en resistor i serie med en kapacitans visas nedan tillsammans med ett aktivt lågpasfilter av andra ordning, även kallat "Sallen-Key" filter. Respektives beräkning för gränshfrekvensen visas även i följande ekvation.



Figur 3.8: Exempel på ett passivt lågpasfilter t.v och ett aktivt andra ordningens Sallen-Key lågpasfilter t.h.

Gränshfrekvensen, f_g , för det passiva filtret beräknas enligt följande:

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (4)$$

Och för det aktiva lågpasfiltret:

$$f_g = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_2 R_3 C_2 C_3}} \quad (5)$$

3.6.4 A/D-omvandlare

Analog-till-digital-omvandlare används i många system för att omvandla en mottagen analog signal av en viss styrka till en digital signal med ett visst värde. Den analog signal som omvandlaren har möjlighet att omvandla beror på det spänningsintervall som ingången till omvandlaren klarar av. Det värde som den analoga signalen kan anta beror på två faktorer:

- Referensspänningen för A/D-omvandlaren.
- Det antal bitar som det digitala värdet representeras av.

Med tillgång till referensspänningen och antalet bitar i A/D-omvandlingens resultat kan den minsta mätbara nivån beräknas, även kallat ett kvantiseringsteg, det vill

säga den minsta nivån som den analoga signalen behöver förändras för att ge en förändring i det digitala värdet[1]. Detta beräknas enligt följande:

$$\Delta U = \frac{V_{\text{ref}}}{2^n} \quad (6)$$

Där n motsvarar antalet bitar och

där det totala omvandlingsspannet blir:

0 till $(n-1)$ bitar $\Rightarrow$ 0V till $(V_{\text{ref}} - \Delta U)$.

Som vi ser i ekvationen ovan så ger ett större antal bitar en högre noggrannhet och därmed ett mindre kvantiseringssteg, vilket i sin tur medför att även kvantiseringsfelet blir mindre. Kvantiseringsfelet innebär det fel som uppstår då den analoga signalen omvandlas och avrundas till närmsta digitala värde[1]. Detta beräknas enligt följande:

$$\text{Kvantiseringsfel} = \text{kvantiserat värde} - \text{verkligt värde}$$

En ytterligare viktig aspekt vid A/D-omvandling är vid vilken frekvens den analoga signalen samplas, det vill säga hur ofta en analog signal läses av och omvandlas till en digital. Enligt "Nyquist-Shannons samplingsteorem", oftare benämnt som "samplingsteoremet" så måste en kontinuerlig signal av begränsad bandbredd samplas med en frekvens som är större än dubbla den högsta frekvensen i signalen[11]. Detta är ett essentiellt kriterier för att all information i signalen ska kunna sparas och signalen ska kunna återskapas. Det är dock inte tillräckligt för att vara säker på att korrekt signal samplas. För att säkerställa att det inte uppstår några vikningar, vilket innebär att förhindra att signaler med frekvenser ovanför den intressanta signalens frekvens samplas[1], så bör ett filter appliceras innan signalen samplas och detta filter bör designas för:

$$f_g \leq \frac{f_s}{2} \quad (7)$$

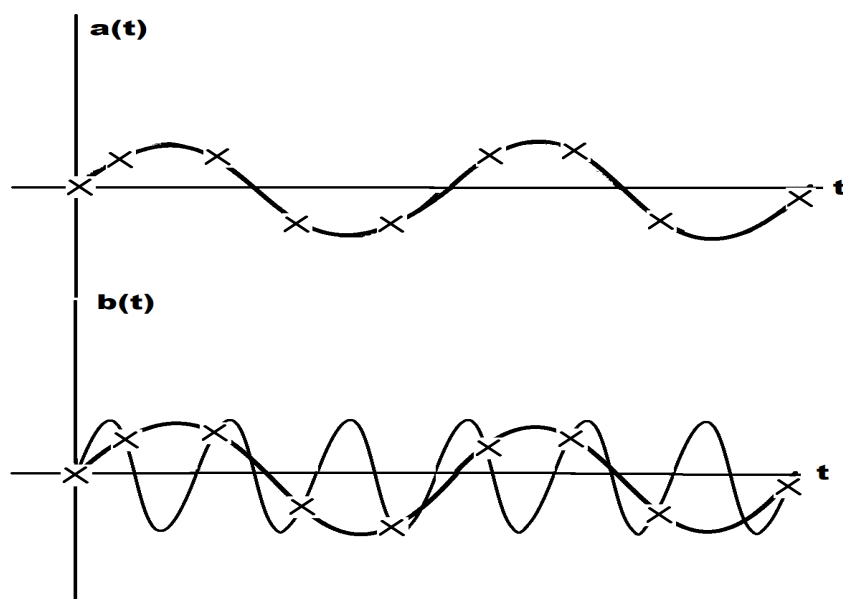
Där f_g = filtrets gränsfrekvens

Och f_s = samplingsfrekvensen

Ett exempel på vad som kan uppstå om detta filter inte appliceras visas i figur 3.9 där $a(t)$ är en signal som samplats vid varje "x" och som samplats utan vikning och därmed kommer att gå att återskapa. Däremot ser vi att $b(t)$, en sinussignal med högre frekvens, blir samplad lika ofta som $a(t)$ och ger exakt samma resultat som i $a(t)$ trots att den inkommande signalen har betydligt högre frekvens än resultatet. Detta är ett resultat av vikning där samplingen, på grund av sin för låga frekvens, ger fel information till A/D-omvandlaren och därmed blir resultatet fel.

Det finns tre olika typer av A/D-omvandlare som bygger på den teori som just beskrivits:

- Successiv approximation



Figur 3.9: Exempel på vikinnsfenomenet som syns i den nedre figuren där fel resultat erhålls ifrån samplingarna.

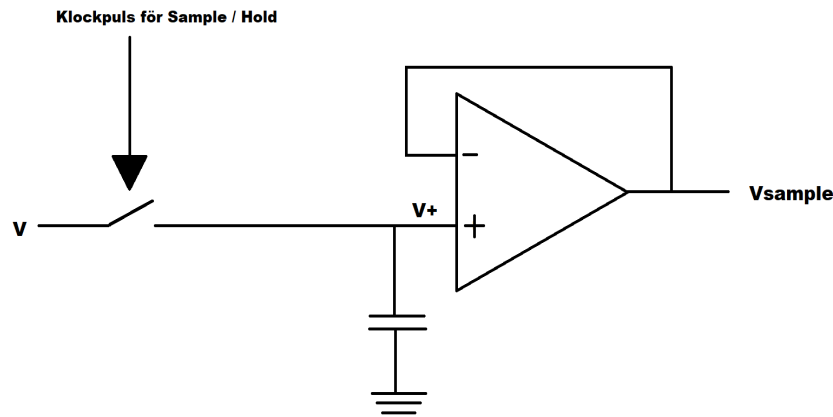
- Dual slope
- Flash-AD

De två senare metoderna, Dual slope samt Flash-AD behandlas ej i denna rapport då de inte ingick i någon av den elektroniska utrustning som användes under laborationsarbetet.

Successiv approximation, förkortat SAR, är en A/D-omvandlingsmetod som är en typ av avvägning mellan noggrannhet och snabbhet[1]. SAR-metoden är snabbare än Dual slope men ger ett resultat av lägre noggrannhet, metoden är långsammare än Flash-AD men ger en högre noggrannhet. Metoden innehåller en kontrollenhet, Digital-till-Analog-omvandlare, komparator samt en Sample-and-hold krets. Vidare behövs även klockpulser och kontrollsignaler från externa enheter.

Komparatorn fungerar på så sätt att den jämför spänningar och ger ut antingen max eller min, 1 eller 0, beroende på vilken inspanning som är störst. Sample-and-hold kretsens uppgift är att, precis som det låter, sampla en punkt i den analoga insignalen och hålla denna konstant under en viss tid. Kretsen styrs av en kontrollsignal utifrån som bestämmer när kretsen ska sampla respektive hålla signalen.

I figur 3.10 så laddas kondensatorn i kretsen då brytaren stängs och en potential i punkten "V+" motsvarande "V" uppstår. Denna potential ligger även i punkten "Vsample" på grund av spänningsföljaren som håller samma spänning på utgången som på ingången. När brytaren sedan bryts så "håller" kondensatorn denna spänning under en viss tid och det är under denna tid som kontrollenheten, D/A-omvandlaren samt komparatorn utför beräkningar för att åstadkomma rätt digitalt värde motsvarande den samplade signalen.



Figur 3.10: Uppbyggnad av en Sample-and-Hold krets.

3.6.5 Signalbehandling

Signalbehandling innebär att med olika matematiska metoder förändra eller representera en signal och den information som denna innehåller. Signalbehandling kan vara både analog och digital där ett filter, som beskrivits tidigare, är en typ av analog signalbehandling[1]. Denna del fokuserar främst på den teori som är av intresse för den digitala signalbehandling, i form av beräkningar för effektivvärden, som varit nödvändig för detta arbete. Signalbehandlingen har främst skett med hjälp av en Arduino Uno för att sedan testa vissa delar av programmet på en mikrokontroller av modell PIC16F182 från företaget Microchip.

3.6.5.1 Arduino Uno

Arduino Uno är en användarvänlig hårdvarukrets som programmeras med hjälp av specifikt framtagna programmeringsbibliotek. Kretsen i sig är baserad på en 16MHz ATmega328p mikrokontroller och innehåller en uppsättning GPIO-portar och en mängd hårdvarufunktioner kopplade till dessa portar. Arduino startades vid "Ivrea Interaction Design Institute" som ett verktyg för att studenter att tillverka prototyper[12].

3.6.5.2 Beräkning av effektivvärde

Effektivvärdet, även kallat "RMS-värde" ifrån "Root Mean Square", baseras på likspänning som vid samma resistans levererar lika effekt som växelspänningen. Effektivvärde används främst för att förenkla beräkningar av effekt vid växelspänningar. Effektivvärde kan beräknas enligt formeln nedan för en sinusformad signal:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{topp}}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

men kan även beräknas enligt följande formel då signalen ej är en ren sinussignal[13]:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}} \quad (9)$$

Där $v_1 \dots v_n$ motsvarar samplingsar av spänningsnivån i signalen

Och n motsvarar antalet samplingsar

3.6.5.3 Beräkning av fasförskjutning

Fasförskjutning definieras som den skillnad i vinkel mellan spänning- respektive strömsignal i ett enfassystem[7]. Denna vinkel kan beräknas genom följande formel:

$$\text{Fasförskjutning}(\varphi) = \frac{t_1 - t_2}{T} \cdot 360 \quad (10)$$

Där t_1 = tiden då den ena signalen passerar en specifik punkt

Och t_2 = tiden då den efterföljande signalen passerar samma punkt

T = periodtiden för de båda signalerna

Vidare, med hjälp av den nu kända fasförskjutningen(φ), kan de olika effekterna som verkar på en enfasledning beräknas enligt[7]:

$$\text{Aktiv effekt: } P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (11)$$

$$\text{Reaktiv effekt: } Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (12)$$

$$\text{Skenbar effekt: } S = U \cdot I \quad (13)$$

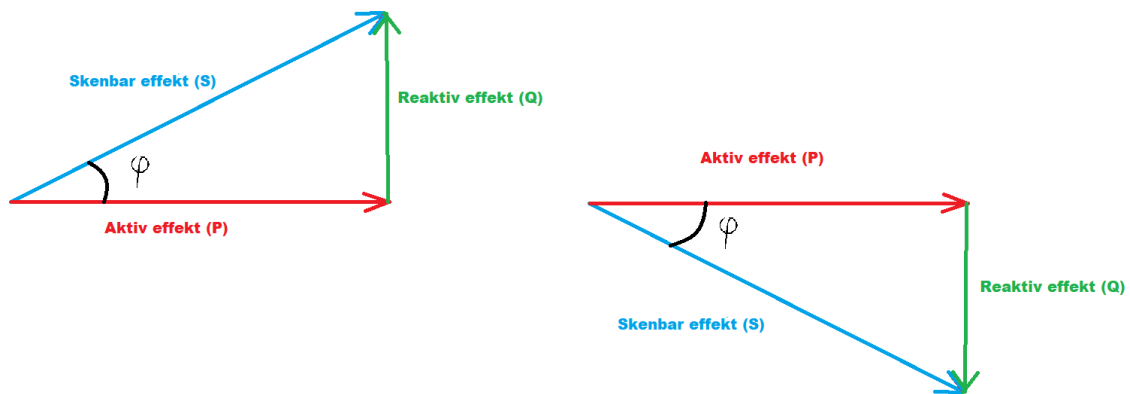
Där: U = effektivvärde för spänningen på en fas

Och: I = effektivvärde för strömmen på en fas

Dessa effekter är av särskilt intresse i elkraftssammanhang då effektöverföring mellan källa och last undersöks i form av hur de olika effekterna som överförs förhåller sig till varandra(se figur 3.11) och med tillgång till dessa förhållanden kan en bättre förståelse för effektöverföringen uppnås.

I figur 3.11 illustreras en "släpande" respektive "ledande" effektfaktor. En "släpande" effektfaktor uppstår då fasströmmen ligger fasförskjuten efter fasspänningen och detta resulterar i effektförhållandet i figuren till vänster där φ är fasförskjutningens vinkel. En "ledande" effektfaktor innebär därmed motsatsen, nämligen att fasströmmen ligger φ före fasspänningen[7]. Dessa förhållanden kan även användas för att undersöka huruvida lasten är "induktiv"("släpande" effektfaktor) eller "kapacitiv"("ledande" effektfaktor).

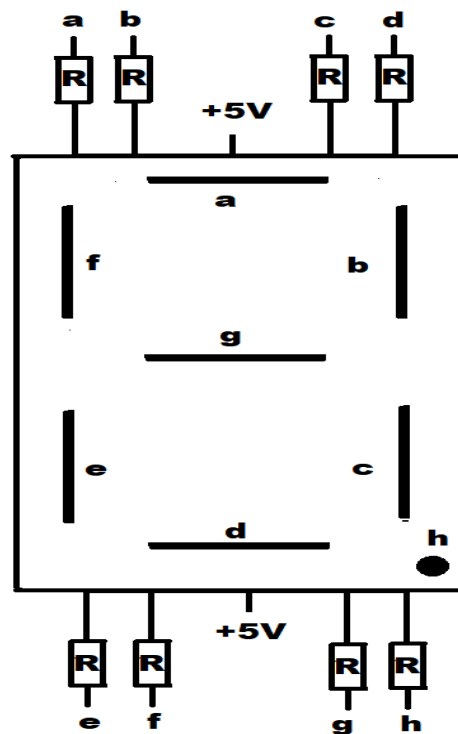
I denna rapport gjordes inga närmare undersökningar av ovanstående effektförhållande men i förbättringsförslagen ingår kretskonstruktioner där grundläggande kunskap kring dessa effektförhållande samt dess formler kan vara av intresse.



Figur 3.11: Förhållandet för effekter. t.v illustreras en ”släpande” effektfaktor. t.h illustreras en ”ledande” effektfaktor.

3.6.6 LED Display

LED, ”Light Emitting Diode”, är en lysdiod byggd på halvledarmaterial och som ger ifrån sig ett ljus då ström färdas i dess framriktning. Genom att integrera en mängd lysdioder i en specifik struktur så går det att uppnå talen 0 till 9 genom att tända korrekt uppsättning av dioder.



Figur 3.12: Illustration av en typisk konstruktion för en 7-segmentsdisplay.

3.7 Mjukvaror

I denna del beskrivs de mjukvaror som använts vid arbetet.

3.7.1 LTSpice

LTSpice är utgivet av Linear Technology (Ägs idag av Analog Devices[14]) och är ett program skapat för simulering av analoga kretsar. LTSpice innehåller ett användarvänligt gränssnitt och flera användbara funktioner som underlättar vid konstruktion och test av analoga kretsar. Programmet innehåller en mängd olika komponenter från olika tillverkare och dess specifika egenskaper är kopplade till komponenterna, de är därav inte ideala komponenter. En sak att ta i beaktning är att simuleringar i LTSpice kan skilja sig nämnvärt ifrån verkliga kretstestningar[15].

3.7.2 Circuitlab

Circuitlab är precis som LTSpice ett kretssimuleringsprogram som är webbaserat och därmed behöver ingen programvara installeras på datorn. Circuitlab används på liknande sätt som LTSpice och det är främst användargränssnittet som skiljer dessa åt[16].

3.7.3 Arduino IDE

Arduino IDE är en utvecklingsmiljö framtagen för att på ett användarvänligt och enkelt sätt programmera Arduino utvecklingskort. Programmet innehåller en mängd bibliotek och funktioner specifikt framagna för de komponenter som kopplas till en Arduino krets. Arduino kan kodas i programspråket C[12].

3.7.4 MPLAB

MPLAB är en utvecklingsmiljö framtagen av Microchip för att programmera och simulera deras egna PIC-processorer. Programmet innefattar en kompilator, debugger och en simulator för att kunna erbjuda stora användarmöjligheter vid programmering av processorerna. Processorerna programmeras i C-kod eller maskinkod och programmet går att överföra med hjälp av Microchips "PICkit3" som programmerar minnet på de flesta FLASH baserade PIC-processorer via USB kabel[17].

4

Metod

Detta kapitel beskriver hur arbetet är genomfört, hur tankegången har varit vid val av verifikationsmetoder samt vid val av olika kretsalternativ.

4.1 Arbetsgång

Nedan följer den arbetsgång och de steg som var nödvändiga för att kunna ta fram ett konceptet för mätsystemet.

- Förstå hur ett kabelskåp och dess säkringslastfrånskiljare är konstruerade och hur säkringslastfrånskiljare monteras i kabelskåpet.
- Undersök hur spänningen innan och efter säkringar i säkringslastfrånskiljaren kan mätas på ett tillförlitligt sätt.
- Simulera olika varianter av spänningsmätningsskretsar
- Testa spännings- samt temperaturmätning med Arduino Uno.
- Överför program till mikrokontroller.
- Undersök hur strömmätningar kan implementeras i systemet.
- Fundera kring hur flera liknande enheter kan sammankopplas i kabelskåpet.
- Undersöka om det finns möjlighet att förbättra konceptet ytterligare och implementera dessa förbättringar.

4.2 Kabelskåpet

Det första steget i arbetet var att kontrollera olika parametrar för kabelskåpen. De parametrar som kontrollerades var följande:

- Vilket temperaturområde skåpet kan förväntas placeras i.
- Hur stor plats som finns tillgänglig för ett mätsystem i skåpet.
- Vilka ström- samt spänningsnivåer som verkar på komponenterna i skåpet.
- Hur de olika delarna i skåpet är anslutna.

4.2.1 Temperaturområde

Temperaturområdet i skåpet uppskattades till ett minimum av -30 grader Celsius och ett maximum strax under 100 grader Celsius. Denna uppskattning togs fram av ABB:s personal. I ABB:s egna produktkatalog gick det att få följande information: "In Scandinavia, where snow is commonly cleared with snowplows and where the temperature in winter can drop to -25°C or lower, stability and surface treatment

must be of the highest class. In addition, good ventilation is essential to disperse heat during the summer and to eliminate condensation.” [5].

4.2.2 Utrymme

Utrymmet i de flesta skåp uppskattades att vara tillräckligt för att få plats med ett mätsystem då elektroniska komponenter är mycket små och går att installera på ett begränsat utrymme. Ett möjligt problem uppstod gällande utrymmet för mätsystemets transformatorer. Dessa var den del av mätsystemet som tog mest plats av skåpets utrymme och innebar därmed den största parameter att ta hänsyn till vid placering av mätsystemet. En ytterligare parameter att ta i beaktning var att, som tidigare nämnts, ABB Kabeldon konstruerar sina produkter för skensystemet enligt ett modulärt system där vardera komponent är framtagna enligt ett förbestämt mått för att förenkla planering av skåpen. Även detta var en viktig parameter men ej av kritisk karaktär då mätsystemets position ej var beroende av var skenorna i skåpet är placerade.

4.2.3 Spänningar och strömmar

De spänningar och strömmar som kunde antas verka i skåpet var sedan tidigare kända och redovisades för under teoridelarna ”Kabelskåpets uppbyggnad” samt ”Säkringslastfrånskiljare” i denna rapport.

4.2.4 Kopplingar

Hänsyn togs till hur de olika komponenterna i skåpet var kopplade på så vis att mätsystemet försökte anpassas så att det skulle vara skalbart utan att ta upp utrymme som krävdes för att koppla samman de redan grundläggande komponenterna i kabelskåpet i form av säkringslastfrånskiljare, skenor, don, kablage samt diverse ytterligare moduler.

4.2.5 Säkringslastfrånskiljare

Nästa steg i arbetet innebar att ta reda på hur säkringslastfrånskiljaren var konstruerad och hur det var möjligt att mäta spänningar samt strömmar på denna. Genom mätning och granskning av de olika storlekarna på säkringslastfrånskiljare gick det att komma fram till vad som var möjligt och inte med de nuvarande måtten på säkringslastfrånskiljarna.

4.2.6 Informationsinhämtning för spänningsmätningar

Som nämnts tidigare under teoridelen i rapporten så är det essentiellt att i början av konstruktionen av ett mätsystem ta reda på hur den fysikaliska enheten som ska mätas förväntas se ut samt hur denna förväntas förändras över tid. Eftersom information gällande spänningsnivåer och frekvenser för signalen redan var känt så blev nästa steg att ta reda på hur detta kunde konstrueras med få komponenter och på ett begränsat utrymme, det vill säga att implementera stora delar inuti

säkringslastfrånskiljaren.

Arbetsgången för att hitta alternativ till spänningsmätningar var enligt följande steg:

1. Sök efter möjliga konstruktioner i kurslitteratur, artiklar samt i öppna forum för elektronikkonstruktion.
2. Bygg upp kretskonstruktionen i LTSpice alternativt Circuitlab.
3. Komplementera kretskonstruktionen med ytterligare komponenter om så behövs.
4. Simulera kretsarna
5. Utvärdera krets i form av fördelar respektive nackdelar.
6. Diskutera de olika förslagen med ABB Kabeldon samt handledare på Chalmers för att komma fram till en bra lösning.

