



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Elektronikingenjör

EXAMENSARBETE



BlackBox

Integration mellan Solceller och Vindkraftverk

Erik Hillberg

Examensarbete 15Hp

Halmstad 2018-04-13

Abstract

I dagens samhälle har energiproduktionen riktat fokus mot de energikällor som är förnybara på grund av dess förmåga att undvika negativa effekter på miljön. I framtiden hoppas energiproduktionens nuvarande marknad vara helt ersatta med dessa alternativ vilket genererar ett behov av optimering av dessa energikällor och de möjligheter dessa innehar att producera energi. Den situation som vi befinner oss i idag kräver enskilda system för att möjliggöra utvinning av energi från vindkraftverk och solcellssystem. Då detta är ekonomiskt ofördelaktigt är det önskvärt att en lösning till detta problem etableras och på så sätt kan avsevärda kostnader undvikas i situationer där dessa system önskas kombineras vid elproduktion.

I detta projekt har en prototyp framtagits som kombinerar ett solcellssystem med ett vindkraftverk. Det har gjorts tester för att se hur det befintliga solcellssystemet agerar vid anslutning av vindkraftverk och hur det går att anpassa vissa delar i systemet för att uppnå önskad funktionalitet.

I slutet av projektet har det blivit klart att en integration mellan ett befintligt solcellssystem och ett vindkraftverk är möjligt. Systemet består av ett vindkraftverk som samverkar med ytterligare komponenter för att utvinna energi till en låg kostnad. Prototypen har mött de mål och krav som har ställts inom projektet med en möjlighet till vidareutveckling i framtiden.

In society today the production of energy has aimed its focus towards the resources that are renewable as a result of their ability to avoid negative effects of the environment. In the future it is desired to have replaced the current market entirely with these options which generates a demand to optimize these resources and their capabilities to produce energy. The current situation of production require separate systems to generate energy from a solar system and windmills which is a clear economic disadvantage. Therefore it is highly desired to establish a solution to combine these two systems into one where they can generate energy collectively, this would result in the possibility to avoid unnecessary costs when these are desiderated to combine. Through development and executed testing's a prototype has been created to counter this demand which will be presented in this thesis along with the positive effects this will have on the market of energy production concerning the environment as well as financially. The prototype has been created with the possibility to integrate a windmill into a solar system. Tests have been conducted in order to ensure that the project goals have been achieved. Through the execution of this project it has been determined that integration between a solar system and a windmill is feasible without major expenses.

Förklarar av tekniska termer

BlackBox, Benämningen på den del som utvecklas under projektet

Solar String Optimizer, SSO. Del i det befintliga solcellssystemet som normalt används för solceller

Energy Hub, EHUB. Växelriktare i det befintliga solcellssystemet

Swanson's Law. Oskrivna lag om förhållandet mellan kostnad för solceller mot deras produktion.

Fardays lag. Lag om hur spänning och ström uppstår inom ett magnetfält

Ohm. SI-enhet för resistans.

Rounds Per Minute, RPM. Benämning på frekvens av rotation.

Light Emitting Diode, LED. Energisnål ljuskälla.

DC. Likström

AC. Växelström

ACE. Adaptive Current Equalization

1. Innehåll

1.	Introduktion.....	10
1.1	Syfte & mål.....	11
1.2	Motivation.....	11
1.3	Ferroamp.....	11
1.4	Avgränsningar.....	12
1.5	Problemställning.....	13
1.6	Ekonomi.....	13
1.7	Verktyg.....	14
1.8	Problematisering av metod.....	14
1.9	Relaterade Artiklar.....	15
2.	Bakgrund.....	18
3.	Metod.....	20
3.1	Teoretiska studier.....	20
3.2	Utveckling.....	20
3.3	Tester av system.....	21
3.4	Problematisering.....	21
3.5	Etablerade metoder.....	22
3.5.1	Simulering av system.....	22
3.5.2	Tester och producera en prototyp.....	22
3.5.3	Simulering och Produktutveckling.....	22
3.5.4	Val av metod.....	23
4.	Teori.....	24
4.1	Förnyelsebar energi.....	24
4.2	Solcellssystem.....	24
4.3	Vindkraftsystem.....	27
4.4	Liknande Produkter.....	28
4.5	Forskning inom solceller.....	28
5.	Experiment.....	30
5.1	Val av verktyg.....	30
5.1.1	Arduino.....	30
5.1.2	Varvtalsmätning.....	31
5.1.3	SSO & EHUB.....	31