4.2.7 Spänningsmätning utan transformator

Det första steget var att undersöka huruvida det fanns möjlighet till att mäta spänning utan användande av en transformator. Genom att konstruera ett system utan en transformator så kan utrymmet för mätsystemet reduceras drastiskt då en transformator i många fall är betydligt större i relation till andra komponenter. Ett flertal modeller togs fram genom en kombination av kurslitteratur, artiklar samt hemsidor för elektronikförsäljning.

4.2.8 Spänningsmätning med transformator

Det andra steget innebär att hitta information kring hur spänningar kunde mätas med hjälp av en transformator och ytterligare elektronik. Samtliga modeller togs fram för att kopplas in efter en transformator som i sin tur var ansluten till den mät punkt (samt PE+N) som var av intresse.

4.3 Simulering

Simulering utfördes i första hand med simuleringsverktyget LTSpice och då det uppstod problem användes även simuleringsverktyget Circuitlab. I resultatdelen presenteras därmed simuleringsdata från båda dessa program.

4.3.1 Utvärdering av kretskonstruktioner

Efter att de grundläggande simuleringarna hade utförts för de framtagna kretskonstruktionerna diskuterades för- respektive nackdelar med ABB Kabeldon samt handledare på Chalmers. Efter diskussionen togs mätsystemen utan transformator bort som alternativ då det ansågs olämpliga av ABB Kabeldon.

Vidare fanns alltså de olika varianterna av mätsystem baserade kring en transformator. Därmed innebär nästa steg i arbetet att ta fram för och nackdelar för respektive system av de fyra samt undersöka vilka komponenter som skulle kunna användas för att klara av kraven på mätsystemet i form av temperaturintervall, mät noggrannhet

samt hur olika parametrar på operationsförstärkare och övriga komponenter påverkas vid temperaturförändringar.

4.4 Test och verifiering

Efter leverans av beställda komponenter utfördes test samt verifikation på de olika kretskonstruktionerna.

Nedan följer arbetsgången i de test och verifikationer som skett med hjälp av Arduino Uno samt Mikrokontroller PIC16F1827.

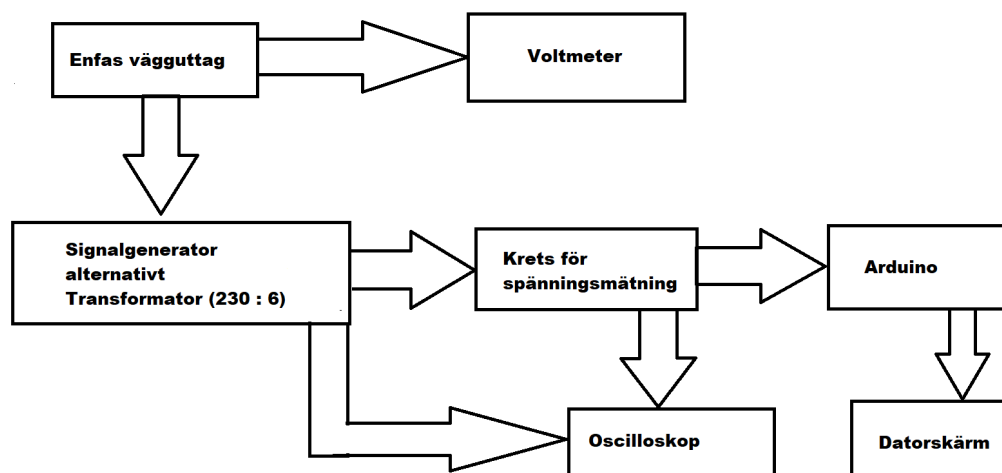
4.4.1 Arduino Uno test och verifiering

Kretskonstruktionerna testades med hjälp av signalgenerator och oscilloskop där signalgeneratorns funktion var att generera den förväntade spänningen från transformatorn när denna anslutits till 230V AC och transformerat spänningen till 6V AC. I figur 4.1 visas ett blockdiagram för hur de olika enheterna var anslutna vid verifiering.

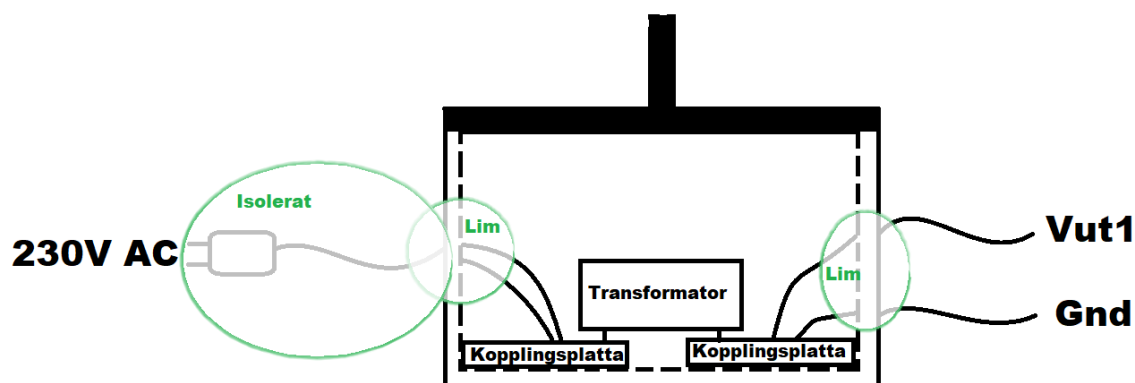
Genom att mäta den ingående signalen till systemet med hjälp av oscilloskop så kunde den uppmätta spänningen beräknas om till sitt förväntade ursprungsvärde och jämföras med det uppmätta värdet på oscilloskopsskärmen för att verifiera så att korrekt beräkningar utförts i programvaran.

Ytterligare verifikation av kretsarna då signalkällan var en transformator, 230V AC till 6V AC, kopplad till vägguttag utfördes på kretsen för att kontrollera att funktionen fortfarande var densamma.

Nedan följer ett blockdiagram över metoden(Figur 4.1) som används vid verifiering av kretsarna för spänningsmätning samt en figur över den egenbyggda "transformatorbox" som användes vid transformatormätningar(Figur 4.2). "Transformatorboxen" matas med en sladd innehållandes två ledare och är kopplad till ett vägguttag.



Figur 4.1: Blockdiagram över kopplingsschema vid kretsverifiering.



Figur 4.2: Egenkonstruerade transformatorbox för att säkra användandet av transformator.

4.4.2 Beräkning av spänning

För att beräkna korrekt spänning med hjälp av mätresultatet från A/D-omvandlaren i ATmega328p processorn så används enkla divisions- samt multiplikationsmetoder i Arduino mjukvaran för att kompensera för spänningsdelningar, förstärkarkretsar samt transformatorer för att uppnå ett resultat på spänningsmätningen likt det som kunde läsas av på voltmeter kopplad till vägguttaget (Figur 4.1).

4.4.3 Utvärdering av verifieringsresultat

Utvärdering av de två testade kretsarna gjordes genom diskussion av för- respektive nackdelar för vardera kretskonstruktion med ABB Kabeldon.

4.4.4 Mikrokontroller test och verifiering

Nästa steg i arbetet var att försöka överföra programvaran från Arduino enheten till en mikrokontroller av variant PIC16F1827. Eftersom att Arduino använder egna programbibliotek för att initialisera, läsa eller skriva till portar så behövde dessa funktioner skrivas om för att kunna implementeras på en mikrokontroller. Även ytterligare funktioner för A/D-omvandling samt skiftning av bitar till en port behövde skrivas om. Skiftningen av bitar användes för att möjliggöra seriell överföring från mikrokontroller till en seriell-till-parallell omvandlarkrets vars parallella utsignaler var kopplade till vardera segment i 7-segmentsdisplayerna. Dessa 7-segmentsdisplayer användes sedan för att möjliggöra visning av de värden som beräknats i mikrokontrollern.

4.5 Strömmätning

Val av mätningssmetod för strömmar utforskades inte i större utsträckning utan beslutades tidigt att utföras med hjälp av färdigutvecklade strömtransformatorer som gav en spänning på 0 till 5 volt. Denna spänning beräknas sedan om till motsvarande uppmätt ström med hjälp av specifikt vald strömtransformators datablad.

4.6 Skalning och förbättring av system

Sista steget i arbetsgången var att försöka skala upp systemet samt se om det gick att utföra förbättringar på systemet. Genom att rita upp en helhetsbild över den befintliga konstruktionen gick det att finna möjligheter till enkla förbättringar för att minska både kostnad, storlek samt säkerheten på mätsystemet. Dessa förbättringar, ovanstående val av krets samt slutresultat presenteras under resultatdelen i rapporten.

5

Resultat och Genomförande

I denna del redovisas de tidiga kretskonstruktionerna samt det slutgiltiga resultat som blev utfallet av arbetet. Även genomförandet för att uppnå detta resultat redovisas för. Vidare följer även en sektion med avseende att peka på förbättringsmöjligheter och vidare arbete på konceptet.

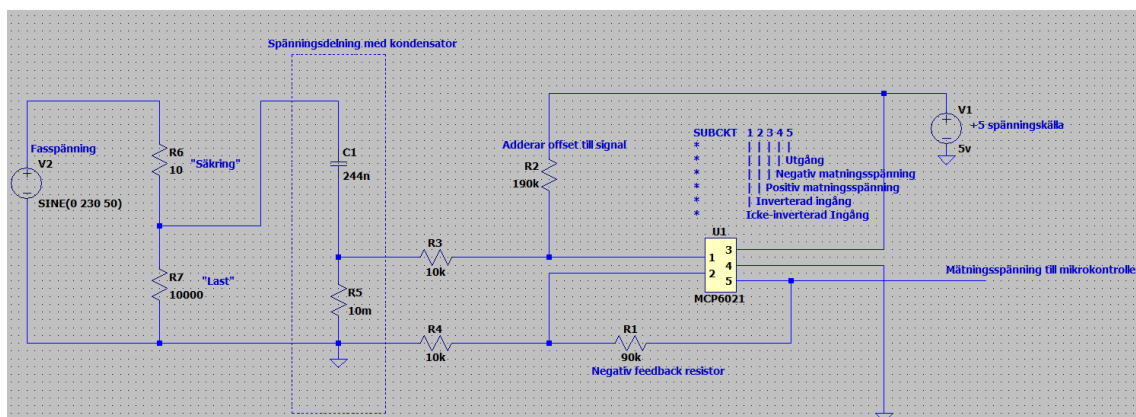
5.1 Tidiga modeller för spänningsmätning

I denna sektion redovisas för de tidiga modeller som togs fram i arbetet. Det slutgiltiga resultatet där val av kretskonstruktion redovisas för finner läsaren i sektion 5.5.

5.1.1 Spänningsmätning utan transformator

Nedan följer två mätsystem baserade på komponenter exklusive transformator.

Figur 5.1 redovisar för ett första försök till en krets och är baserad på en spän-



Figur 5.1: Spänningsmätningsskema baserat på operationsförstärkare MCP6021.

ningsdelning, en skiftning av spänningsnivå (genom att addera en offset) samt en operationsförstärkare vars syfte var att förstärka den kraftigt dämpade signalen från spänningsdelningen. Genom att spänningsdela med hjälp av en kondensator istället för en resistor så minskar effektförlusterna i form av värme. Detta på grund av att kapacitansen är en reaktiv last och därav lagras reaktiv effekt i denna istället för aktiv effekt i en resistans.

I den andra modellen som visas i figur 5.3 så användes istället en differentialförstärkare speciellt anpassad för spänningsmätningar på höga spänningar och tillverkad för att vara ett alternativ till de mycket kostsamma isolationsförstärkarna[18]. Denna komponent framstod som ett alternativ vid sökning på "Analog.com"[19].

Differentialförstärkaren AD629 valdes på grund av följande parametrar funna ur databladet[18]:

Tabell 5.1: Parametrar AD629

Parameteter	Värde
Lika inspänningar (Common mode)	± 270 V
Inspänningsskydd (Common mode)	± 500 V
Inspänningsskydd (Differential mode)	± 500 V
Matningsspänningsintervall	± 2.5 V till ± 18 V
Temperaturområde	-40 °C till $+85$ °C
Maximalt temperaturområde	-55 °C till $+125$ °C

I figur 5.2 redovisas två viktiga parametrar i form av common-mode rejection ratio (t.v), alltså hur bra de lika spänningarna på ingångarna dämpas vid olika frekvenser, samt vilken matningsspänning som krävs för ett visst intervall av igångspänningar(t.h). Detta är parametrar som var viktiga för att avgöra om komponenten var lämplig för att användas i den tänkta kretskonstruktionen som visas i figur 5.3.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15$ V, unless otherwise noted.

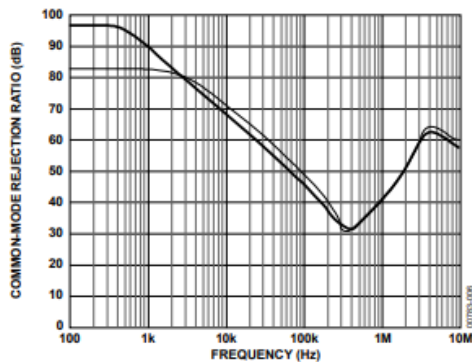


Figure 7. Common-Mode Rejection Ratio vs. Frequency

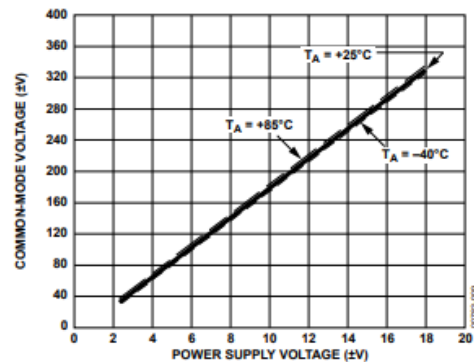
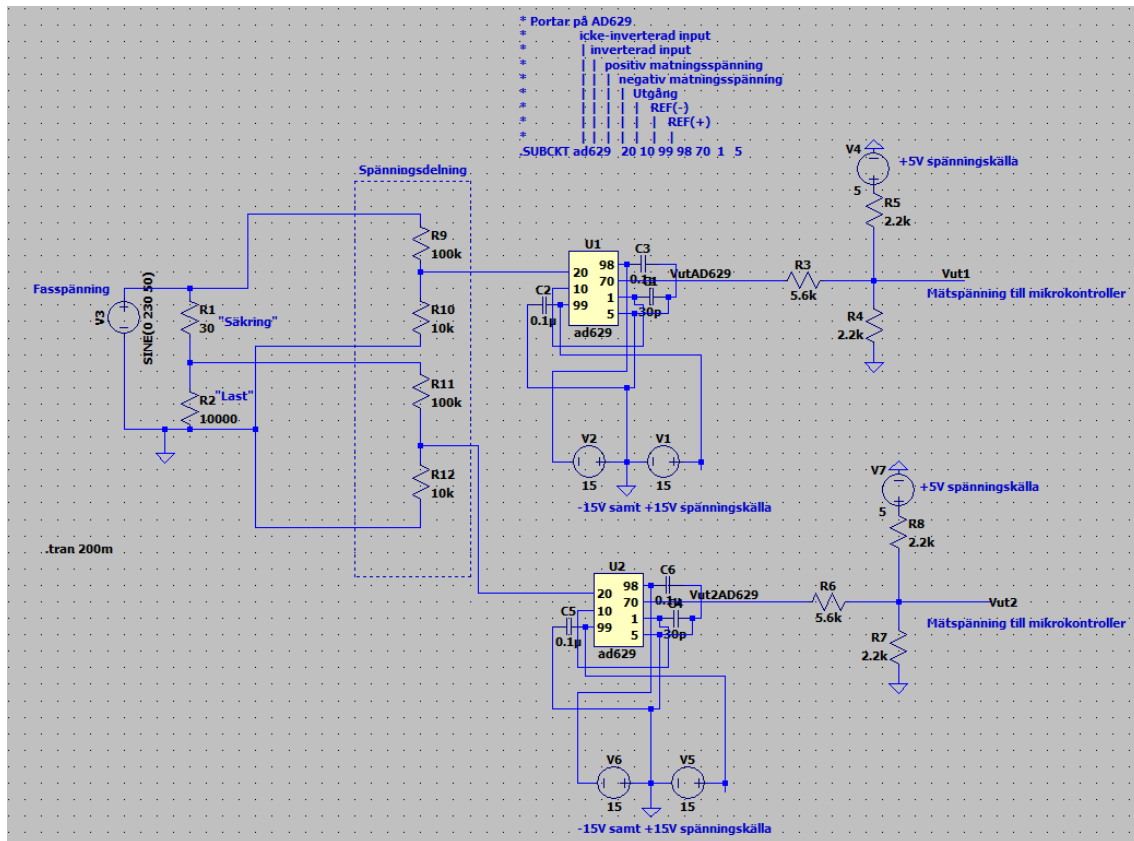


Figure 10. Common-Mode Operating Range vs. Power Supply Voltage

Figure 5.2: Typisk prestanda för differentialförstärkare AD629[18].



Figur 5.3: Spänningsmätningsskrets baserad på AD629.

5.1.2 Spänningsmätning med transformator

Efterföljande modeller var ämnade att kopplas efter en transformator som i sin tur skulle kopplas in mellan en fasspänning och neutral.

Den första modellen i figur 5.4(variant 1) togs fram med hjälp av kurslitteratur och bestod i princip av en halvsläktkrets samt en spänningsdelning på utgången. Transientskyddet som består av ett motstånd seriekopplat med två zenerdioder(parallella med efterföljande krets) togs fram i ett senare skede av arbetet.

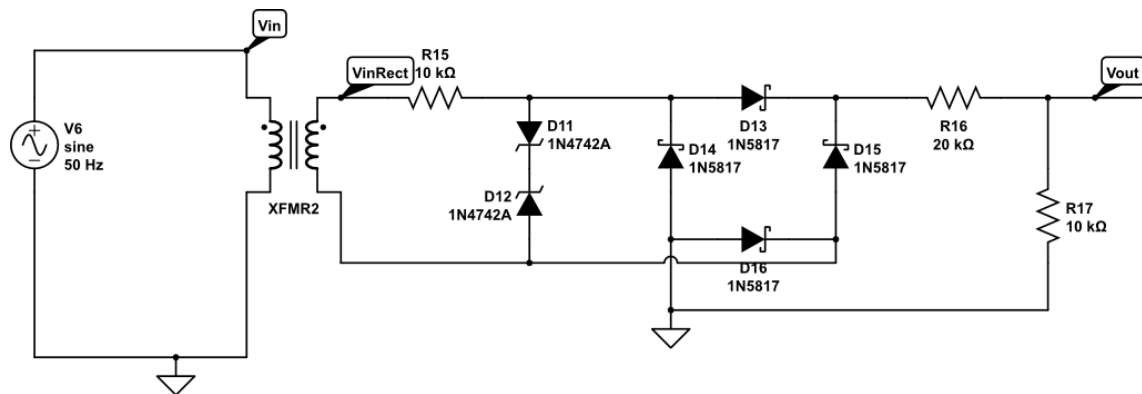
Den andra kretsen(variant 2) som togs fram var en kombination av en spänningsdelning, ett lågpassfilter, ett överspänningsskydd i form av en zenerdiod samt en avkopplingskondensator och en offsetaddition. Kretsen visas i figur 5.5.

Den tredje modellen(variant 3) som visas i figur 5.6 bestod av en spänningsdelning följt av en offsetaddering och en avkopplingskondensator vars funktion var att fungera som en lågohmig väg till jord för högfrekventa signalkomponenter. I detta system är syftet att mäta två punkter, före och efter säkring. Även spänningen vid referenspunkten mäts, den offset som adderas för att lyfta signalen ovan noll volt, för att i programvara kunna ta bort denna från resultatet.

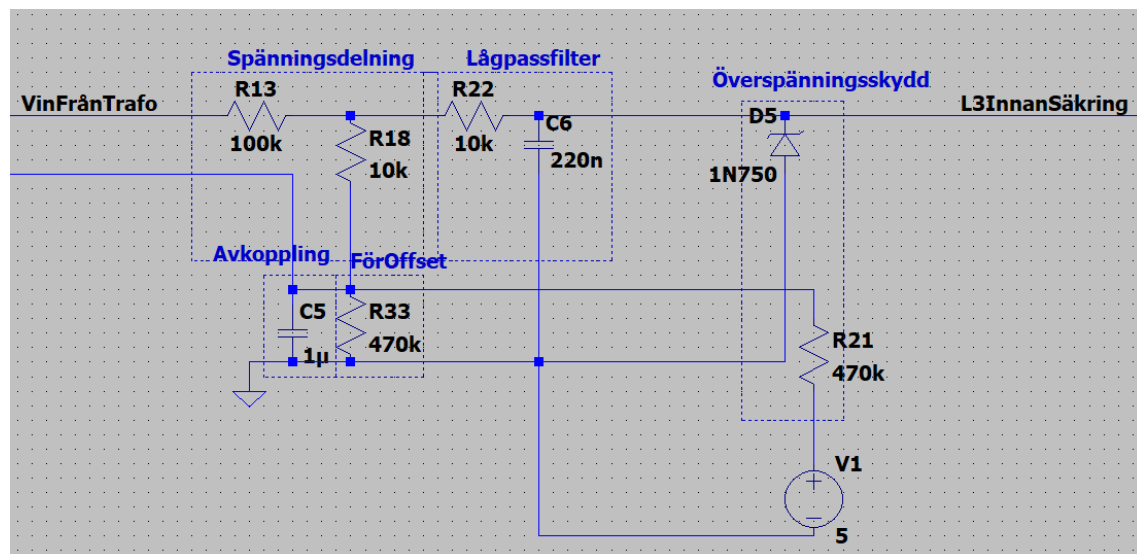
Den fjärde kretsen(variant 4) som visas i figur 5.7 var ett försök till att implementera offsetadditionen och förstärkning med hjälp av en enkelmatad förstärkarkrets

funnen i kurslitteraturen "Analog elektronik"[9].

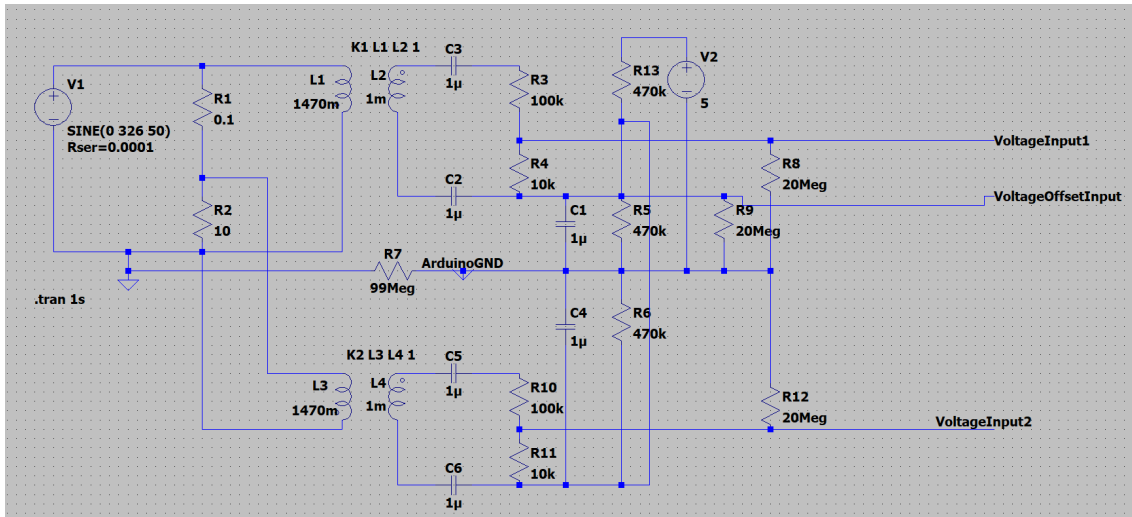
Värt att notera är att inget system är fullt optimerat i någon av ovanstående modeller på grund av att de var modeller framtagna i ett mycket tidigt stadie av arbetet. Detta medför att följande simuleringsresultat under sektionen "Simuleringsresultat" är mycket opraktiska och missvisande gällande de olika kretsarnas fulla mätpotential.



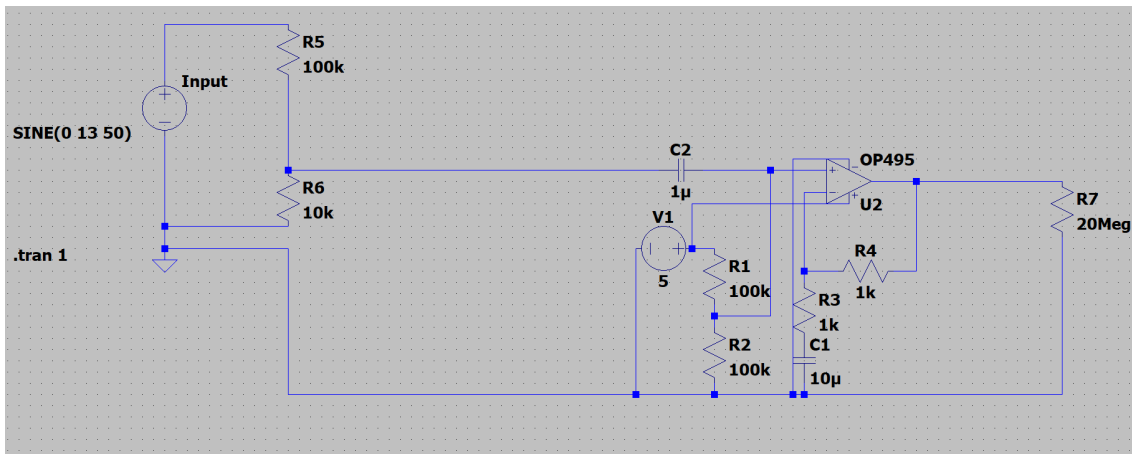
Figur 5.4: Spänningsmätningsskrets variant 1.



Figur 5.5: Spänningsmätningsskrets variant 2.



Figur 5.6: Spänningsmätningsskrets variant 3.



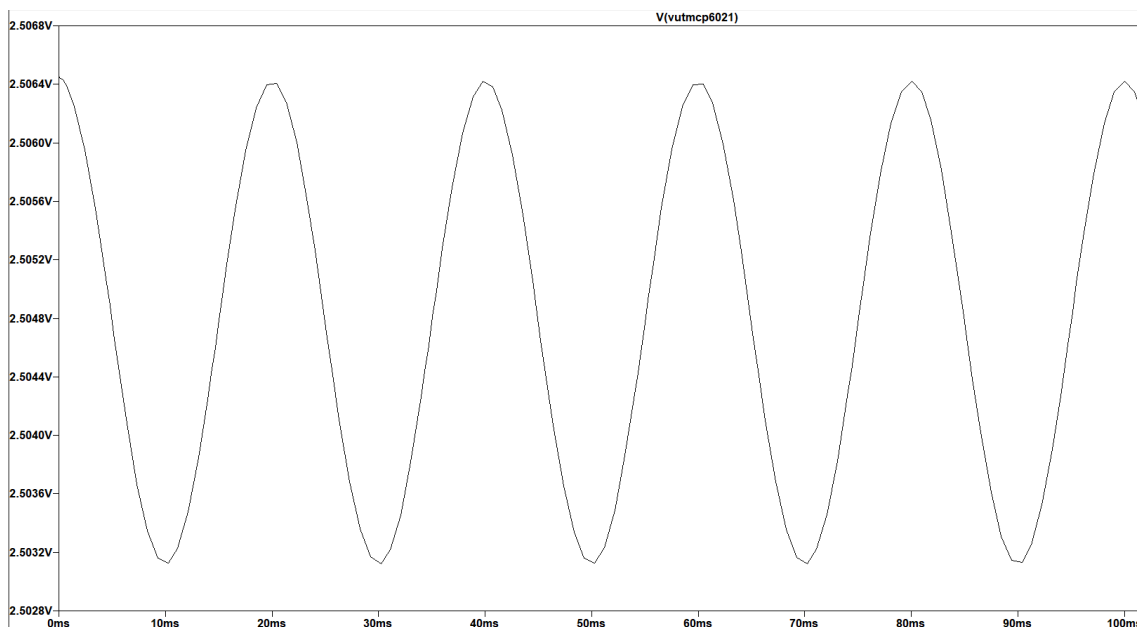
Figur 5.7: Spänningsmätningsskrets variant 4.

5.2 Simuleringsresultat

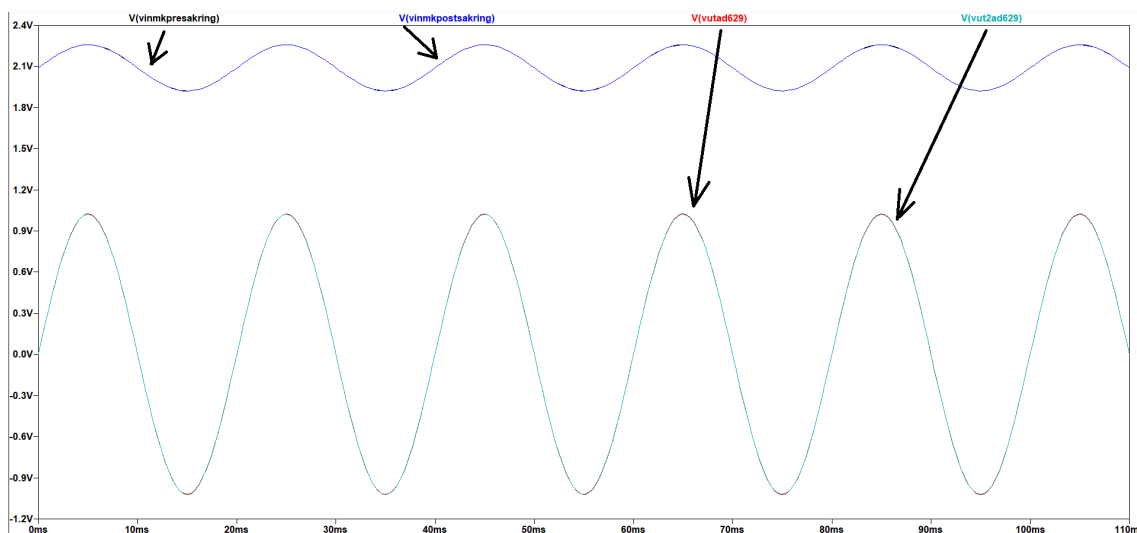
Simuleringsresultat för kretsar utan transformatorer (figur 5.8, figur 5.9) samt krets 1 (figur 5.10), 3 (figur 5.11) samt 4 (figur 5.12) med transformatorer visas nedan. Notera att flertalet mätningar i nedanstående figurer innehåller överlappande signaler då spänningsfallet över säkringen i säkringslastfrånskiljaren förväntas vara mycket lågt.

5.2.1 Simulering av kretskonstruktion utan transformator

Efterföljande figurer redovisar för simuleringresultat från kretskonstruktioner utan transformator.



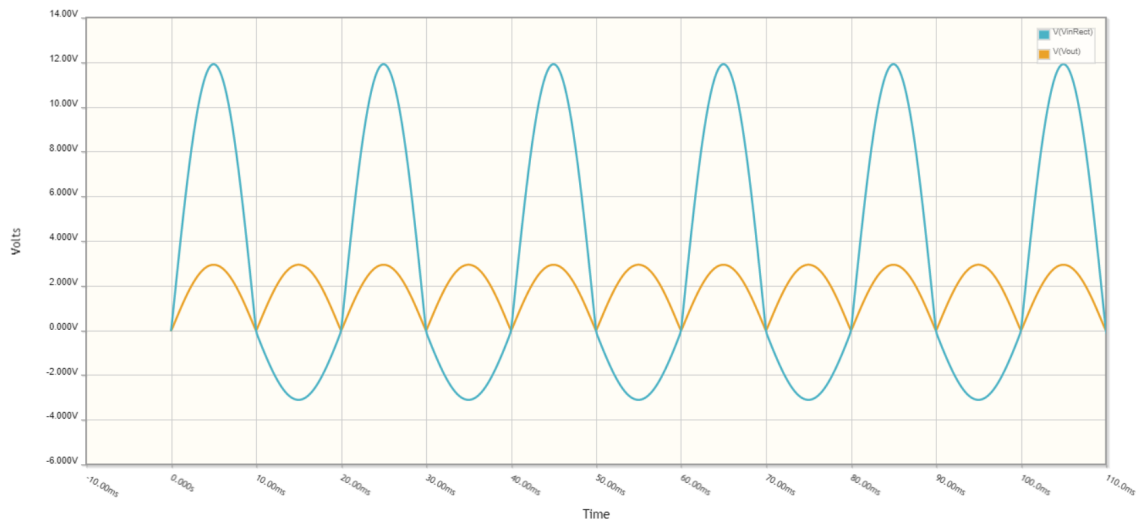
Figur 5.8: Simuleringsresultat av kretskonstruktion baserad på MCP6021(figur 5.1). Signal motsvarar signal ut ur MCP6021 och krets matas med 230V AC.



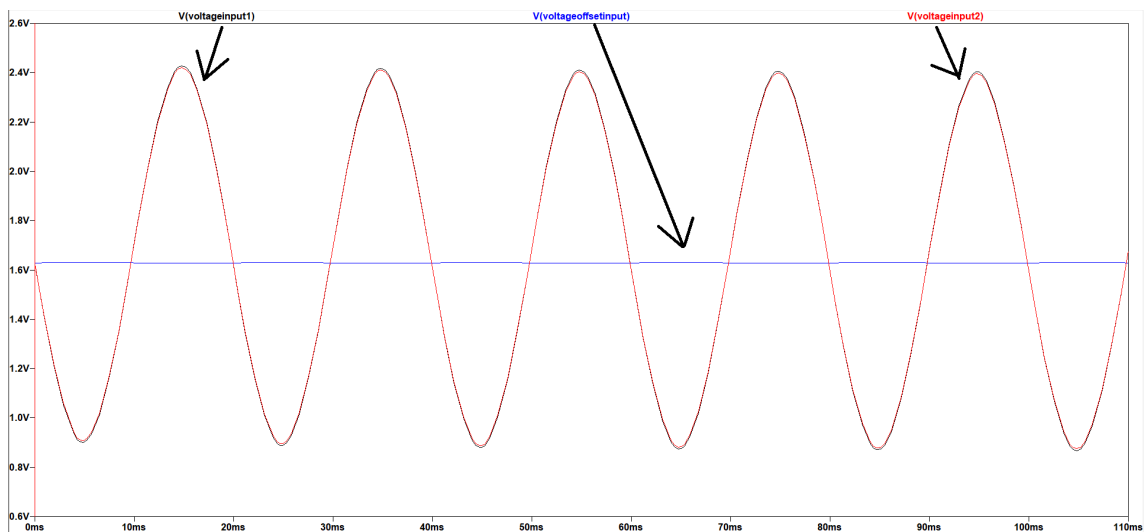
Figur 5.9: Simuleringsresultat av kretskonstruktion baserad på AD629(figur 5.3). Signaler motsvarar signaler ut ur AD629(Vut(2)AD629) samt signaler ut ur kretskonstruktionen (Vin(pre / post)fuse) och krets matas med 230V AC före samt efter säkring enligt figur 5.3.

5.2.2 Simulering av kretskonstruktion med transformator

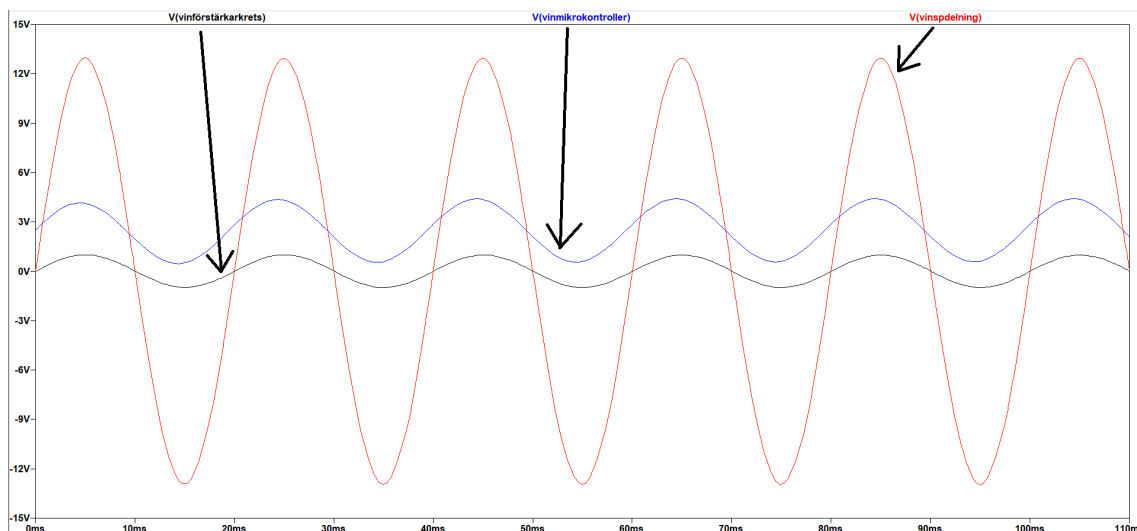
Efterföljande figurer redovisar för simuleringsresultat från kretskonstruktioner med transformator.



Figur 5.10: Simuleringsresultat från krets av variant 1 enligt figur 5.4. Signalen av större amplitud motsvarar "VinRect" (signalen som uppstår på kretsens ingång) och signalen av lägre amplitud motsvarar "Vout" (den signal som ska kopplas till efterföljande krets) i figur 5.4



Figur 5.11: Simuleringsresultat från system av variant 3 (figur 5.6). Sinussignaler motsvarar signaler ut ut respektive krets (VoltageInput1 / VoltageInput2 i figur 5.6) samt en DC-spänning motsvarande "VoltageOffsetInput" i figur 5.6.



Figur 5.12: Simuleringsresultat från system av variant 4. Signaler motsvarar spänning på kretsingång innan spänningsdelning (pilen till höger), spänning på förstärkarens ingång (pilen till vänster) samt spänningen ut ur förstärkarkretsen (pilen i mitten) från figur 5.7

5.3 Utvärdering

Efter utvärdering av ovanstående kretskonstruktioner återstod enbart de kretskonstruktioner innehållande en transformator (som nämnts i metoddelen).

Därmed innebar fortsatt arbete att först och främst granska helvågslikriktaren (figur 5.4). Fördelen med denna krets var att den var enkel att konstruera och krävde endast ett fåtal komponenter. Nackdelen med denna krets var att en helvågslikriktaren endast ger ut en signal i form av en positiv spänning (se figur 5.10) och därmed så blev det komplicerat att räkna om signalen till sin motsvarande sinusform om så önskades.

Den andra varianten (figur 5.5) togs bort som alternativ tidigt i arbetet då ett flertal nackdelar detekterats i konstruktionen. Nackdelarna var följande:

1. Det saknades en spänningsföljare mellan spänningsdelningen och lågpåssfiltret vilket innebar att delarna påverkade varandra.
2. Det saknades ett säkert transientskydd i kretsen och zenerdioden var inte tillräckligt för att säkerställa skydd mot efterföljande elektronik.

Den tredje (figur 5.6) samt fjärde (figur 5.7) varianten ansågs vara alternativ till ett mätsystem och togs vidare för att testas och verifieras med hjälp av Arduino Uno.

5.4 Test och verifiering

Nedan följer resultat från test och verifiering av funktion för mätsystem av variant 3 samt 4. Verifiering utfördes med metod beskriven i metoddelen samt den programkod som finns bifogad i bilagorna under rubriken Programkod".

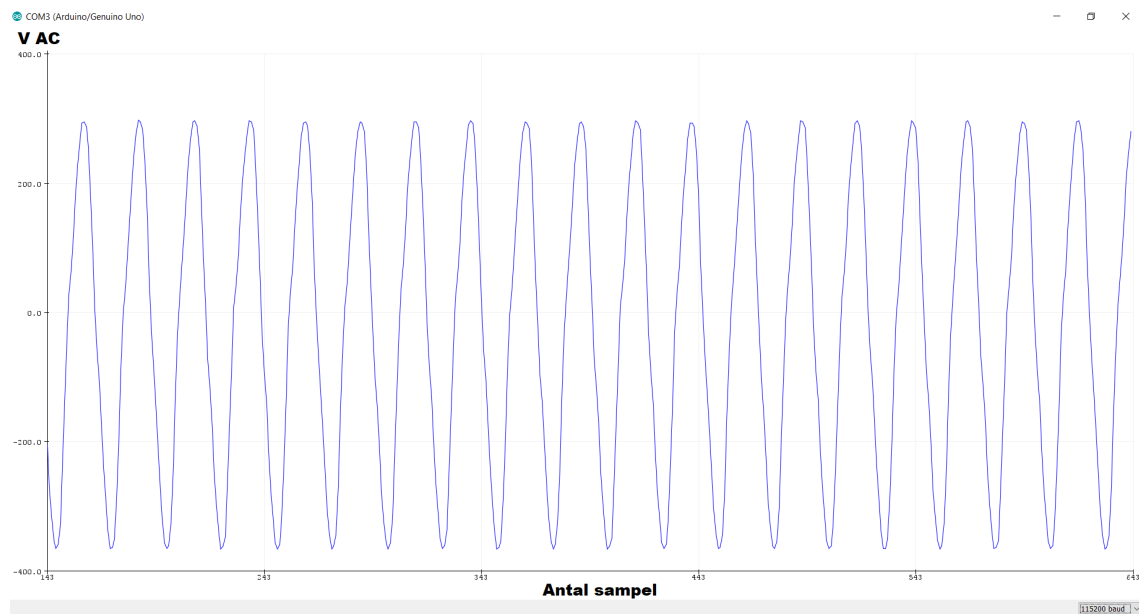
Nedanstående verifikation är mycket grundläggande och syftade främst till att verifiera så att kretsarna i figur 5.6 samt 5.7 fungerade enligt förväntat. Resultatet i figur 5.13 samt 5.14 motsvarar det spänningsvärde som förväntas mätas ifrån vägguttaget baserat på kretsens (figur 5.6 eller figur 5.7) utsignal samt kompensation för kretsens olika delar (spänningsdelning, operationsförstärkare, offset) för att uppnå den förväntade spänningen ifrån vägguttaget.

Tabell 5.2: Resultat från mätsystem av variant 3

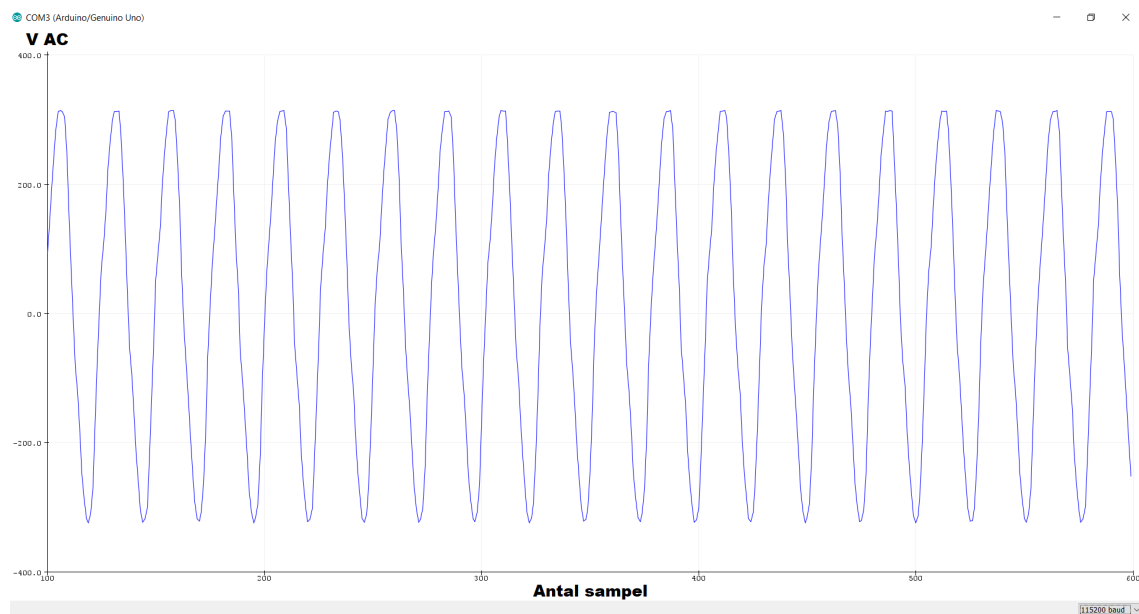
Parameteter	Värde
Medelvärde av 10st RMS mätningar	227.75 V
Intervall av uppmätta RMS värden	227-228 V
Medelvärde av 10st frekvensmätningar	50.75Hz
Intervall av uppmätta frekvenser	47 - 58Hz

Tabell 5.3: Resultat från mätsystem av variant 4

Parameteter	Värde
Medelvärde av 10st RMS mätningar	233 V
Intervall av uppmätta RMS värden	233 V
Medelvärde av 10st frekvensmätningar	50.59Hz
Intervall av uppmätta frekvenser	47 - 62Hz



Figur 5.13: Mätresultat från system av variant 3(figur 5.6). Sinuskurvan motsvarar det spänningsvärde som uppmäts och bearbetats i mjukvara. Resultat i tabell 5.2 baseras på denna kurva.