5. 2	Genomförande.....	32
5.2.1	Sammankoppling mellan SSO och Vindkraftverk..	32
5.2.2	Mätvärden	33
5.2.3	Styrning av system.....	35
5.3	Tester av komponenter.....	35
5.3.1	Arduino	36
5.3.2	Optokopplare.....	38
5.3.3	Validering av Prototyp.....	38
5.3.4	Övervarvsskydd	39
5.3.5	Validering av funktionalitet	40
6.	Resultat	42
6.1	Ac/Dc omvandling	44
6.2	Kommunikation med SSO	44
6.3	SSO och EHUB.....	45
6.4	Övervarvsskydd.	45
7.	Diskussion.....	46
7.1	Relaterad forskning och produkter.....	47
8.	Slutsats	48
8.1	Framtida utveckling	49
9.	Referenser	50
10.	Bilagor.....	56
	Bilaga 1 Arduino kod.....	56
	Bilaga 2 Matlab kod.....	58
	Bilaga 3 Kommandon till SSO	59

1. Introduktion

År 2015 slog Sverige produktionsrekord för vindkraftverk med 16,6 TWh, vilket var en ökning med nästan 45% gentemot föregående år[1]

. Trots att detta var en stor ökning var det inte tillräckligt för att uppnå de långsiktiga klimatmål som etablerats. Var invånare producerade cirka elva ton växthusgasutsläpp år 2014 trots att denna siffra borde vara någonstans mellan ett till två ton per år för att det ska vara möjligt att nå de klimatmål som tidigare nämnts. Trots att målen ej blivit avklarade ännu minskas växthusgasutsläppen för var år som passerar men detta sker i en oerhört långsam takt. För att kunna förminska de stora utsläppen som sker i dagsläget är det en stor skala av invånare och företag som vänder sig till förnybara energikällor så som solceller och vindkraft. År 2016 estimerades det att 10 352 solcellsanläggningar fanns etablerade runt om i Sverige, dock är denna teknologi för tillfället mycket kostsam för privatpersoner och därför är det kritiskt att en lösning på detta problem presenteras[2]. Det är vanligt att de företag som erbjuder tjänster så som solenergi eller vindkraft för det mesta enbart inriktar sig på en av dessa kategorier och på så sett blir specialiserade inom det området som valts snarare att erbjuda ett brett utbud där konsumenten kan välja energikällan. Detta bidrar till att klienter som söker efter dessa tjänster vanligen tvingas välja mellan olika system, oavsett om detta beror på företagets utbud eller om det är ekonomiskt. Vindkraft är endast en effektiv energikälla om det finns vind ute och dessa kraftverk är riktade korrekt, däremot är solceller endast användbara då solens strålar når panelerna då moln och mörker inte förhindrar denna process. På grund av dessa komplikationer är det eftersträvansvärt att kunna kombinera dessa två tekniker för att optimera energiförsörjningen till konsumenten och samtidigt kontrollera kostnaderna för denna metod.

1.1 Syfte & mål

Syftet med detta projekt är att skapa en produkt som kan integrera ett vindkraftverk med ett befintligt solcellssystem. Denna produkt kommer eliminera behovet av ett helt nytt system och förenkla användning av förnybar energi för privatpersoner. Även kostnaderna för denna typ av implementation kommer att förminska eftersom detta bidrar till att allt fler har en ekonomisk möjlighet att nyttja denna typ av system, detta kommer i sin tur göra att målgruppen blir större vid eventuell framtida försäljning.

Dessa mål ska uppnås genom detta projekt:

- En prototyp ska skapas som integrerar vindkraft tillsammans med ett befintligt solcellssystem.
- Den prototyp som framställs ska vara ekonomiskt tillgänglig för den genomsnittliga privatpersonen för att öka bredden av målgruppen.