Figur 5.14: Mätresultat från system av variant 4(figur 5.7). Sinuskurvan motsvarar det spänningsvärde som uppmäts och bearbetats i mjukvara. Resultat i tabell 5.3 baseras på denna kurva.

5.4.1 Val av kretskonstruktion

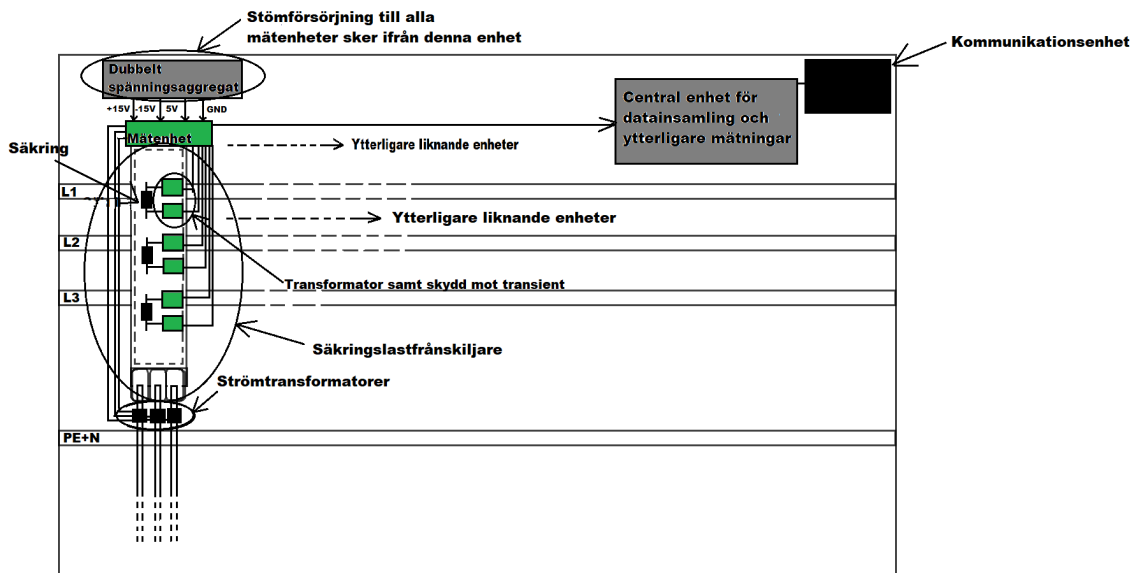
Kretskonstruktion av variant 4(figur 5.7) valdes som koncept och det fortsatta arbetet i projektet involverade att förbättra detta system ytterligare.

5.5 Resultat för koncept av mätsystemet

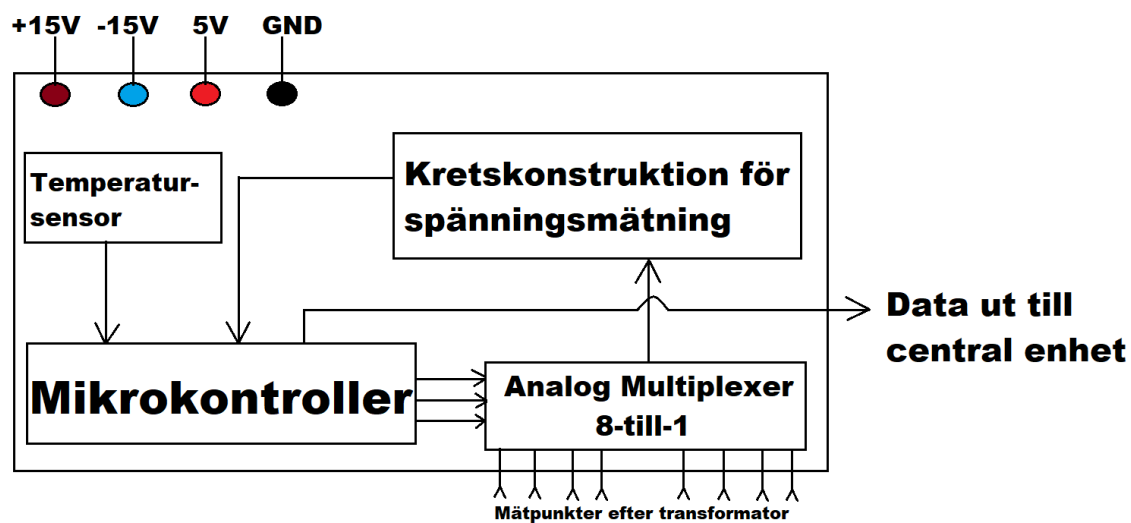
Nedan syns en figur i form av ett blockschema över det slutgiltiga systemet i sin helhet för att ge läsaren ett bättre perspektiv över systemet. Detta är inte exakt detsamma mätsystem som presenterades under tidigare sektion då det tillkom ytterligare komponenter för att förbättra konceptet (redovisas senare i detta kapitel under "Utförda förbättringar" avsnitt 5.7).

De "svarta boxarna" i figur 5.15 är ej inom detta examensarbets ramar eller så är dessa komponenter specifika beroende på vilken storlek på strömmen (storlek på säkring / kapacitet på strömtransformator).

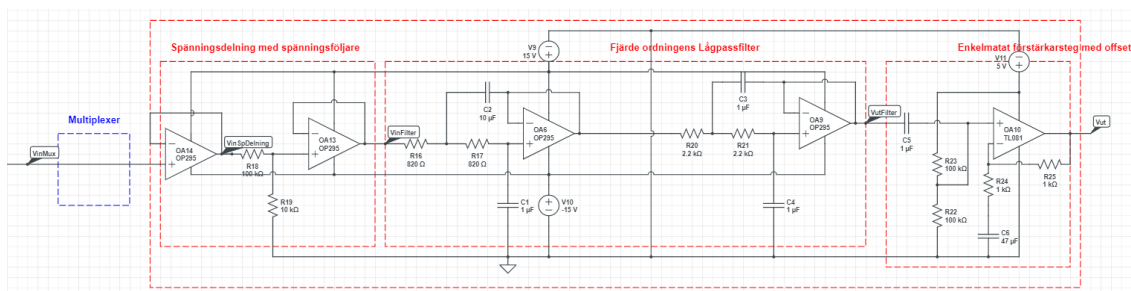
De "grå boxarna" innehåller komponenter som det tagits fram ett grundläggande koncept för. Exempelvis så illustreras ett tänkt koncept över den centrala enheten i kabelskåpet i figur 5.18.



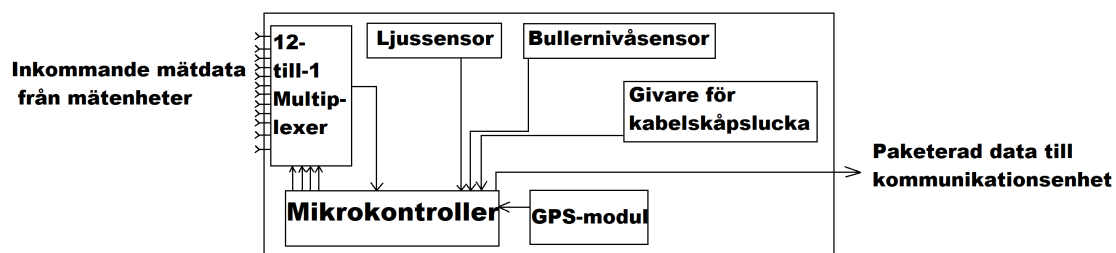
Figur 5.15: Helhetsbild över en illustration av ett kabelskåp.



Figur 5.16: Illustration över mätenhetens komponenter.



Figur 5.17: Kretsschema över mätenheten + transformator med transientskydd.

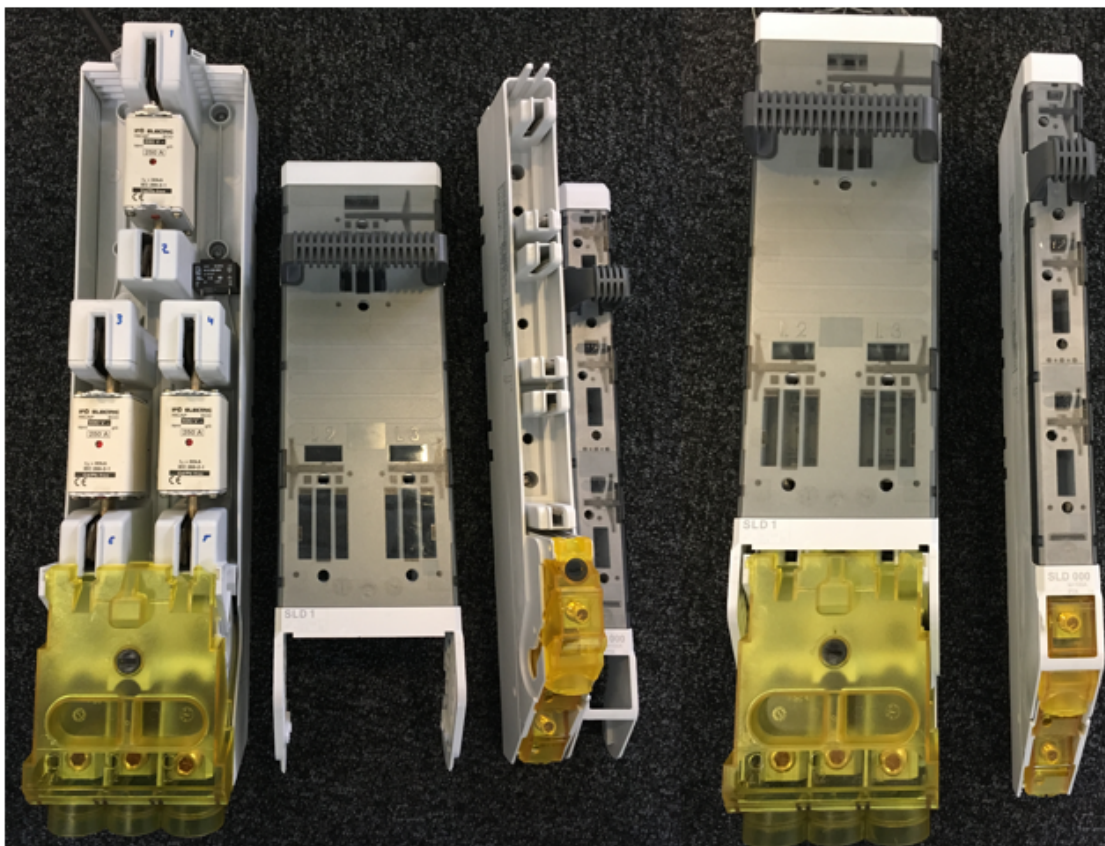


Figur 5.18: Illustration över den centrala enhetens tänkta komponenter.

5.5.1 Säkringslastfrånskiljare

Redan tidigt i arbetet konstaterades det att en placering av en mätenhet inuti den mindre varianten av säkringslastfrånskiljare skulle bli mycket svårt på grund av att de redan var optimerade till storlek och utrymme för sin nuvarande funktion. De större säkringslastfrånskiljarna hade dock möjlighet att placera en del av mätsystemet inom säkringslastfrånskiljaren på grund av att det helt enkelt fanns mer utrymme att tillgå inuti säkringslastfrånskiljaren. I figur 5.19 illustreras skillnaden mellan SLD 000 och SLD 1 där SLD 1 har möjlighet att placera ett antal transformatorer inuti (en på bild) utan att påverka ABB Kabeldons nuvarande struktur på säkringslastfrånskiljaren.

På grund av dessa skillnader i utrymme fokuserade det fortsatta arbetet på att utforma ett mätsystem anpassat för säkringslastfrånskiljare av större storlek då denna antogs möjliggöra placering av ett flertal transformatorer samt transientskydd inuti säkringslastfrånskiljare. Genom att placera transformatorerna inuti säkringslastfrånskiljarna så behövde endast en lägre spänning föras vidare ut ur säkringslastfrånskiljaren och till den analoga multiplexern.



Figur 5.19: SLD 1 t.v i bild och SLD 000 t.h i bild. Notera att bilden innehåller två bilder där de två enheter till höger är desamma som de fyra till vänster fast ihopsatta.

5.5.2 Spänningsförsörjning av mätsystemets olika delar

Spänningsförsörjningen till systemet var först tänkt att helt baseras på en AC-til-DC-omvandlare (230-till-6-Volt). Detta fick senare ändras till att innefatta ett dubbelt spänningsaggregat för 230V AC till $\pm 15V$ DC som antas kunna modifieras för att försörja komponenter med ström och spänning: GND, 5V, -15V och +15V.

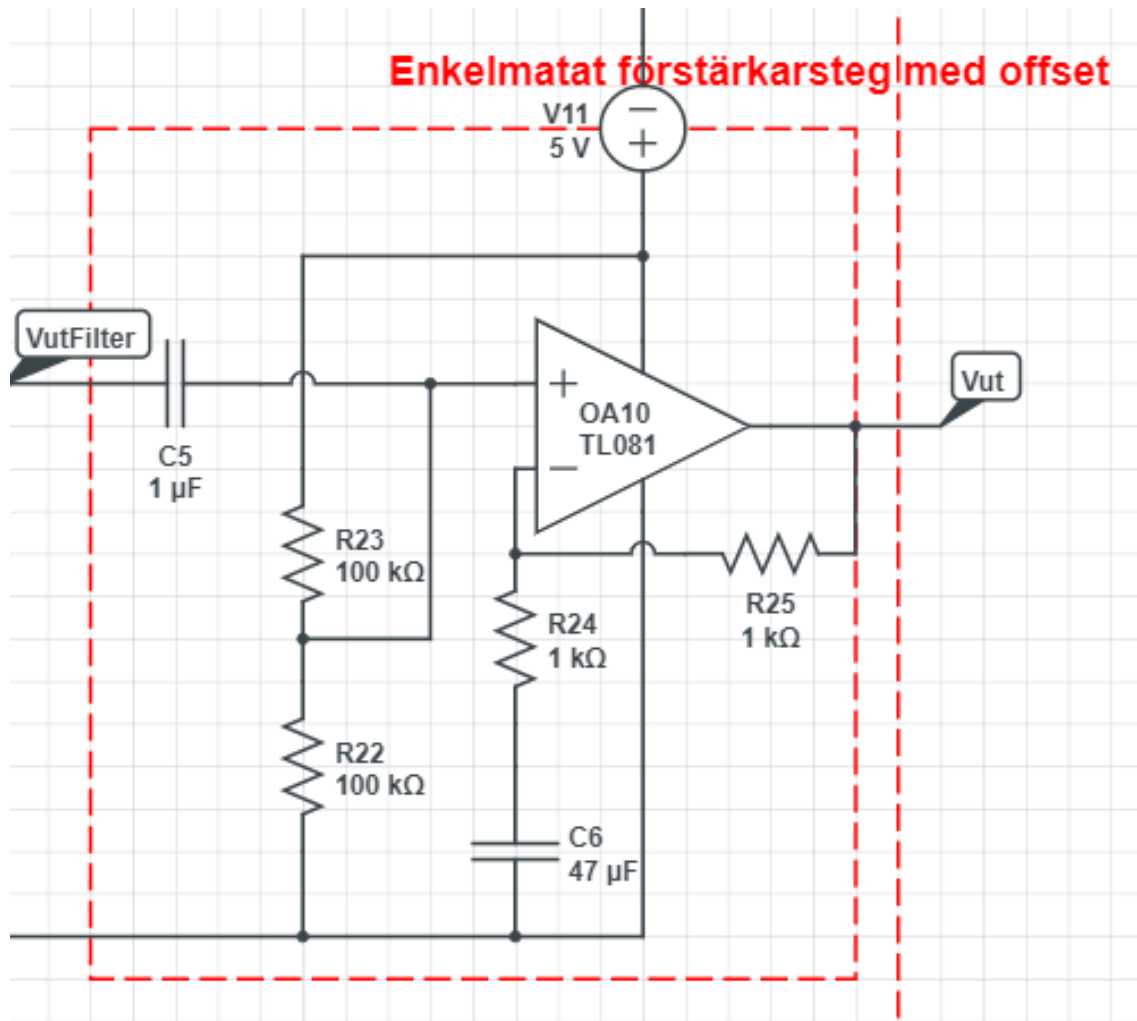
5.5.3 Transformator

Transformator valdes för omvandling 230V till 6V AC. Detta på grund av att 6V AC var en lämplig signalstyrka in i mätsystemet. En ytterligare parameter som togs hänsyn till var att på grund av att lasten på transformatorer, i form av mätsystemets resterande del, förväntades dra en mycket liten ström så kunde små transformatorer med låg effekt väljas. Vidare så antogs inget spänningsfall över transformatorn då denna arbetade (i princip) i tomgång med mätsystemet som last.

5.5.4 Enkelmatad Förstärkarkrets

I det slutgiltiga konceptet för mätsystemet användes en enkelmatad förstärkarkrets. Detta berodde på två faktorer:

1. Denna krets var enkel att modifiera för att möjliggöra en optimal förstärkning på signalen innan den skickades in i mikrokontrollern
2. Det gick, med enkla metoder, att addera en vilospänning på ingången på operationsförstärkaren och därmed kunde signalen amplitudskiftas så att enbart positiva spänningar erhöles till mikrokontrollern.



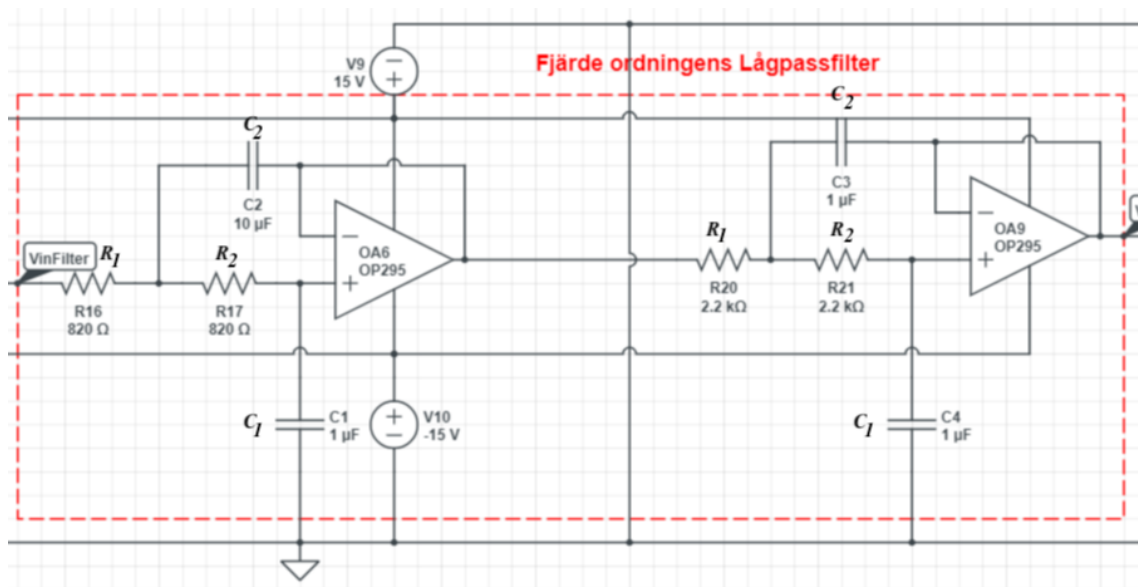
Figur 5.20: Enkelmatad förstärkarkrets. Del av tidigare figur 5.17.

5.5.5 Operationsförstärkare OP295

Eftersom att mätsignalen endast hade en frekvens kring 50 Hz så ställdes inga större krav på operationsförstärkaren i form av bandbredd eller slewrate. De krav som ställdes var dock att operationsförstärkaren skulle kunna fungera inom det angivna temperaturintervallet $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ till $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ samt ge en spänning på utgången inom hela intervallet för sin matningsspänningen, även kallat "rail-to-rail"[9]. Detta för att kunna mata operationsförstärkaren med 0V respektive 5V och ge ut en spänning inom samma intervall vilket var det intervall som mikrokontrollerns ingångar (och därmed A/D-omvandlaren) arbetade inom. På grund av detta så kan en högre upplösning i resultatet erhållas enligt formel 6.

5.5.6 Aktivt Lågpasfilter

Ett aktivt 4:e ordningens Butterworth lågpasfilter konstruerades för att filtrera bort signalkomponenter av högre frekvens. Filtret designades för att erhålla en gränshfrekvens på 65Hz och testades med hjälp av oscilloskop för att verifiera korrekt funktionalitet. Beräkningar för filtrets komponenter visas nedan tillsammans med resultat från oscilloskopsmätningar. I figur 5.23 redovisas filtrets uppförande vid 25Hz, figur 5.24 redovisar filtrets uppförande vid 50Hz och figur 5.25 redovisar för vid vilken frekvens filtret dämpar signalen med 3dB(gränshfrekvensen). Beräkningar på nästkommande sida tillämpades för att beräkna värdet på de komponenter som ingick i filtret. Med hjälp av tabellen i figur 5.22 kan korrekt polynom för nämnaren i ett lågpasfilter av typen Butterworth tas fram[20].



Figur 5.21: Bild över det 4:e ordningens filter som använts i slutgiltigt koncept. Del av figur 5.17.

$$H_{LP}(s) = \frac{1}{P(\frac{s}{\omega_{\ddot{0}}})} \quad (14)$$

$$\omega_{\ddot{0}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\ddot{0}} \quad (15)$$

Där $f_{\ddot{0}}$ = gränshfrekvens för filtret(65Hz)

Polynom för nämnare enligt figur 5.22: $\underbrace{(1 + 0,765a + a^2)}_{(I)} \cdot \underbrace{(1 + 1,848a + a^2)}_{(II)}$

$$H(s) = \frac{1}{1 + \alpha s + \beta s^2} \quad (16)$$

$$\alpha = (R_1 + R_2) \cdot C_2 \quad (17)$$

$$\beta = R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (18)$$

(I) : Enligt formel 16 samt polynom (I) gäller följande:

$$\frac{1}{1 + \alpha s + \beta s^2} = \frac{1}{1 + 0,765a + a^2}$$

Där a . α samt β byts ut enligt formel 14, 17 samt 18:

$$\frac{1}{1 + (R_1 + R_2)C_2s + R_1R_2C_1C_2 \cdot s^2} = \frac{1}{1 + \frac{0,765s}{\omega_{\ddot{0}}} + \frac{s^2}{\omega_{\ddot{0}}^2}}$$

Vilket ger: $\frac{0,765}{\omega_{\ddot{0}}} = \alpha$ och $\frac{1}{\omega_{\ddot{0}}^2} = \beta$ enligt formel 17, 18 samt villkoret ovan.

Ett värde för C_2 antas och beräkningar utförs enligt nedan.

$$\frac{0,765}{\omega_{\ddot{0}}} = (R_1 + R_2)C_2 \text{ där } C_2 \text{ antas } 1\mu F$$

$$\frac{0,765}{\omega_{\ddot{0}} \cdot C_2} = (R_1 + R_2)$$

$$\Rightarrow \frac{0,765}{2 \cdot \pi \cdot 65 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 1873 = R_1 + R_2$$

$$\Rightarrow R_1 = R_2 \approx 820\Omega(\text{E12-serie})$$

$$\frac{1}{\omega_{\ddot{0}}^2} = R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \Rightarrow C_2 = 8,9\mu F \approx 10\mu F$$

På samma sätt beräknas (II)(med värden enligt (I)) :

$$\frac{1,848}{\omega_{\ddot{0}} \cdot C_2} = (R_1 + R_2) \text{ där } C_2 \text{ antas } 1\mu F$$

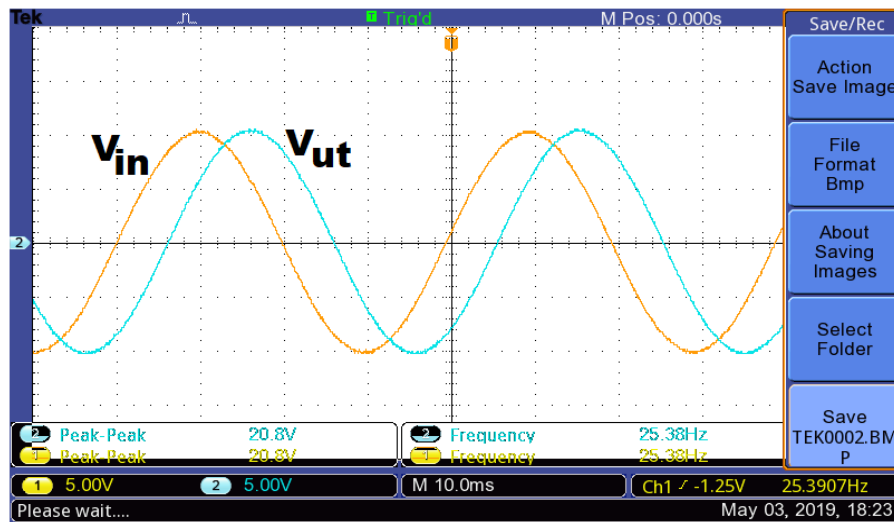
$$\Rightarrow \frac{1,848}{2 \cdot \pi \cdot 65 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 4524 = R_1 + R_2$$

$$\Rightarrow R_1 = R_2 \approx 2200\Omega(\text{E12-serie})$$

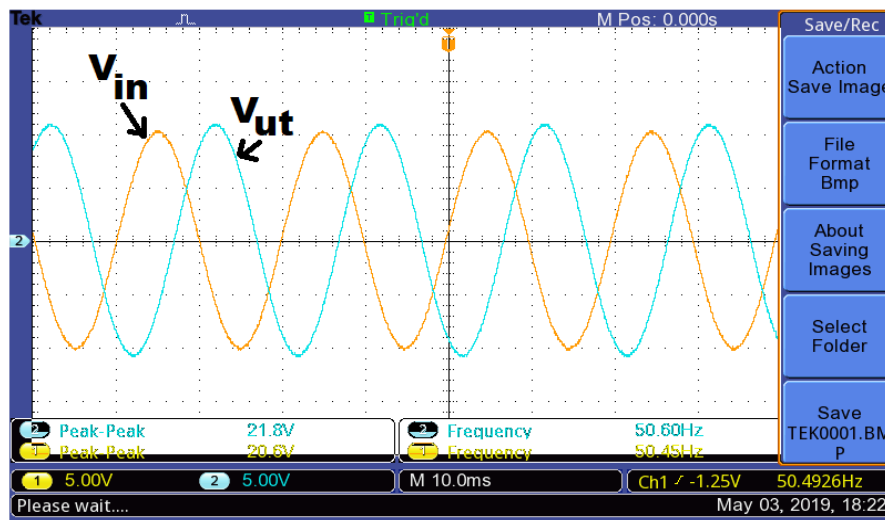
$$\frac{1}{\omega_{\ddot{0}}^2} = R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \Rightarrow C_2 = 1,2\mu F \approx 1\mu F$$

n	Factors of Polynomial $B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$(s^2 + 1.4142s + 1)$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.6180s + 1)(s^2 + 1.6180s + 1)$
6	$(s^2 + 0.5176s + 1)(s^2 + 1.4142s + 1)(s^2 + 1.9319s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0.4450s + 1)(s^2 + 1.2470s + 1)(s^2 + 1.8019s + 1)$
8	$(s^2 + 0.3902s + 1)(s^2 + 1.1111s + 1)(s^2 + 1.6629s + 1)(s^2 + 1.9616s + 1)$
9	$(s + 1)(s^2 + 0.3473s + 1)(s^2 + s + 1)(s^2 + 1.5321s + 1)(s^2 + 1.879s + 1)$
10	$(s^2 + 0.3129s + 1)(s^2 + 0.9080s + 1)(s^2 + 1.4142s + 1)(s^2 + 1.7820s + 1)(s^2 + 1.9754s + 1)$

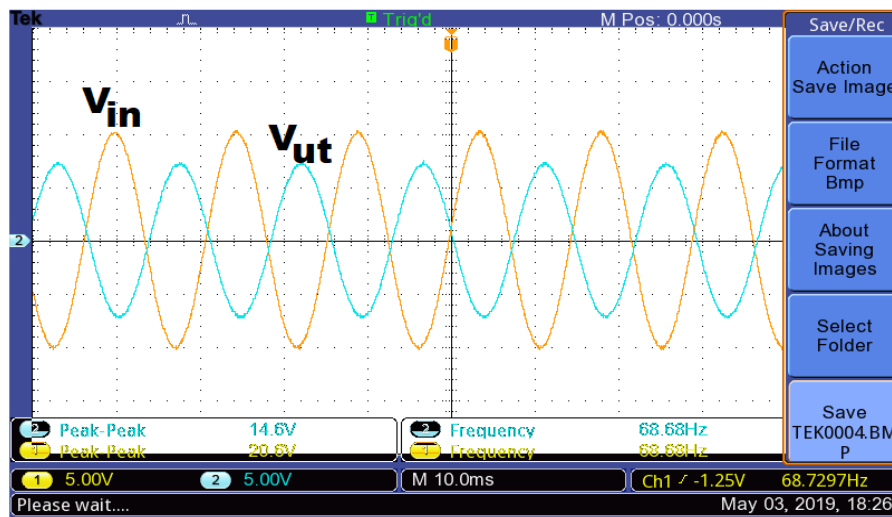
Figur 5.22: Polynom av olika grad för konstruktion av Butterworth filter[19].



Figur 5.23: Mätning av filter vid 25Hz signal. V_{ut} (fasförskjuten) motsvarar signalen ut ur filter och V_{in} motsvarar signal från signalgenerator.



Figur 5.24: Mätning på samma sätt som figur 5.23 fast med högre frekvens(50Hz) på V_{in}



Figur 5.25: Mätning på samma sätt som figur 5.23 vid frekvens(68Hz) där V_{ut} dämpas med 3dB gentemot V_{in} .

5.5.7 Mikrokontroller PIC16F1827

Mikrokontrollern PIC16F1827 valdes på grund av att den fanns tillgänglig på Chalmers. Detta visade sig otillräckligt då denna innehöll ett något för litet data samt programminne vilket gjorde programmeringen av mikrokontrollern tidskrävande och onödigt komplicerad. Eftersom att det ursprungliga programmet som fungerade väl på Arduino enheten inte fick plats på mikrokontrollern så blev resultatet att programmet för mätsystemet fungerade väl på Arduino Uno men att mikrokontroller ej uppnådde önskad programfunktion.

I rapportens bilagor [A.2] redovisas bilder över den kretskonstruktion som använts vid test av mikrokontroller.

5.5.8 Temperaturmätning

Tidigt i arbetet användes temperatursensor LM35 för att samla in data över rumstemperatur. Denna komponent valdes på grund av att den uppnådde kravet på det uppskattade temperaturintervall som kabelskåpet kunde tänkas verka i. Komponenten hade även, enligt datablad, ett bra linjärt samband gentemot temperaturen samt ett resultat presenterat i grader Celsius ($mV/^{\circ}C$) och därav kunde ett resultat erhållas som ej krävde större kompensation eller justering[8].

Vid ett senare skede i arbetet, då programvaran skulle överföras från Arduino till PIC16F1827, användes PIC-processorns integrerade temperatursensor för att utföra temperaturmätningar. Den främsta anledningen till detta var att frigöra en extra ingång på PIC-processorn som kunde användas till annan funktionalitet.

I det slutgiltiga resultatet för konceptet av mätsystemet rekommenderas en fristående temperatursensor av ett flertal anledningar:

1. En fristående temperatursensor mäter temperaturen i luften kring sig och ej inuti en mikrokontroller. Detta medför att den uppmätta temperaturen stämmer bättre överens med den faktiska temperaturen i området.
2. En fristående temperatursensor kan placeras oberoende av en mikrokontroller och därmed kan platsen för temperaturmätning anpassas för att ge en bättre översikt över temperaturen på olika delar av kabelskåpet.
3. (I det specifika fall som hanterades i arbetet så var även den integrerade temperatursensors mätintervall begränsat till mikrokontrollerns arbetstemperatur ($-40^{\circ}C$ till $+85^{\circ}C$ [21]) och därmed hade denna ej uppnått de krav som ställdes på systemet.)

5.5.9 Justering av mätsystem

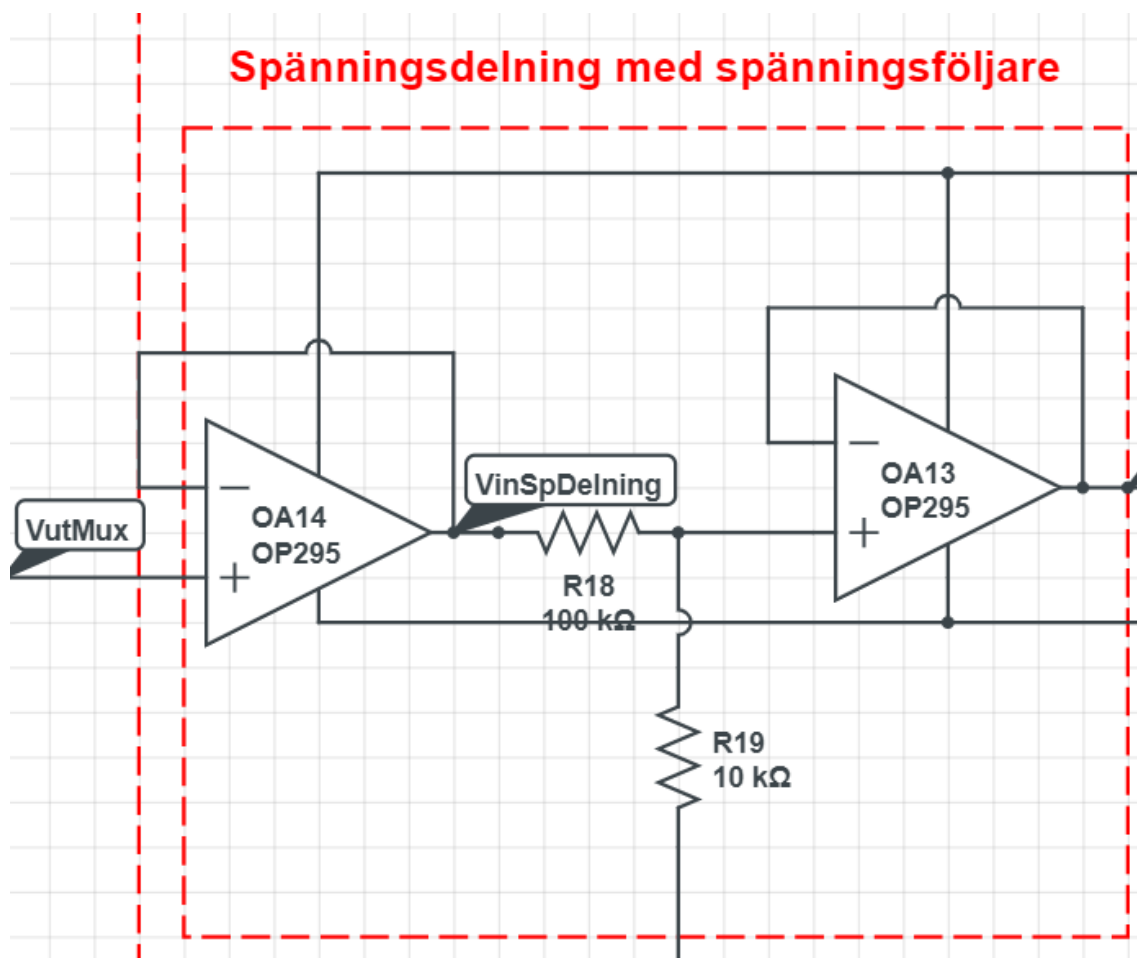
De justeringar som utförts på mätsystemet har främst innefattat kompensation för komponenters tolerans i mjukvaran. Tolerans för kondensatorer har dock inte kompenserats för då dessa endast hade en marginell påverkan för kretsens funktion. Ytterligare justeringar har innefattat de förbättringar som redovisas för nedan under sektionen "Förbättringar". Nedanstående justeringar gjordes för mätkretsen:

1. Spänningsdelningen i figur 5.26 kompenserades för i mjukvara med dess faktiska uppmätta resistansvärde istället för dess "förväntade" resistansvärden. Mätningen skedde med en multimeter.

2. Transformatorns omvandlingsfaktor kompenserades för i mjukvara enligt dess faktiska uppmätta primärspänning gentemot dess sekundärspänning. Denna varierade från den förväntade omvandlingsfaktorn på grund av att transformatorn arbetade i tomgång som nämnts tidigare. Även detta uppmättes med multimeter.

Tabell 5.4: Justeringar i mjukvara

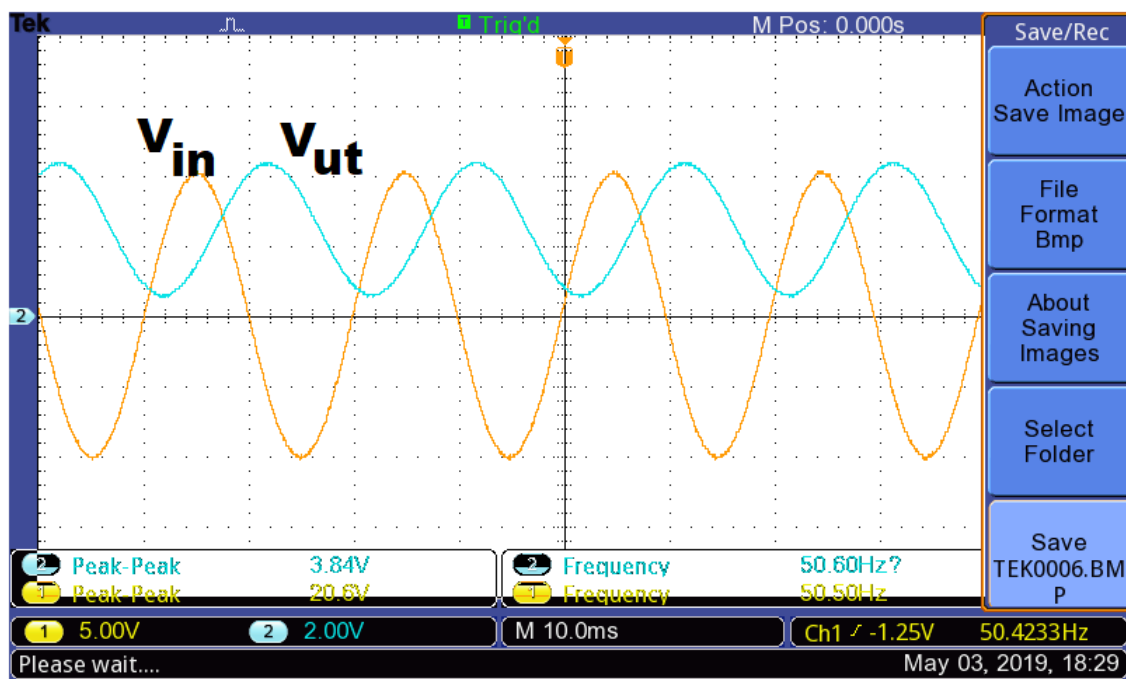
Komponent	Förväntad överföringskaraktäristik	Faktiskt överföringskaraktäristik
Spänningsdelning	$V_{ut} = \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 100k\Omega} \cdot V_{in}$	$V_{ut} = \frac{9.84k\Omega}{9.84k\Omega + 98k\Omega} \cdot V_{in}$
Transformator	$V_{sekundär} = \frac{6}{230} \cdot V_{primär}$	$V_{sekundär} = \frac{8.5}{233} \cdot V_{primär}$



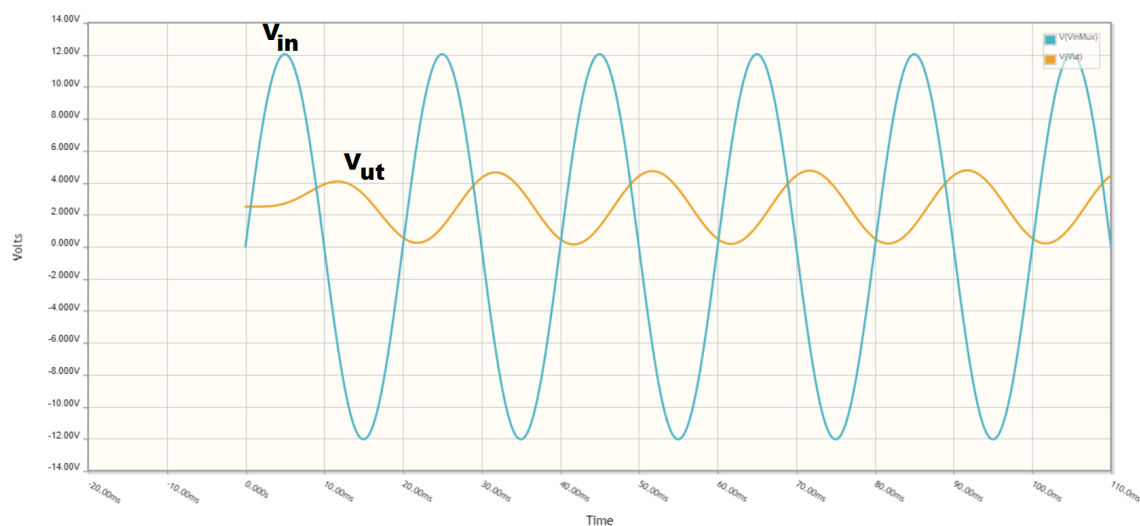
Figur 5.26: Spänningsdelning från figur 5.17.

5.6 Resultat ifrån test och verifikation

Följande figurer visar mätresultat ifrån de mätningar som utförts med framtagen kretskonstruktion för spänningsmätning (figur 5.17).



Figur 5.27: Resultat av mätning med hel krets från bilaga A.1. Observera att skalan är annorlunda för de två signalerna för att båda ska få plats i oscilloskopsbilden.



Figur 5.28: Simuleringsresultat från Circuitlab med samma krets som testades i figur 5.27 ovan.