1.2 Motivation

Då det i nuläget finns ett stort antal hushåll som har växelriktare för solkraft men samtidigt vill ha en möjlighet att komplettera dessa genom att kombinera de nuvarande systemen med vindkraft skapar detta en stor efterfråga på en produkt som kan bistå med denna tjänst. Det finns inte någon produkt i dagsläget för att genomföra någon form av integration mellan vindkraftverk och solceller vilket skapar en begränsad marknad inom förnybar energi, dessa energikällor är även mycket påkostade vilket bidrar till en begränsad målgrupp om båda dessa system önskas av konsumenten. Ifall ett billigare alternativ skulle presenteras med en enklare lösning på detta problem skulle detta kunna leda till att allt fler hushåll vänder sig till förnybar energi. Detta skulle inte bara leda till eventuellt reducerade kostnader i elektricitet hos privatpersoner utan samtidigt genererar en mer miljövänlig energiförbrukning.

1.3 Ferroamp

Ferroamp är ett företag med en ambition att förbättra användning av växellikriktare och ACE. Med detta koncept har företaget börjat utveckla system baserade på DC där integration sker mellan solceller och energiförvaring. Företaget har utvecklat ett system som består av en EHUB och ett antal SSO:er vilket optimerar utvinningen från solceller samt energibesparing.

Ferroamp strävar även efter att utveckla ett system som

använder sig av olika faser, det vill säga både växelström och likström.

1.4 Avgränsningar

Detta projekt kommer endast vara kompatibelt med parametrarna från det vindkraftverk som använts under projektets gång vilket innebär att det inte är en generell lösning till problemet som ställts. Det system produkten ska integreras med är från företaget *Ferroamp* och kommer inte kunna implementeras med system från andra företag. Detta innebär att den prototyp som färdigställs i detta projekt kommer att vara begränsad till de produkter som använts under projektets gång och kommer ej att kunna utvecklas eller förändras med hjälp av andra produkter. De energikällor som används i detta projekt är solcellsenergi samt vindenergi vilket innebär att implementation av andra energikällor kommer att exkluderas. Den anordning som prototypen, som framställs under projektets gång, implementeras gentemot kommer även inkludera ett solcellsystem och ett vindkraftssystem där syftet är att integrera de två sistnämnda med varandra. Projektet kommer dock ej beröra dessa två kraftverk och de eventuella modifieringar som sker kring dessa kommer enbart utföras i syfte att framgångsrikt skala ner projektet gällande fysisk storlek.

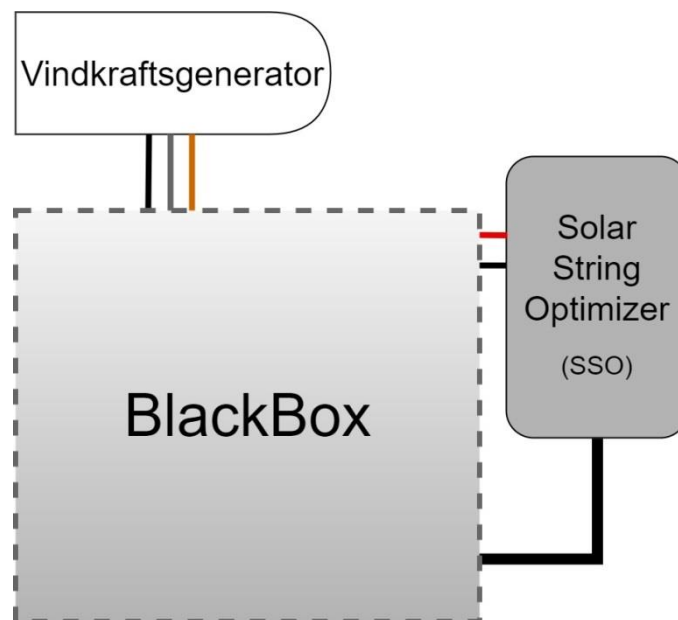


Bild 1.1 Enbart det som ligger inom BlackBox är det inom kommer skapas inom detta projekt.

Sett till detta schema kommer projektet enbart beröra den del benämnd som *Blackbox* och exkludera *Vindkraftsgenerator* samt *Solar String Optimizer*, SSO(se bild 1.1), dock kan, som

tidigare nämnts, modifieringar ske men då endast i syfte av nedskalning, detta kommer alltså inte ha någon påverkan i en situation där denna prototyp framställs i syfte att implementeras till ett system i fullskalig fysisk storlek då dessa modifieringar ej skulle vara nödvändiga att genomföras.