5.7 Utförda Förbättringar

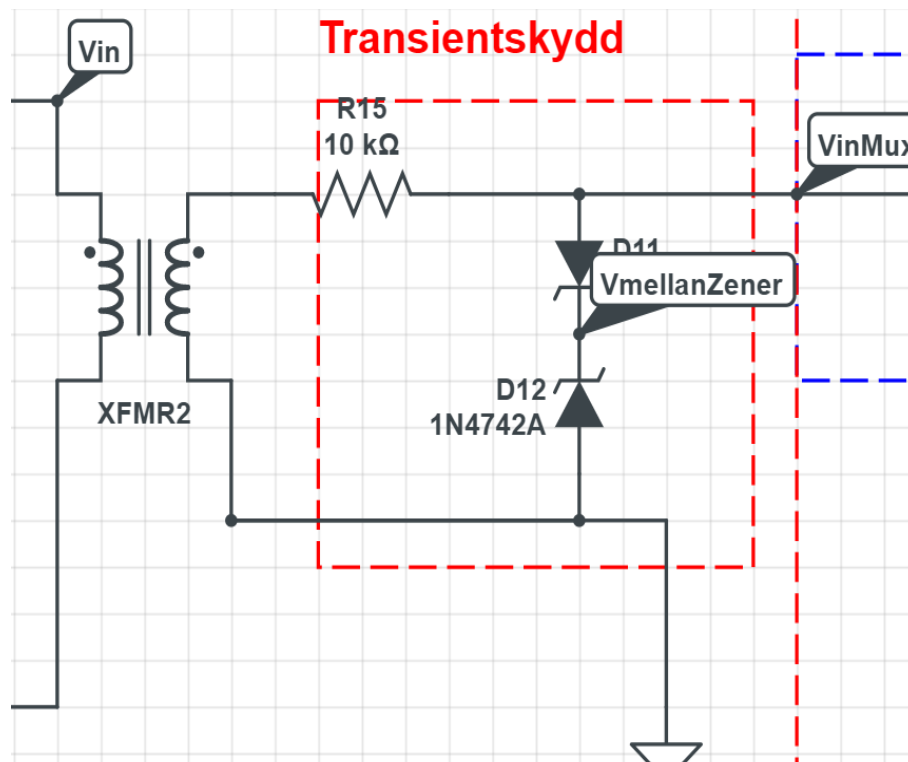
5.7.1 Analog Multiplexer

Den första förbättringen som detekterades och initierades innebar att införa en analog multiplexer vid varje mikrokontroller. I början av arbetet låg fokus på att konstruera en metod för att mäta spänningen i en punkt och då antogs att det skulle krävas en mätkrets per mätpunkt och en ingång på mikrokontrollern för vardera mätpunkt. Genom att implementera en multiplexer i systemet kunde antalet komponenter per säkringslastfrånskiljare reduceras till $\approx 1/6$ av det ursprungliga antalet. Nackdelen med att implementera en multiplexer är denna kommer att kräva $\pm 15V$ matningsspänning och därmed krävs ett dubbelt spänningsaggregat i skåpet till skillnad mot det tidigare enkla spänningsaggregat som var tänkt att användas.

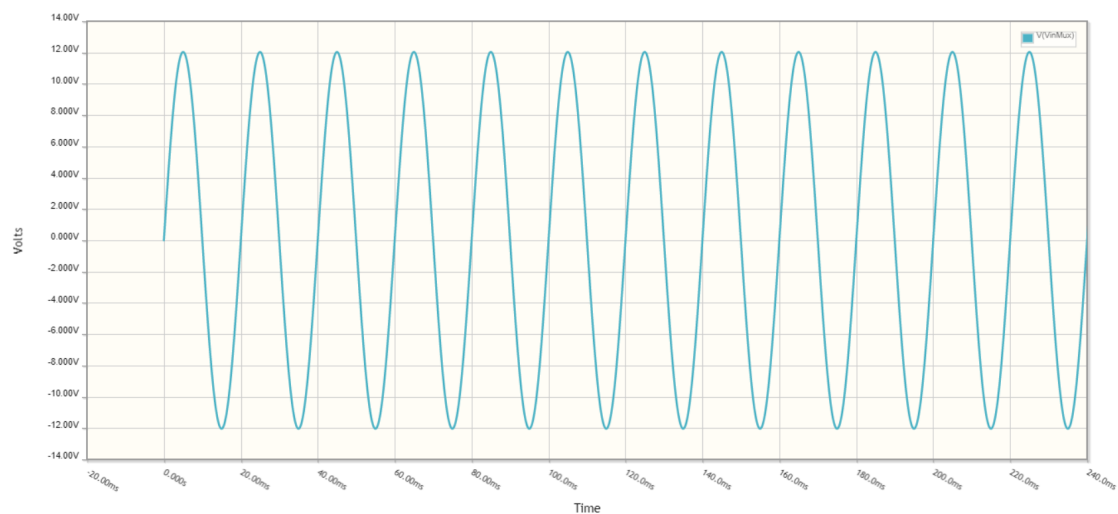
5.7.2 Skydd mot transienter

För att skydda mätsystemets komponenter mot spänningstransienter infördes ett transientskydd i form av en resistor i serie med mätsystemet parallellkopplat med två stycken zenerdioder i serie (figur 5.29).

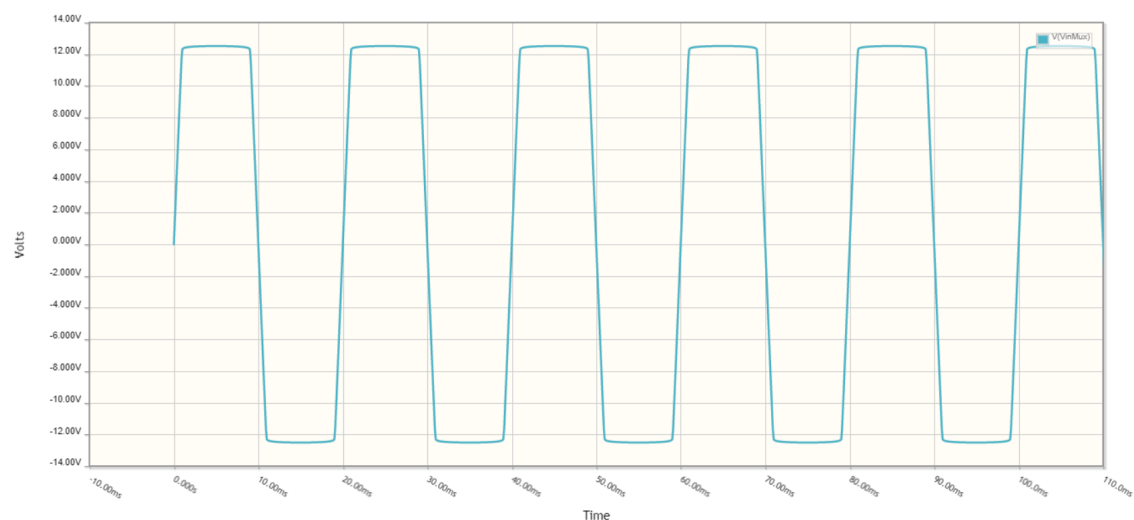
Följande figurer redovisar resultat över simuleringsresultat från test av transientskydd där transienter antogs utgöra en 800V spänningsadderig på den vanliga 325V AC signalen[22]. Inga djupare undersökningar hann utföras för att ta fram lämpliga zenerdioder för att testa nedanstående transientskydd i praktiken.



Figur 5.29: Transientskydd ur figur 5.17



Figur 5.30: Simuleringsresultat av spänning på kretsingång(VinMux i figur 5.29) vid förväntad spänning 325V AC (230V RMS).



Figur 5.31: Simuleringsresultat av spänning på kretsingång(VinMux i figur 5.29) vid transient på 800V motsvarande $\pm 1125V$ AC på ingång på transformator.

5.8 Förbättringsförslag

Följande sektion redogör för de förbättringsförslag som tagits fram.

5.8.1 Mikrokontroller

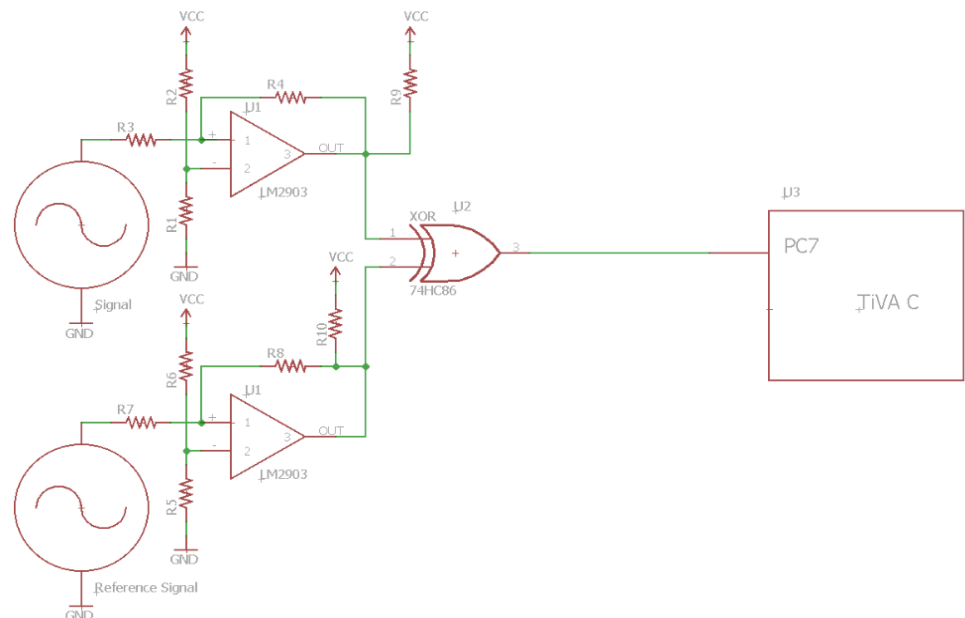
Ett förbättringsförslag gällande mikrokontroller är att använda en mikrokontroller med större data samt programminne än PIC16F1827. Detta skulle ge större möjlighet till att mäta fler parametrar och ge ett noggrannare resultat i form av float eller double variabler vilka kan presentera decimaltal. Vidare så skulle mer data kunna

hanteras samt paketeras för att vidarebefodras till den centrala enheten.

5.8.2 Mätning av fasförskjutning

Ett relativt enkelt sätt att mäta fasförskjutningen mellan ström och spänning på faserna i kabelskåpet upptäcktes sent i arbetet och hann ej testas och verifieras. Det kan dock, om intresse finns för data kring olika effektparameter, vara värt att konstruera och testa denna nedanstående kretskonstruktion som visas i figur 5.33. Den grundläggande modellen (figur 5.32) hittades i artikeln "Measuring Phase Offset Using a Microcontroller" på Digikeys "EEwiki" [23] och modellen i figur 5.33 är en påbyggnad av denna för att ge signaler som indikerar vilken, av spänning och ström, som ger en hög signal till mikrokontrollern via XOR-grinden.

Measuring Phase Offset with a Known Period:



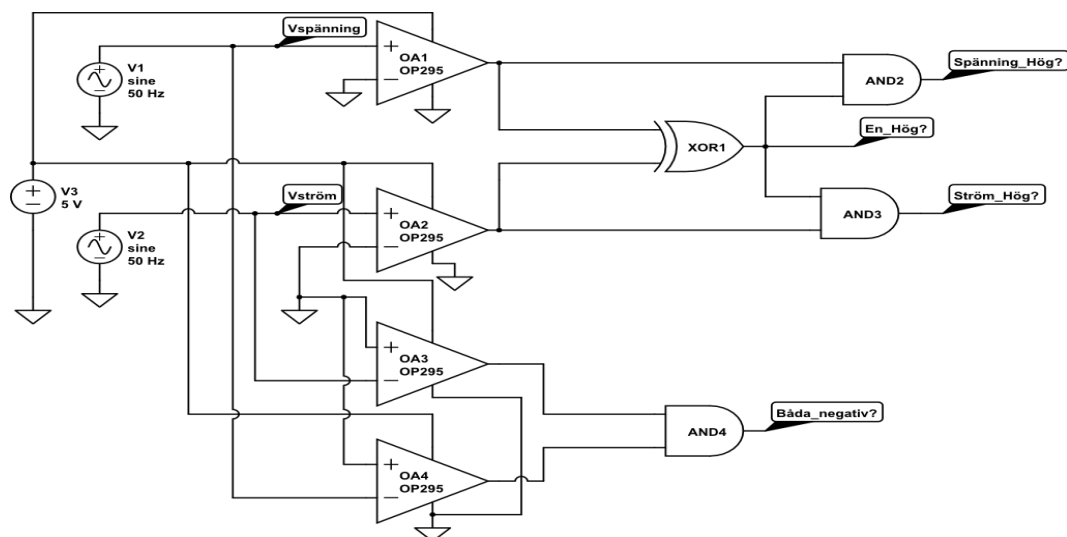
Figur 5.32: Grundmodell från DigiKey för fasförskjutningsmätningar[23].

Tanken med den grundläggande kretskonstruktionen är följande:

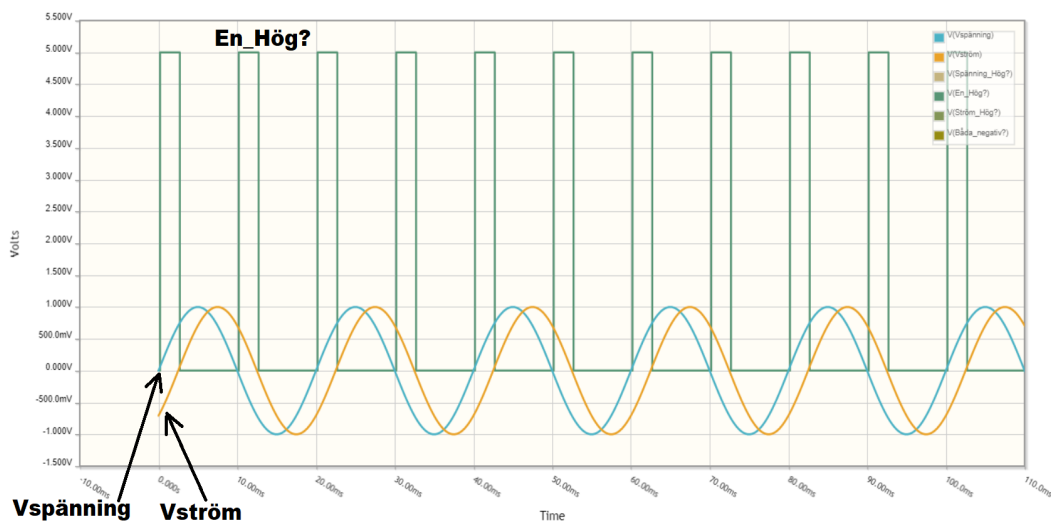
1. Grundide från Digikey[23]:
 - (a) Spänningssignaler genereras från signalkälla, exempelvis transformator, och sänds in i komparatorer.
 - (b) Komparatorer ger utslag när signalnivå överstiger nivå på negativ ingång.
 - (c) Den efterföljande XOR-grinden ger utslag då EN och endast en av komparatorerna ger utslag.
 - (d) Detta resulterar i en mätbar tid då en av signalerna är över referensnivån.
2. Problem:
 - (a) Det går inte att urskilja om spänningssignalen är före strömmen eller omvänt.
3. Lösningsförslag (presenteras i figur 5.33):

- (a) Genom att implementera tre AND grindar och två extra komparatorer så kan exakt fasförskjutning (ström före spänning / spänning före ström) fastställas.

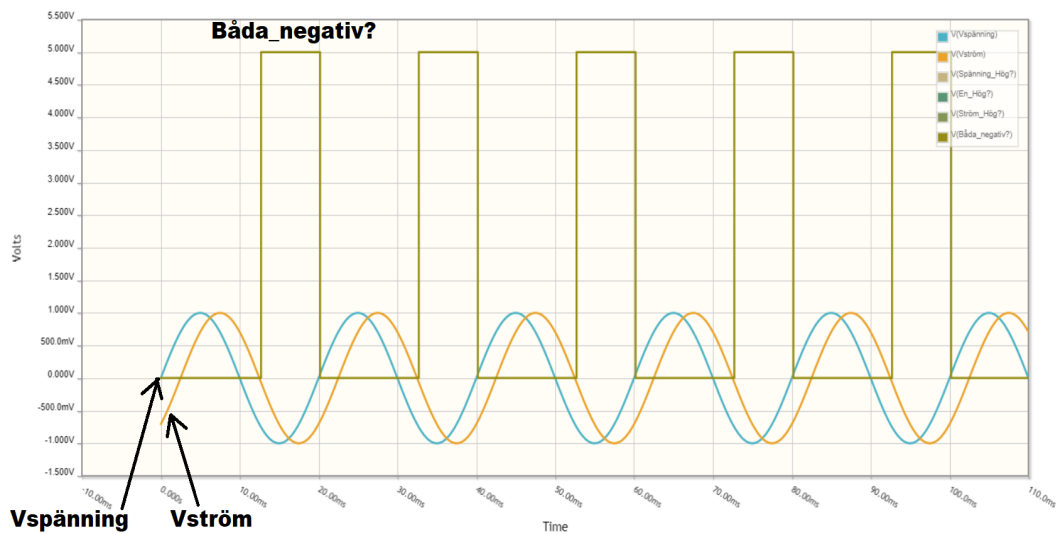
Ett tillståndsdigram innehållande den tänkta arbetsgången presenteras i figur 5.37. Figur 5.34-5.36 redovisar för simuleringar av kretsen i figur 5.33. Observera att detta endast är simuleringar och att ytterligare fördröjningar samt justeringar kan krävas för att konstruera ett verkligt system med god tillförlitlighet.



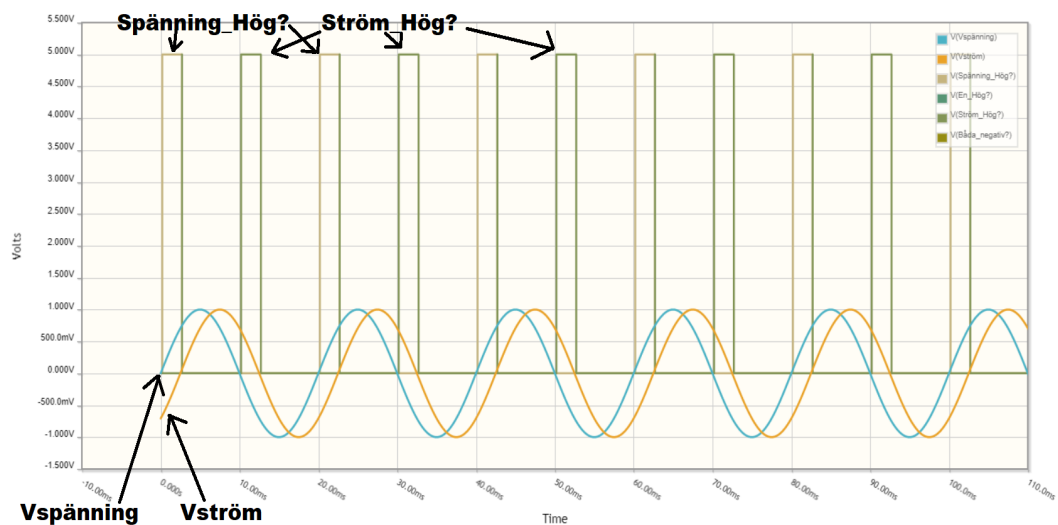
Figur 5.33: Kretskonstruktion för att detektera fasförskjutning. Egen utbyggnad av grundkonstruktionen från DigiKey(figur 5.32)



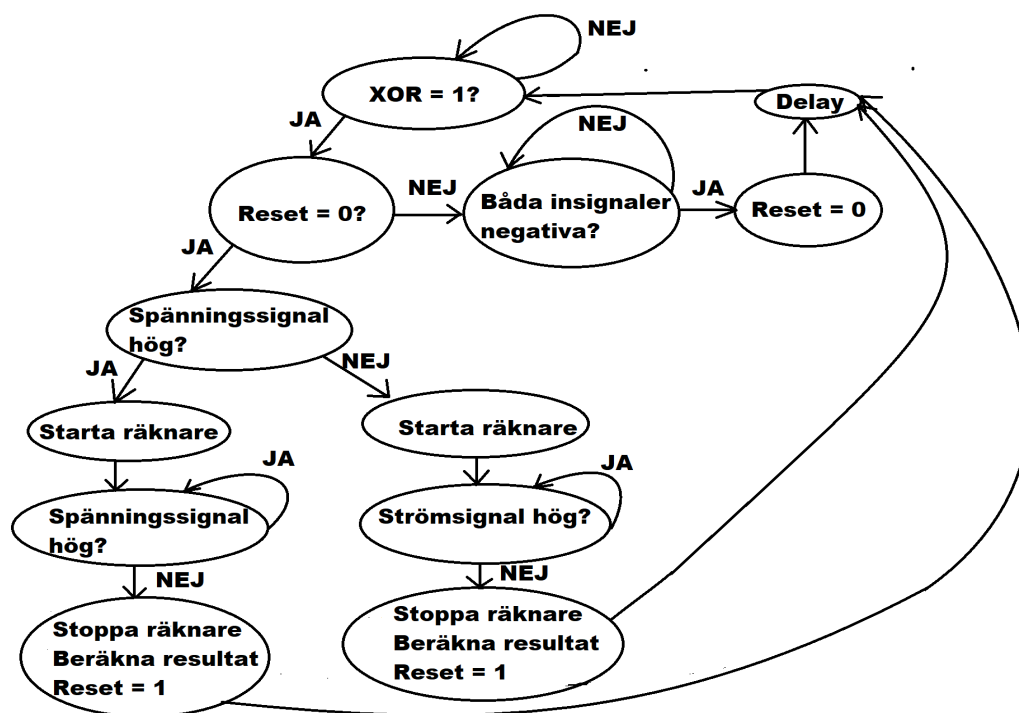
Figur 5.34: En "hög" signal genereras på utgången på XOR-grinden("En_Hög?" i figur 5.33) då en av signalerna ger utslag från komparator. Alltså då en av signalerna, spänning eller ström, överstiger komparatorns referensnivå. Namnet "En_Hög" användes främst för att enkelt kunna lokalisera de olika mätpunkterna i resultatrutan för simuleringen.



Figur 5.35: Signal som kombinerar komparatorns utsignal för spänning samt ström i en AND-grind för att indikera då båda signaler befinner sig under referenspunkten(jord). (signal "Båda_negativ?" i figur 5.33).