1.5 Problemställning

Då solceller genererar DC och vindkraftverk genererar AC uppstår det problem vid en integration mellan dessa system. För att kunna anpassa de befintliga solcellssystemen behövs följande scenarion ses över:

- AC/DC omvandling.
- Anpassning av SSO
- Övervarvsproblem

Detta för att kunna använda ett solcellssystem som inte är anpassat för scenarion där ett vindkraftverk är källan till energitillverkningen.

1.6 Ekonomi

Ett av de mål som etablerats inför detta projekt är att den prototyp som framställs ska vara ekonomiskt tillgänglig för privatpersoner att införskaffa. Detta innebär att priset för den färdigställda produkten ej ska överskrida rimliga kostnader med åtanke till inköpspriset för solcellssystem samt vindkraftssystem. Dessa inköpspriser varierar och kan kosta allt från tiotusentals kronor till hundratusentals. Sett till dessa kostnader har prototypen framtagits med den budget som presenteras i tabellen nedanför.

Komponent	Antal	Prist/st		Pris total
Relä	2	24		48
Optokopplare	1	15		15
Arduino	1	499		499
Kontraktor	4	399		1596
Resistor 10Mohm	1	2,63		2,63
Tryckknapp	1	5		5
USB2serial	1	115		115

LED diod	2	1,5		3
Diverse Resistorer	4	1		4
Högeffekts Resistorer	6	30		180
			Totalsumma	2467,63

Tabell 1.2 Förväntad kostnad för prototyp framtagen genom projektet.

Den prototyp som förväntas framställas genom detta projekt förväntas kosta under 2500 kronor, detta anses vara ekonomiskt tillgängligt för de privatpersoner och företag som väljer att nyttja förnybar energi i form av vind- och solenergi då dessa system, i många fall, har ett inköpspris som överskrider detta belopp avsevärt.

1.7 Verktyg

För att kunna genomföra detta projekt kommer en mikrokontroll behövas för att kunna styra systemet samt för att utföra kontroll av temperatur för att möjliggöra eventuell justering av varvtalen på systemet. Ett system kommer att användas för att kontrollera spänning, ström, effekt samt frekvens. Även en motor kommer att användas för att simulera vind.

1.8 Problematisering av metod

När ett projekt som arbetar med väldigt höga spänningar och under svåra omständigheter kan det uppstå komplikationer. Ett litet vindkraftverk som är avsett för personligt bruk arbetar normalt sett med spänningar mellan 0 – 500 V samt en effekt på 2kW. Detta är dödligt vid beröring och åtgärder måste införas för att minimera olyckor. Genom att skala ner arbetet till lägre spänning och mindre effekt elimineras en del av de svårigheter som existerar vid arbete med höga värden. Eftersom vindkraftverket är utvecklat för att arbeta under höga effekter kan detta komma att bidra med problematik kring framgångsrik nedskalning av projektet. När man skalar ner projektet blir det säkrare att arbeta med, de värden som erhålls genom denna process är dock oerhört särpräglade gentemot de som hade existerat under normala omständigheter. Många av de val som genomförs under projektet kan komma att bli påtvingade, orealistiska och alltför komplicerade att utföra i större skala, detta tack vare den nedskalning som är oundviklig under detta projekt.