Figur 5.36: Signal från komparator, för strömsignal eller spänningssignal, tillsammans med signal från XOR-grind genererar resultat för vilken av signalerna som gått över referenspunkten(jord) för komparator. I denna figur visas båda signalerna("Spänning_Hög?" respektive "Ström_Hög?" i figur 5.33).



Figur 5.37: Tillståndsdigram som beskriver den tänkta arbetsgången i mjukvara för ovanstående egenkonstruerade fasförskjutningsdetektering.

5.8.3 Temperaturkompensering av komponenter

Ytterligare ett förbättringsförslag skulle vara att skapa variabla resistansvärden i mjukvaran som kan justeras utifrån hur de påverkas av temperaturförändringar beroende på specifikt valt motståndets temperaturkoefficient. Detta skulle kunna ge ett något bättre resultat vid beräkningar av exempelvis spänningsdelningen i det slutgiltiga konceptet för mätsystemet. Övriga komponenter som påverkas av temperatur är operationsförstärkaren då den påverkas i form av förstärkning, strömmar på ingång samt utgång och spänningar på utgång[10]. Även en mikrokontroller påverkas på olika sätt i form av strömkonsumtion, klockhastighet och tiden det tar för A/D-omvandlingar[21].

Vidare så är det värt att nämna att ovanstående variabler påverkas marginellt av temperatur men det kan ändå finnas en anledning till att mäta temperaturen med både fristående temperatursensor samt den integrerade temperatursensorn i mikrokontrollern. Anledningen är den att om den fristående temperatursensorn placeras på en position som varierar kraftigt gentemot positionen för mikrokontrollern samt den resterande kretsens position så kommer förmodligen mikrokontrollerns integrerade temperatursensor uppmäta ett resultat närmre den verkliga temperaturen vid kretsen än den fristående temperatursensorn, trots att denna är integrerad i mikrokontrollern.

6

Slutsats och diskussion

Det slutgiltiga konceptet för mätsystemet innehöll ett flertal frågetecken samt tankar kring förbättringar som det tyvärr inte fanns tid för att fördjupa sig i eller testa.

6.1 Kravspecifikation

Utifrån de kravspecifikationer som skrevs ner i "Kravspecifikationen för arbetet" så har arbetets resultat uppfyllt följande krav:

Primära kravspecifikationer

1. Krav: Systemet ska mäta spänningar före- respektive efter varje säkring på vardera fas på säkringslastfrånskiljarna.
 - (a) Resultat: Krav uppfyllt för en fas men ej testat på flertal faser samtidigt.
2. Krav: Systemet ska mäta strömmar på respektive utgång på säkringslastfrånskiljarna.
 - (a) Resultat: Konceptet involverar detta men inga test samt verifikationer har gjorts.
3. Krav: Systemet ska kunna detektera om säkring har gått.
 - (a) Resultat: Koncept togs fram.
4. Krav: Systemet ska kunna paketera mätdata för överföring.
 - (a) Resultat: Krav ej uppfyllt

Ytterligare sekundära kravspecifikationer:

5. Krav: Systemet ska kunna mäta temperatur
 - (a) Resultat: Krav uppfyllt
6. Krav: Systemet ska inte innebära någon fara för operatörer vid arbete i kabelskåp.
 - (a) Resultat: Krav uppfyllt i den mån det går att uppskatta om systemet utgör en fara eller inte.
7. Krav: Systemet ska vara kostnadseffektivt.
 - (a) Resultat: Ingen kostnadsanalys har tagits fram för konceptet då det återstår undersökning av priser samt prestanda hos ett flertal komponenter.

Vidare går det att konstatera att de grundläggande kraven har mer eller mindre uppfyllt. Givetvis går vardera specifikation att undersöka ytterligare för att uppnå ett bättre resultat. Det finns förmodligen även en hel del upptäckta fakta samt synvinklar vilket innebär att systemet, om det sätts under vidareutveckling, kommer att förbättras avsevärt.

6.2 Vad gick bra

Den del av arbetet som gav störst tillfredsställelse var att lyckas konstruera en krets för spänningsmätning som enligt simuleringar samt test förväntas fungera bra för sitt ändamål. En annan del som gav stor tillfredsställelse var att lyckas modifiera samt konstruera en krets för att detektera samt beräkna fasförskjutning på ett relativt säkert sätt. Detta system har inte testats men enligt simuleringar så borde det, enligt arbetsflöde presenterat i tillståndsdigram (figur 5.37), fungera bra för sitt ändamål.

6.3 Vad gick mindre bra

Ett av momenten som visade sig tidskrävande och komplicerat var programmeringen av mikrokontroller med begränsat data samt programminne. Detta problem är väldigt ovanligt att stöta på med dagens datorer som oftast använder betydligt större program samt minnestillgång och därmed så blev det ett nytt och komplicerat problem med de programmeringskunskaper som fanns.

Detta problem hade givetvis gått att lösa med en kraftfullare mikrokontroller men på grund av den tid som återstod valde jag att avbryta detta.

Vidare så var även tidsplaneringen lite av ett problem i efterhand då den var grovt tilltagen och borde innehållit mer specifik planering kring vad som behövde göras. Exempelvis så kunde undersökningar gjorts mer utförligt för att hitta senare förbättringar i ett tidigt stadie och därmed fått ett mer fullbordat slutresultat. Detta är givetvis enkelt att se i efterhand och är något som jag tar med mig till framtida konstruktionsarbeten.

Ytterligare en punkt som jag kunde gjort bättre hade varit att använda mig av tydliga delmål och en tydlig struktur för att uppnå de huvudsakliga kravspecifikationerna. Genom arbetets gång användes TO-DO listor för att se till så att det alltid fanns en plan över vad som behövde utföras. Problemet var dock att dessa inte alltid gynnade det centrala målet eller resulterade i ett uppfyllande av kravspecifikationerna.

6.4 Rekommenderat fortsättningsarbete

Sent i arbetet var det mycket extra idéer som kom till i form av vad som ytterligare skulle kunna utföras för att fortsätta arbetet mot ett smart "kabelskåp":

1. Testa samt utvärdera nuvarande kretskonstruktioner samt koncept och se efter förbättringsmöjligheter.
2. Se över de förbättringsförslag som nämns under resultatdelen (sektion 5.8.1, 5.8.2, 5.8.3)
3. Mät och beräkna fasförskjutning för att sedan ta fram aktiv, reaktiv och skenbar effekt som levereras till last efter säkring.
4. Testa individuella mätenheter mot den centrala enheten och/eller kommunikationsenheten.
5. Skapa konstruktion för insamling av data för bullernivåer.

6. Skapa konstruktion för insamling av data för vibrationer.

7. Skapa konstruktion för insamling av data för luftfuktighet.

Alla dessa data kan användas för att utveckla infrastruktur och uppnå en mer effektiv samhällsplanering mot ett mer hållbart samhälle. Både ekonomiskt i form av mindre slitage på människor ifrån höga bullernivåer men även i form av att samla data ifrån trafik med hjälp av buller och vibrationer[24]. Detta är ännu ett outforskat område i denna rapport men ju längre utvecklingen går desto fler möjligheter finns till att göra dessa skåp smarta.

Litteraturförteckning

- [1] Bengtsson L. et al: *Elektriska mätsystem och mätmetoder*, Studentlitteratur AB, Lund 2012.
- [2] FN, FN-Fakta. *Hållbar Utveckling*, nr2, s 1,
Tillgänglig: <https://fn.se/vi-gor/vi-utbildar-och-informerar/faktablad/attachment/faktablad-2-12-hallbar-utveckling/>
Hämtad: 2019-05-16
- [3] Gapminder, *Tools*,
Tillgänglig: <https://www.gapminder.org/tools/>
Hämtad: 2019-05-16
- [4] Ayers John.C. et al: *Sustainability, An Environmental Science Perspective*, CRC Press, Taylor & Francis Group ,LLC, Boca Raton 2017.
- [5] Kabeldon Fusegear and Cable Distribution Cabinets Product Catalog, ABB Kabeldon, ABB, Alingsås 2017,
Tillgänglig: https://library.e.abb.com/public/a5b45aac5cb3427b92c263f5d26675c1/Technicalcatalogue_Kabeldon_June%202017.pdf
Hämtad: 2019-05-16
- [6] Säkring, *Wikipedia, Den fria encyklopedin*, 2019.
Tillgänglig: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Säkring>
Hämtad: 2019-05-16
- [7] Institutionen för Energi och miljö, *ELTEKNIK*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg
- [8] Datablad, *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, Texas Instruments, 2017.
Tillgänglig: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
Hämtad: 2016-05-16
- [9] Molin B. et al: *Analog elektronik*, 2:a upplaga, Studentlitteratur AB, Lund 2009.
- [10] Datablad, *Dual/Quad Rail-to-Rail Operational Amplifiers*, ANALOG DEVICES, 2009.

- Tillgänglig: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/OP295_495.pdf
Hämtad: 2016-05-16
- [11] Nyquist-Shannons samplingsteorem, *Wikipedia, Den fria encyklopedin*, 2018.
Tillgänglig: https://sv.wikipedia.org/wiki/Nyquist-Shannons_samplingsteorem
Hämtad: 2019-05-16
- [12] Arduino.cc, *About Us*, 2019.
Tillgänglig: <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>
Hämtad: 2019-05-16
- [13] Electronics Tutorials, *RMS Voltage Tutorial*, AspenCore, 2019.
Tillgänglig: <https://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/rms-voltage.html>
Hämtad: 2016-05-16
- [14] LTspice, *Wikipedia, Den fria encyklopedin*, 2019. Tillgänglig: <https://en.wikipedia.org/wiki/LTspice>
Hämtad: 2019-05-28
- [15] Analog Devices, *LTSpice*, Analog Devices 2019.
Tillgänglig: <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
Hämtad: 2019-05-16
- [16] About Circuitlab, *Zero-Friction Electronics Design*, Circuitlab. Inc, 2019
Tillgänglig: <https://www.circuitlab.com/about/>
Hämtad: 2019-05-16
- [17] Microchip, *MPLAB X Integrated Development Environment*, Microchip 2019.
Tillgänglig: <https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide/>
Hämtad: 2019-05-16
- [18] Datablad, *High Common-Mode Voltage, Difference Amplifier*, ANALOG DEVICES, 2011.
Tillgänglig: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD629.pdf>
Hämtad: 2019-05-16
- [19] Analog.com, Analog Devices, Inc. 1995-2019
Tillgänglig: <https://www.analog.com/en/index.html>
Hämtad: 2019-07-07
- [20] Butterworth filter, *Wikipedia, Den fria encyklopedin*, 2019.
Tillgänglig: https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter

Hämtad: 2019-05-28

- [21] Datablad, *PIC16(L)F1826/27 Data Sheet*, MICROCHIP, 2011.
Tillgänglig: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41391d.pdf>
Hämtad: 2019-05-16

- [22] Berglund S-E. och Åkerlund J: *EMC, elkvalitet och elmiljö, guide för elanvändare och allmänt sakkunnga inom elområdet*, Elforskprojektet "Kunskapsplats elkvalitet", Stockholm 2007
Tillgänglig: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19568/emc-elkvalitet-och-elmiljo-guide-for-elanvandare-och-allmant-sakkunniga-inom-elområdet-ny-version-januari-2007-elforskrapport-2007-40.pdf>
Hämtad: 2019-05-16

- [23] *Measuring Phase Offset Using a Microcontroller*, Bon Matthew, 2016.
Tillgänglig: <https://www.digikey.com/eewiki/display/microcontroller/Measuring+Phase+Offset+Using+a+Microcontroller>
Hämtad: 2019-05-16

- [24] Plambeck J, Røjvall M, *Riktlinjer Buller och vibrationer*, Trafikförvaltningen, Stockholm 2015.
Tillgänglig: http://www.bullernatverket.se/wp-content/uploads/2015/12/RiBuller-151221_R4-1.pdf
Hämtad: 2019-05-16

A

Bilagor

A.1 Programkod

A.1.1 Programkod för Arduino Uno

```
1 #include <math.h>
2 // #define DEBUG
3 #define TrafoResult
4 #define OPKRETS
5 // #define SPDELNKRETS
6 // #define measureReference
7 // #define CalcFreq
8 #define CalcRMS
9 #define measTemp
10 #define CalcMeanTemp
11 /*
12    skapad 4 Mars 2018
13    av Marcus Martinsson
14 */
15 #define DELAY_FACTOR
16    (100)
17 #define NUM_OF_DIGITS (4)
18 unsigned int counter = 0;
19 // Konstanter
20 const int analogInPin_one = A0;
21 const int analogInPin_two = A1;
22 const int analogRefPin = A2;
23 const int analogTempMeasPin = A3;
24
25 const int pinForFuseBreakDiode = 2;
26 const double resolution = 0.004887585;
27    t
28 const int numberOfValuesPerWave = 600;
29 // Variabler f r alla kretsar
30 double sensorValue_one = 0;
```

```
31 double referenceValue = 0;
32 double calculatedValueWithResolution_one = 0;
33 double calculatedReferenceValueWithResolution = 0;
34 double calculatedValueAfterSubtractingReference_one = 0;
35 double calculatedValueForVoltageDivider_one = 0;
36 double calculatedValueBeforeTrafo_one = 0;
37 double sensorValue_two = 0;
38 double calculatedValueWithResolution_two = 0;
39 double calculatedValueAfterSubtractingReference_two = 0;
40 double calculatedValueForVoltageDivider_two = 0;
    g
41 double calculatedValueBeforeTrafo_two = 0;
42 // Variabler f r Operationsf rst rkarkrets
43 double calculatedValueBeforeOpAmp_one = 0;
44 double calculatedValueBeforeOpAmp_two = 0;
45 // Variabler f r att ber kna frekvens
46 int timeCounter_one = 0;
47 int timeCounter_two = 0;
48 int flagForDetectingNewPeriod_one = 0;
49 int flagForDetectingNewPeriod_two = 0;
50 double frequency_one = 0;
51 double frequency_two = 0;
52 int previousTimeCounter_one = 0;
53 int previousTimeCounter_two = 0;
54
55 //Variabler f r temperatur
56 int sensorValueTemp = 0;
57 int calculatedTemp = 0;
58 int meanTemp = 0;
59
60 //variabler f r rms
61 long long int total = 0;
62 int rms = 0;
63
64 void setup() {
65     // initialisera seriell kommunikation 115200bps
66     Serial.begin(115200);
67     pinMode(analogInPin_one,INPUT);
68     pinMode(analogInPin_two,INPUT);
69     pinMode(analogRefPin,INPUT);
70     pinMode(analogTempMeasPin,INPUT);
71     pinMode(pinForFuseBreakDiode,OUTPUT);
72 }
73
74 void loop() {
75     int arrayOfCalcVal_one[numberOfValuesPerWave];
```

```

76  int arrayOfCalcVal_two[numberOfValuesPerWave];
77  int arrayOfTemp[numberOfValuesPerWave];
78  // L s v r d e
79  for(int i=0; i<numberOfValuesPerWave; i++){
80    sensorValue_one = analogRead(analogInPin_one);
81    sensorValue_two = analogRead(analogInPin_two);
82    if((sensorValue_one - sensorValue_two) > 75) ||
83    ((sensorValue_one - sensorValue_two) < -75)){
84      digitalWrite(pinForFuseBreakDiode,HIGH);
85    }else{
86      digitalWrite(pinForFuseBreakDiode,LOW);
87    }
88
89    calculatedValueWithResolution_one = (sensorValue_one * resolution);
90    calculatedValueWithResolution_two = (sensorValue_two * resolution);
91
92    #if defined(measureReference)
93      referenceValue = analogRead(analogRefPin);
94      calculatedReferenceValueWithResolution =
95      (referenceValue * resolution);
96      calculatedValueAfterSubtractingReference_one =
97      (calculatedValueWithResolution_one - referenceValue);
98      calculatedValueAfterSubtractingReference_two =
99      (calculatedValueWithResolution_two - referenceValue);
100  #else
101    calculatedValueAfterSubtractingReference_one =
102    (calculatedValueWithResolution_one - 2.4);
103    calculatedValueAfterSubtractingReference_two =
104    (calculatedValueWithResolution_two - 2.4);
105  #endif
106
107  #if defined(OPKRETS)
108    calculatedValueBeforeOpAmp_one =
109    ((calculatedValueAfterSubtractingReference_one * 1055) / 2040);
110    calculatedValueForVoltageDivider_one =
111    (calculatedValueBeforeOpAmp_one *(98+9.84)) / 9.84;
112
113    calculatedValueBeforeOpAmp_two =
114    ((calculatedValueAfterSubtractingReference_two * 1055) / 2040);
115    calculatedValueForVoltageDivider_two =
116    (calculatedValueBeforeOpAmp_two *(98+9.84)) / 9.84;
117  #endif
118
119  #if defined(SPDELNKRETS)
120    calculatedValueForVoltageDivider_one =
121    (calculatedValueAfterSubtractingReference_one * (97.9 + 9.88) / 9.

```

```
122     calculatedValueAfterSubtractingReference_one =
123     (calculatedValueForVoltageDivider_one - 2.5);
124
125     calculatedValueForVoltageDivider_two =
126     (calculatedValueAfterSubtractingReference_two * (97.9 + 9.88) / 9.
127     calculatedValueAfterSubtractingReference_two =
128     (calculatedValueForVoltageDivider_two - 2.5);
129 #endif
130
131
132 // SKRIV UT OLIKA RESULTAT F R DEBUG EJ UPPDATERAD
133 #if defined(DEBUG)
134     Serial.print("Sensor_=");
135     Serial.print("");
136     Serial.print(sensorValue);
137     Serial.print("");
138     Serial.print("Voltage_in_=");
139     Serial.print("");
140     Serial.print(calculatedValueWithResolution);
141     Serial.print("");
142     #if defined(measureReference)
143         Serial.print("Voltage_in_Reference_=");
144         Serial.print("");
145         Serial.print(calculatedReferenceValue);
146         Serial.print("");
147     #endif
148     Serial.print("After_Subtracting_Offset_=");
149     Serial.print("");
150     Serial.print(calculatedValueAfterSubtractingReference);
151     Serial.print("");
152
153     #if defined(OPKRETS)
154         Serial.print("Value_before_OP_amp_=");
155         Serial.print("");
156         Serial.print(calculatedValueBeforeOpAmp);
157         Serial.print("");
158     #endif
159     Serial.print("Value_before_voltage_divider_=");
160     Serial.print("");
161     Serial.print(calculatedValueForVoltageDivider);
162     Serial.print("");
163 #endif
164
165 #if defined(TrafoResult)
166
167     calculatedValueBeforeTrafo_one =
```

```

168     (calculatedValueForVoltageDivider_one * (230 / 8));
169     arrayOfCalcVal_one[i] = calculatedValueBeforeTrafo_one;
170
171     calculatedValueBeforeTrafo_two =
172     (calculatedValueForVoltageDivider_two * (230 / 8));
173     arrayOfCalcVal_two[i] = calculatedValueBeforeTrafo_two;
174
175     #else
176         arrayOfCalcVal_one[i] = calculatedValueForVoltageDivider_one;
177
178         arrayOfCalcVal_two[i] = calculatedValueForVoltageDivider_two;
179
180     #endif
181
182 #if defined(measTemp)
183     // FUNKTION F R ATT M TA TEMPERATUR
184     sensorValueTemp = analogRead(analogTempMeasPin);
185     sensorValueTemp *= 5;
186     calculatedTemp = sensorValueTemp / 10;
187     arrayOfTemp[i] = calculatedTemp;
188 #endif
189
190 #if defined(CalcFreq)
191     // FUNKTION F R ATT BERKNA FREKVENSEN I ARDUINO
192     if(calculatedValueForVoltageDivider_one > 0 &&
193     flagForDetectingNewPeriod_one == 0){
194         timeCounter_one = millis();
195     }else if(calculatedValueForVoltageDivider_one < 0){
196         flagForDetectingNewPeriod_one = 1;
197         timeCounter_one = millis();
198     }else{
199         frequency_one = (1 / (0.001 * (timeCounter_one -
200         previousTimeCounter_one)));
201         Serial.print("Frequency on line one = ");
202         Serial.print(" ");
203         Serial.print(frequency_one);
204         Serial.print(" ");
205         Serial.println();
206         flagForDetectingNewPeriod_one = 0;
207         previousTimeCounter_one = timeCounter_one;
208         timeCounter_one = 0;
209         frequency_one = 0;
210     }
211 #endif
212 } // END OF FOR LOOP
213

```

```
214 // extra funktionalitet n r ovanst ende fungerar
215
216     #if defined(CalcRMS)
217         total = 0;
218         rms = 0;
219         for(int i=0; i<numberOfValuesPerWave; i++){
220             total += pow(arrayOfCalcVal_one[i],2);
221         }
222         total = (total / numberOfValuesPerWave);
223         rms = sqrt(total);
224         Serial.print("RMS_value_on_line_one=");
225         Serial.print(" ");
226         Serial.print(rms);
227         Serial.print(" ");
228         Serial.println();
229     #endif
230
231     #if defined(CalcMeanTemp)
232         int mean = 0;
233
234         for(int j = 0; j < numberOfValuesPerWave; j++){
235             mean += arrayOfTemp[j];
236         }
237
238         mean /= numberOfValuesPerWave;
239
240
241     #endif
```

A.1.2 Programkod för Mikrokontroller

```
1 /* Programexempel 1 MPLAB XC8 */
2 //Headerfiler
3 #include <xc.h> //Definition av register och registerbitar mm.
4 #include <math.h>
5 //Se pic16f1827.h i kompilatorns include catalog
6 //C:\Program Files\Microchip\xc8\Vx.xx\include
7 //Configuration Bits
8
9 //Se C:\Program Files\Microchip\xc8\Vx.xx\docs\pic_chipinfo
10 //Oscillator Intern, Watchdog timer disabled, Power-Up timer enabled
11 //Brownout Reset Disable, Low-Voltage Programming Disabled,
12 Unprotect memory,
13 //MasterClear Input Enabled, Debug disabled,FCM/IESO disabled
14 #pragma config CPD=OFF, BOREN=OFF, IESO=OFF, FOSC=INTOSC, FCMEN=OFF,
15 MCLRE=ON,\
16 WDIE=OFF, CP=OFF, PWRTE=ON, CLKOUTEN=OFF
```

```
17 //Config Word 1
18 #pragma config PLLLEN=OFF, WRT=OFF, STVREN=ON, BORV=LO, LVP=OFF //Config Word 1
19 //Funktionsprototyper-----
20 void init(void);
21 inline void update_one_digit(void);
22 inline void get_digit_data(char two_digit, int four_digit,
23 char digit_base);
24 inline void shiftOut(char type_of_display, char val);
25 inline char AD_omv(char ADkanal);
26 inline char get_temp(char channel);
27 inline char get_voltage(char channel);
28 inline int calculate_voltage_on_line(char voltage_measured);
29 inline void get_digit_data_decimal(char indicator, double value,
30 double digit_base);
31 inline double calculate_voltage_on_point(double voltage_measured);
32 //Definierade v rden-----
33 #define DELAY_FACTOR (100)
34 #define NUM_OF_DIGITS (6)
35 #define TWO_DIGIT (2)
36 #define FOUR_DIGIT (4)
37 #define COMMON_ANODE (1)
38 #define COMMON_CATHODE (0)
39 #define DISPLAY_RMS (0)
40 #define DISPLAY_TEMP (1)
41 #define DISPLAY_TIME (2)
42 #define _XTAL_FREQ 16000000
43 //define RESOLUTION 48
44 //CONSTANTS-----
45 const int res = 48;
46 //VARIABLES-----
47 // Array med v rden f r displayer
48 int digit_data[NUM_OF_DIGITS] = {0};
49 double digit_data_double[NUM_OF_DIGITS] = {0};
50 // Positionsindikerare f r array ovan
51 int scan_position = 0;
52 // FLAG FOR DETECTING 0 IN MODULO OPERATION
53 char flag_for_zero = 0;
54 // FLAG FOR DETECTING NEGATIVE VALUE
55 char flag_for_negative = 0;
56 // Variabel f r att indikera vad som ska visas p display
57 char toggle_display = DISPLAY_TEMP;
58 // Variabel f r rms
59 unsigned char rms = 0;
60 //STRUCTURES-----
61 struct Data_acquired {
62     char MC_index;
```

```
63     char    MC_temperature;
64     char    MC_fuse_break_L1;
65     char    MC_fuse_break_L2;
66     char    MC_fuse_break_L3;
67     int      MC_kwh_L1_measured;
68     int      MC_kwh_L2_measured;
69     int      MC_kwh_L3_measured;
70     int      MC_rms_voltage_measured;
71     int      MC_mean_amp_measured;
72 } Data_acquired;
73
74 // -----
75
76 // digit pattern for a 7-segment display
77 const char digit_pattern[18] =
78 {
79     0b00111111,    // 0
80     0b00000110,    // 1
81     0b01011011,    // 2
82     0b01001111,    // 3
83     0b01100110,    // 4
84     0b01101101,    // 5
85     0b01111101,    // 6
86     0b00000111,    // 7
87     0b01111111,    // 8
88     0b01101111,    // 9
89     0b00111000,    // L (10)
90     0b10000000,    // . (11)
91     0b00111001,    // C (12)
92     0b01000000,    // - (13)
93     0b01111001,    // E (14)
94     0b00000000,    // INGENTING (15)
95     0b11010100,    // halva m v nster (16)
96     0b01010100,    // halva m h ger (17)
97 };
98 //Huvudprogram-----
99 void main(){
100 init();
101 char temp = 0;
102 int loop_counter = 0;
103 char voltage_before_fuse_char = 0;
104 int voltage_before_fuse_int = 0;
105 int voltage_after_fuse = 0;
106 char integrated_temp_channel = 29; // INTEGRERAD TEMPERATUR SENSOR
107 char voltage_channel_line_1_1 = 0;
108 char voltage_channel_line_1_2 = 1;
```

```
109 int last_top_val = 0;
110 char seconds = 0;
111 char minutes = 0;
112 char last_second_temp = 0;
113 char last_second_rms = 0;
114
115 get_digit_data(DISPLAY_RMS,voltage_sensor_val,10);
116 while(1){
117
118     if(TMRO == 62){
119         seconds++;
120     }
121
122     if(seconds == 60){
123         minutes++;
124         seconds = 0;
125     }
126
127     if(seconds < 20){
128         get_digit_data(DISPLAY_TEMP,get_temp(29),10);
129     }else if(seconds < 40){
130         voltage_before_fuse_char
131         get_voltage(voltage_channel_line_1_1);
132         int voltage_sensor_val = 0;
133         voltage_sensor_val |= (voltage_before_fuse_char << 2);
134         voltage_sensor_val *= 5;
135         voltage_sensor_val /= 1024;
136         get_digit_data(DISPLAY_RMS,voltage_sensor_val,10);
137     }else{
138         get_digit_data(DISPLAY_TIME,minutes,10);
139     }
140
141     update_one_digit();
142 }
143 }
144 //FUNCTIONS
145 void init(){
146     //Intern klocka 16 MHz 4xPLL disabled
147     OSCCON=0b01111000;
148     //PORTA port 5,3,2,1,0 analoga. port 7,6,4 digitala
149     ANSELA=0b00101111;
150     //PORTB alla bitar digitala
151     ANSELB=0b00000000;
152     //PORTA port 5,3,2,1,0 ing ngar. port 7,6,4 utg ngar
153     TRISA=0b00101111;
154     //PORTB alla bitar utg ngar
```

```
155 TRISB=0x00;
156 // V nsterjusterat, AD-clock=Fosc/4, Vref VDD och VSS
157 ADCON1=0b01000000;
158 //ADON
159 // Initiera Timer0, v lj TOCKL, v lj prescaler 1:256
160 OPTION_REG=0b00000111;
161 //CPSCON0bits.T0XCS=0; //Initiera Timer0 f r pulsr kning
162 p T0CKI/RA4
163 ADCON0=0x01;
164
165 }
166 // FUNCTION FOR UPDATING DISPLAYS (ONE DIGIT AT A TIME)
167 inline void update_one_digit(){
168     char pattern;
169
170     // ST NG AV ALLA KONTROLLPINNAR TILL
171     DISPLAYERNA OCH ST NG AV UTNGEN P 74HCSN595N
172     // 0b SRCLK(UTG NG 74HC), RCLK(KLOCKA 74HC),
173     D2(2 digit), D1(2 digit), D4(4 digit), D3, D2, D1
174     LATB = 0b00001111;
175
176     // HMTA MNSTER F R NSKAD SIFFRA
177     pattern = digit_pattern[digit_data[scan_position]];
178
179     // update data pattern to be outputed from 74HC595
180     // because it's a common anode LED, the pattern needs to be inverted
181     if(scan_position < 2){
182         shiftOut(TWO_DIGIT, ~pattern);
183         //shiftOut(data_pin_two_digit, bit_clock_pin, MSBFIRST, ~pattern);
184         //shiftOutz(data_pin_two_digit, bit_clock_pin, MSBFIRST, ~pattern);
185     }else{
186         shiftOut(FOUR_DIGIT, pattern);
187     }
188     // S TT P UTNGEN P 74HC595
189     LATBbits.LATB7 = 1;
190
191
192     // S TT P R TT DISPLAYENHET
193     switch(scan_position){
194         case 5 :
195             LATBbits.LATB0 = 0;
196             break;
197         case 4 :
198             LATBbits.LATB1 = 0;
199             break;
200         case 3 :
```

```

201     LATBbits.LATB2 = 0;
202     break;
203     case 2 :
204         LATBbits.LATB3 = 0;
205         break;
206     case 1 :
207         LATBbits.LATB4 = 1;
208         break;
209     case 0 :
210         LATBbits.LATB5 = 1;
211         break;
212     default :
213         break;
214 }
215 // go to next update position
216 scan_position++;
217
218 if (scan_position >= NUM_OF_DIGITS){
219     scan_position = 0;
220     flag_for_negative = 0;
221 }
222 __delay_ms(2); // Delay f r att uppn ett
223 stabilt tillst nd p displayerna
224 }
225 // FUNCTION FOR PLACING CORRECT DATA IN DIGIT_DATA_ARRAYS
226 inline void get_digit_data(char indicator ,
227 int value , char digit_base){
228
229     for (int i = 0; i < NUM_OF_DIGITS; i++){
230         // SET THE CORRECT DISPLAY SETTING
231         if(i < 2){
232             if(indicator == DISPLAY_RMS && i < 1){
233                 // 1 I ARRAY AV BYTE MNSTER
234                 digit_data[i] = 1;
235             }else if(indicator == DISPLAY_RMS && i < 2){
236                 // L I ARRAY AV BYTE MNSTER
237                 digit_data[i] = 10;
238             }else if(indicator == DISPLAY_TEMP && i < 1){
239                 //INGENTING I ARRAY AV BYTE MNSTER
240                 digit_data[i] = 15;
241             }else if(indicator == DISPLAY_TEMP && i < 2){
242                 // C I ARRAY AV BYTE MNSTER
243                 digit_data[i] = 12;
244             }else if(indicator == DISPLAY_TIME && i < 1){
245                 digit_data[i] = 17;
246             }else if(indicator == DISPLAY_TIME && i < 2){

```

```
247     digit_data[i] = 16;
248 }else{
249     digit_data[i] = indicator % digit_base;
250     indicator /= digit_base;
251 }
252 }else{
253     // SET THE CORRECT VALUE OF DISPLAY
254     if(i > 4){ // CHECK IF LAST DIGIT OF DISPLAY IS 0
255         if(flag_for_negative){
256             digit_data[i] = 13;
257         }else{
258             digit_data[i] = 15;
259         }
260     }else{
261         digit_data[i] = value % digit_base;
262         value /= digit_base;
263     }
264 }
265 }
266 }
267
268 // FUNCTION FOR WRITING DATA TO SN74HC595SN
269 // DATAPIN FOR 2 DIGIT 7SEG = RA7,
270 DATAPIN FOR 4 DIGIT 7SEG = RA6, CLOCKPIN = RB6
271 inline void shiftOut(char type_of_display, char val){
272     if(type_of_display == TWO_DIGIT){
273         for(char i = 0; i < 8; i++){
274             LATAbits.LATA7 = !(val & (1 << (7 - i)));
275             LATBbits.LATB6 = 1;
276             LATBbits.LATB6 = 0;
277         }
278     }else{
279         for(char i = 0; i < 8; i++){
280             LATAbits.LATA6 = !(val & (1 << (7 - i)));
281             LATBbits.LATB6 = 1;
282             LATBbits.LATB6 = 0;
283         }
284     }
285 }
286 // FUNCTION TO CONVERT A VOLTAGE TO A 8 BIT (MSB) VALUE WITH ADC
287 inline char AD_omv(char ADkanal){
288     //Val av AD-kanal
289     ADCON0=(ADCON0 & 0b10000011)|(ADkanal<<2);
290     //Delay 5us. Macro i MPLAB XC8.
291     __delay_us(5);
292     //AD-omvandling startar
```

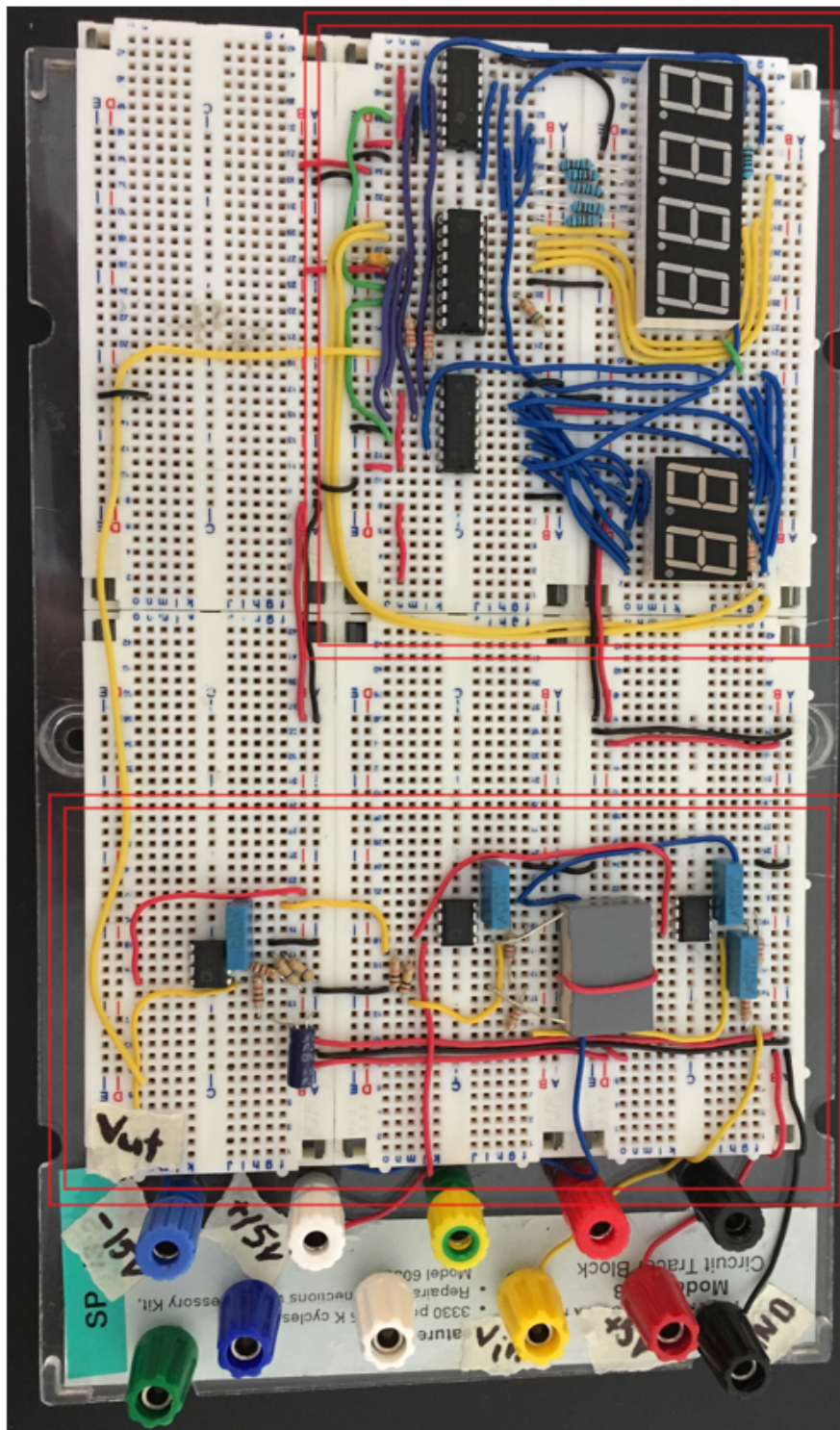
```

293 ADCON0bits.GO=1;
294 while(ADCON0bits.GO); // V n t a p a t t A D - o m v a n d l i n g r k l a r
295 // R e t u r n e r a 8 M S B a v A D - o m v a n d l i n g , 8 M S B a v 10 o m V n s t e r j u s t e r a t
296 return ADRESH;
297 }
298 // F U N C T I O N T O G E T T E M P E R A T U R E F R O M I N T E G R A T E D T E M P E R A T U R E S E N S I N G C I R C U I T
299 inline char get_temp(char channel){
300     char temp_MSB = AD_omv(channel);
301     int temp_all_bits = 0;
302     // s k i f t a i n 8 M S B b i t a r i I N T
303     temp_all_bits |= (temp_MSB << 2);
304     temp_all_bits = (temp_all_bits * 125 / 1024);
305     // A D R E S H * 125 ( g r a d e r s p a n n ) / 1024 ( 2 ^ 10 b i t a r )
306     temp_MSB = temp_all_bits;
307     return temp_MSB;
308 }
309 // F U N C T I O N T O G E T V O L T A G E F R O M A N A L O G I N P U T C H A N N E L
310 inline char get_voltage(char channel){
311     char voltage_MSB = AD_omv(channel);
312     return voltage_MSB;
313 }
314 // F U N C T I O N T O C A L C U L A T E V O L T A G E O N L I N E B E I N G M E A S U R E D
315 inline int calculate_voltage_on_line(char voltage_measured){
316     // G E T C O R R E C T S E N S O R V A L U E F R O M T H E M S B F R O M A D C
317     int voltage_sensor_val = voltage_measured;
318     voltage_sensor_val |= (voltage_measured << 2);
319     voltage_sensor_val -= 491; // - R E F E R E N C E
320
321     if(voltage_sensor_val < 0){
322         flag_for_negative = 1;
323         voltage_sensor_val = abs(voltage_sensor_val);
324     }
325     unsigned int voltage_calculated = (voltage_sensor_val * res);
326     // M U L T I P L I C A T E W I T H R E S O L U T I O N
327     voltage_calculated /= 10;
328     voltage_calculated *= 11;
329     voltage_calculated /= 2;
330     voltage_calculated /= 10;
331     voltage_calculated *= 38;
332     voltage_calculated /= 100;
333
334     /*
335     // C a l c u l a t i o n s f o r a v o i d i n g u s e o f d o u b l e
336     // C A L C U L A T E F O R V O L T A G E D I V I D E R
337     voltage_calculated *= 11;

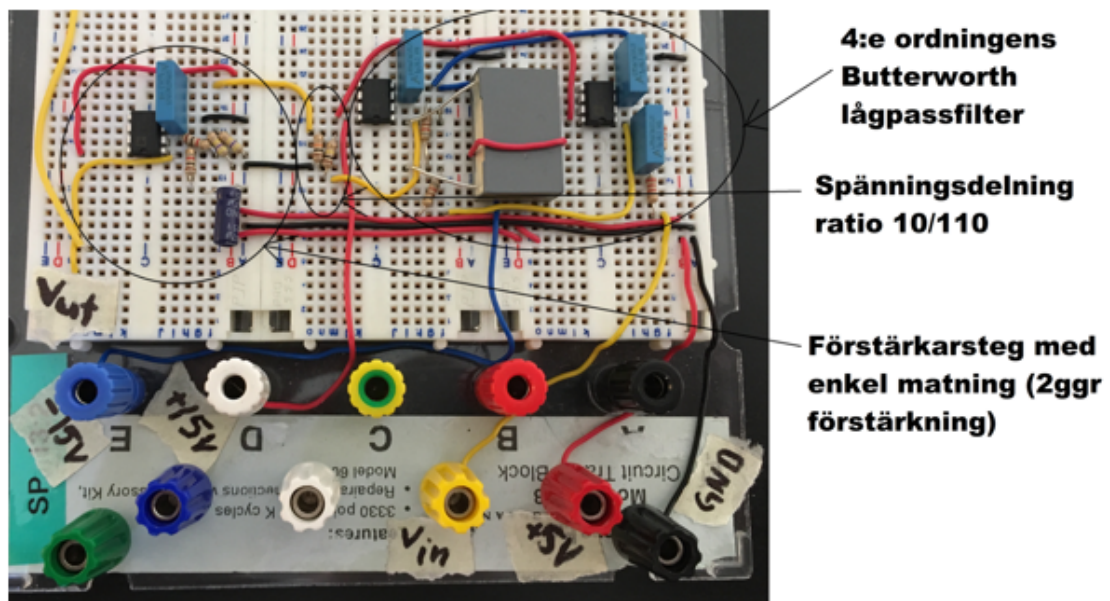
```

```
338      // CALCULATE FOR OP AMP
339      voltage_calculated /= 2;
340      // DIVIDE 10 OUT OF 1000 MULTIPLIED
341      TO ELIMINATE THE RISK OF OVERFLOW
342      voltage_calculated /= 10;
343      // CALCULATE FOR TRANSFORMER
344      voltage_calculated *= 38;
345      // REMOVE REST OF 1000 MULTIPLY FACTOR
346      voltage_calculated /= 100;
347      * */
348      return voltage_calculated;
349  }
350  // FUNCTION FOR CALCULATING RMS
```

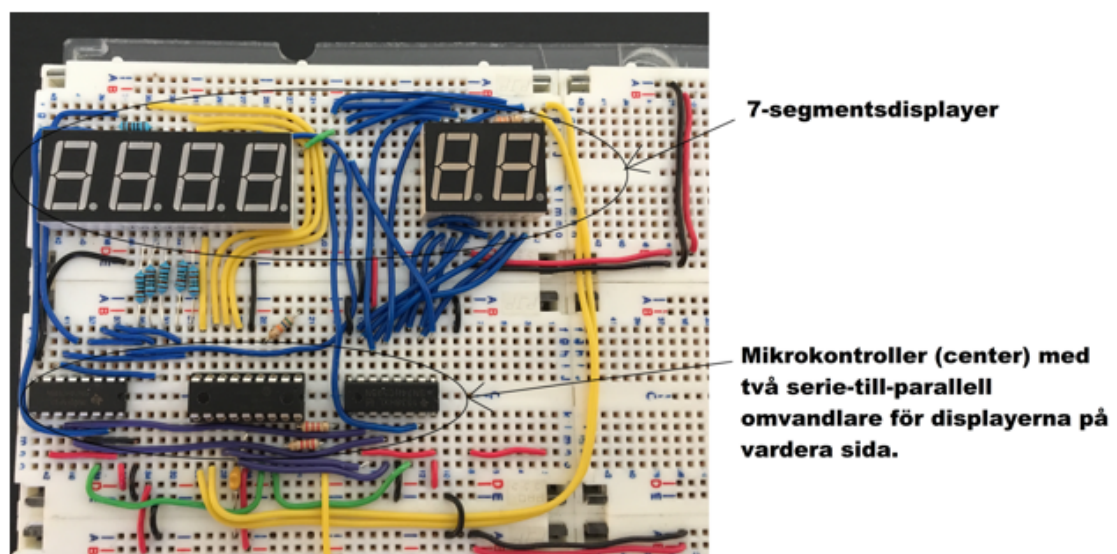
A.2 Bilagor



Figur A.1: Kretskonstruktion som användes vid test av mikrokontroller.



Figur A.2: Kretskonstruktion för att mäta spänning (ej likadan som i figur 5.17).



Figur A.3: Kretskonstruktion för att behandla mätdata (mikrokontroller) samt visa denna på 7-segmentsdisplayer.