1.9 Relaterade Artiklar

Samtidigt som utvecklingen kring energiproduktionen går framåt blir de förnybara energikällorna allt mer önskvärda att nyttja, vindkraft är en av de mest framgångsrika energikällor som vi i dagsläget satsar på i Sverige. Detta är något som Svensson diskuterar i *Hur kan kommunernas incitament till att investera i förnyelsebar energi öka?: en studie av vindkraften*. Detta arbete fokuserar på de mål som förväntas uppnås i vissa delar av Sverige där fokuset ligger kring en förökning av energiproduktion med hjälp av vindkraft. Eftersom en av de främsta anledningarna till att Sverige försöker nyttja de förnybara energikällor som finns till förfogande är på grund av miljöns påverkan av energiproduktionen är det viktigt att sätta detta i ett miljöperspektiv för att sedan kunna analysera den effekt som dessa har[3]. I *Klimatpolitikens utmaningar under mandatperioden* presenterar Samakovlis detta ämne och visar även resultaten med sänkta koldioxidutsläpp i Sverige som minskat i samband med att energikällor som inte påverkar miljön på samma sätt som tidigare implementerats. Tack vare dessa tillvägagångssätt hade Sverige vid år 2011 näst lägst utsläpp per BNP-enhet, dock finns det även nackdelar med användningen av förnybara energikällor och även dessa kan påverka miljön negativt[4]. Detta är en problematik som Båmstedt et al. presenterar i *Effekter av undervattensljud från havsbaserade vindkraftverk på fisk från Bottniska viken*. I detta arbete påvisar Båmstedt et al. hur tre vanliga fiskarter påverkas kraftigt av de vindkraftverk som implementerats i deras levnadsmiljö, detta på grund av undervattensljud som bidragit till bland annat beteendeförändringar, förändrat födointag med mera[5]. Detta påvisar vikten av kritiskt tänkande även gällande de bättre metoder för att införskaffa energi, trots att miljön i stort kan påverkas positivt av alternativa metoder kan vissa delar fortfarande utsättas för grava konsekvenser på grund av människans energiproduktion. Detta leder till att andra förnybara energikällor kan komma att bli mer attraktiva att nyttja, exempelvis kan solceller nyttjas utan tydliga konsekvenser för miljön i dagsläget och detta är något som Andersson och Larsson talar kring i *Investering i Solceller: - En blygsam utveckling i Sverige*. De menar på att Sverige, till skillnad från Tyskland, inte investerar i en anmärkningsvärd budget på solcellsenergi då Sverige vid år 2013 enbart uppnådde 5% av Tysklands totala elproduktion. De anser inte heller att Sverige har några tydliga mål kring ytterligare implementation av solceller i framtiden, dock förväntar de en positiv utveckling av solceller i Sverige i framtiden[6]. I arbetet *Energi analysering och optimering av kyl- och värmesystem*

presenterar Anton Bergman en process för att optimera ett kyl- och värmesystem för att minska energiförbrukningen[7]. Genom att tillämpa seriekompensation över en stor utsträckning av överföringsledning ändras transmissionslinjernas impedans vilket kan orsaka att distansskydd för överföringsledningarna stöter på diskrimineringsproblem. Denna problematik går att kringgå genom att implementera utlösningsskarakteristik för fyrssidig distansreläer, detta är något som Syed Arif Ullah diskuterar i sitt examensarbete på avancerad nivå *The impacts of series compensated EHV lines on distance protection, and a proposed new mitigation solution*[8]. För att SAAB ska kunna testa sin utrustning och komponenter behövs ett eget testsystem för varje projekt vilket involverar en signalgenerator som klarar av att generera en pulsmodulerad signal. Detta blir inte lönsamt då kostnaden för ett sådant testsystem är stor. En lösning till denna problematik är att eliminera onödiga funktioner och på så sätt reducera kostnaden, detta presenterar Tommy Andersson och Gazwan Algilany i deras examensarbete *Konstruktion Signalgenerator*[9].

2. Bakgrund

”För att skapa en hållbar framtid för oss och vår planet måste vi ställa om till 100 procent förnybar energi och helt sluta använda fossila bränslen, som kol, olja och gas. Det är det enda sättet.”, dessa ord är publicerade under rubriken ”Vår enda framtid” på Världsnaturfondens hemsida[8].

Det är allmänt känt att många av de energikällor som nyttjats genom historien har haft en stor påverkan på miljön och de konsekvenser som följt efter detta är något som fortfarande visar stora avtryck runt om i världen. Allt med att dessa problem har uppdragats har efterfrågan på förnybara energikällor ökat, inom EU har ett gemensamt mål framtagits som innebär att 20% av EU:s energikonsumtion år 2020 ska komma från förnybara energikällor samt att andelen biodrivmedel ska minska till 10%. Detta påvisar tydligt att klimathotet som delvis har skapats på grund av våra energikällor tas på allvar, detta bidrar även till efterfrågan för mer ekonomiska alternativ för förnybara energikällor ökar avsevärt. År 2015 härstammade 54% av den totala energianvändningen i Sverige från förnybara energikällor[9].

Förnybara energikällor har nyttjats i över 3000 år, vid den tidsperioden var energiproduktionen representerad av vindkraft som utvanns med hjälp av väderkvarnar för att bland annat driva mjölkvarnar. Denna typ av energikälla utvecklades sedan på sent 1800-tal, av Poul la Cour, för att producera elektricitet för att sedan på 1970-talet påbörja utvecklingen av den moderna vindkraftteknik som vi använder idag. För att ge en tydlig bild av hur dessa vindkraftverk har utvecklats genom tiden kan man ställa upp det enligt följande:

Årtal	Diameter(m)	Effekt(kW)
1891	23	18
1989	30	300
2014	106	2700-8000

Framtida Förhoppningarna kring produktionen av energi med hjälp av vindkraftverk är att uppnå mer än den dubbla effekt som framställs i dagsläget, detta innebär en ökning på mer än tusen gånger gentemot la Cours ursprungliga vindkraftverk[10]. Utöver vindkraft så finns det ett flertal andra förnybara energikällor, bland annat användningen av solceller. När man ser till solcellernas utveckling och dess användningsområde i dagens samhälle så är det inte ovanligt att se solcellspaneler monterade på olika byggnaders tak. Denna energiproduktion utvecklades till en början för att förses satelliter med ström under 1950-talet för att sedan under 60- och 70-talet bli implementerat på jordens yta. Ur ett svenskt historiskt perspektiv användes denna energikälla till en början under 70-talet för att förses fyrar och nödtelefoner med ström i norra delar av landet men i dagsläget förses samtliga fyrar med hjälp av

denna metod. Normalt sett appliceras dessa solceller på tak av byggnader för att dessa delvis ska kunna tillfredsställa sina egna energibehov. Denna metod upptäcktes så tidigt som 1839 av en fransk fysiker vid namn Edmond Becquerel men det skulle dröja över 100 år innan den första fungerande solcellen skapades av Bell Laboratories år 1954[11]. I dagsläget går det att införskaffa hybridsystem som inhämtar elektricitet från både vindkraft och solceller, dock är dessa system inte integrerade med varandra. Konsekvensen av detta är att kostnaderna för att bedriva energiproduktion genom båda dessa metoder kan vara oerhört kostsam för konsumenten vid inköp. Detta bidrar till att ett system som kan integrera dessa två metoder hade varit önskvärt och ett steg i rätt riktigt för att nyttja de förnybara energikällor som finns tillgängliga till största möjliga grad, både från ett miljöperspektiv så väl som ett ekonomiskt perspektiv.

3. Metod

Detta projekt kommer att genomföras genom tre olika steg; efterforskning för att få en större kunskap kring de metoder och system som används för att utföra projektet, utveckling av en prototyp samt utförande av tester för att försäkra att den prototyp som färdigställt uppnår de krav som fastställts. Utförandet av detta projekt kommer ske i tre etapper; efterforskning för att erhålla en kunskapsgrund lämplig för genomförandet, utveckling för att etablera den prototyp som är önskvärd för projektet samt validering av denna prototyps funktionalitet genom tester. Dessa tre steg är önskvärda i ett projekt av denna karaktär och har visat sig vara framgångsrik i andra utvecklingsprojekt[12][13].

Detta projekt kommer följa projektmodellen LIPs, lätt interaktiv projektstyrning, som inkluderar de tidigare nämnda tillvägagångssätt som är önskvärda i detta projekt[14].

3.1 Teoretiska studier

De teoretiska studierna kommer användas som ett medel att hitta information kring individuella delar av projektet då någon större sammanfattning angående samtliga delsystem inte finns till förfogande. Olika delar av projektet kommer att bemötas genom olika tillvägagångssätt då vissa delar kräver en mer fördjupad teknisk förståelse, vid dessa moment kräver det att efterforskning genomförs noggrant. De delar som är mer grundläggande kommer vissa professorer vid Högskolan i Halmstad finnas tillgängliga och kunna bistå mer kunskap för att lösa eventuella problem. Utöver detta kommer även de databaser som finns tillgängliga genom Högskolebiblioteket att nyttjas så som exempelvis DiVA.

3.2 Utveckling

Produkten kommer utvecklas i en sådan miljö att enbart en prototyp kommer att kunna skapas under de förhållanden som finns till förfogande. I denna miljö är det enbart möjligt att producera en mindre skala av ett verkligt scenario, vilket kommer leda till att många delar av projektet kommer att behövas skalas ner på grund av begränsad tillgång men även till följd av säkerhetsskäl. De nedskärningar som utförs kommer ej begränsa funktionaliteten hos produkten utan kommer enbart skala ner vissa komponenter till en mindre skala för enklare hantering av dessa. Prototypen kommer kunna simulera

verkliga scenarion och arbeta under förhållanden som kan anses vara av verklig karaktär. Detta är kritiskt för att kunna utveckla en produkt som kan vidare kan implementeras med det befintliga solcellssystemet.

3.3 Tester av system

Under projektets gång kommer kontinuerliga tester utföras på var enskild komponent för att se att dessa uppfyller önskvärd funktionalitet. Då testerna kommer genomföras i en miljö där man enkelt kan kontrollera viktiga parametrar, såsom spänning och RPM, förväntas eventuella fel och bristfälligheter upptäckas tidigt i projektet och därav minimerar risken att större komplikationer uppstår i projektets slutskede. Dessa tester kommer även fungera som en form av validering för att garantera att de mål som etablerats inför detta projekt fullbordats gällande den färdigställda prototypen.

3.4 Problematisering

De komponenter som utgör en stor del i projektet är redan fastställda då det är dessa som utgör det befintliga solcellssystemet eller är de delar som gavs av projektbeställaren. Detta innebär att det finns en viss begränsning vid utveckling av den prototyp som ska utvecklas. Detta kan bidra till att eventuell problematik som normalt sett hade kunnat lösas genom olika metoder och med andra komponenter som i nuläget ej går att reglera. Detta kan bidra till att felsökning och problemlösning kan vara tidskrävande och metoden kan behöva justeras under projektets gång. Eftersom ett av målen med detta projekt är att uppnå en ekonomisk kostnad för systemet som är tillräckligt låg för att en privatperson skulle kunna investera i detta innebär det att de komponenter som används måste vara inom en viss budget. Detta kan vara ett problem eftersom dessa redan är begränsade på grund av att de delar som kommer att användas till viss del redan är förutbestämda. Detta kan bidra till att det kräver en hel del resurser i tid för att undvika ekonomiska resurser och i värsta fall kan detta även bidra till att projektet ej går att genomföra på grund av avsaknaden av komponenter som uppfyller dessa krav.

3.5 Etablerade metoder

För att utföra detta projekt finns det olika metoder som går att implementera. Nedan följer en redovisning av vilka metoder som finns till förfogande att implementeras i detta projekt.

3.5.1 Simulering av system

För att utföra detta projekt kan en simulation på ett vindkraftverk skapas med diverse komponenter och simuleringsprogram för att ge solcellssystem en illusion av att ett vindkraftverk är påkopplat och att reglering av detta är nödvändigt. Detta är något som Syed Arif Ullah gör i sitt arbete där han simulerar en skyddsalgoritm i programmet Matlab, detta eliminerar behovet av fysiska komponenter[8].

3.5.2 Tester och producera en prototyp

Genom att först göra undersökningar på hårdvara och anteckna mätvärden kan en prototyp skapas utifrån de parametrarna testerna ger. Genom att koppla SSO:n mot ett vindkraftverk och simulera en vind med hjälp av en motor monterad på en bänk kan tester utföras och karakteristiken på vindkraftverket kan etableras och val av komponenter kan ske. Detta är en liknande process som Anton Bergman gör i sitt arbete om optimering av kyl- och värmesystem. I detta arbete har han utför tester på det befintliga systemet och genom att föra anteckningar under dessa kunde han forma en lösning för att eliminera de fel som uppstod under testfasen[7].

3.5.3 Simulering och Produktutveckling

Genom att ha en teori över hur systemet ska utvecklas kan en simulering utföras, detta gör att utvecklingen av en produkt kan optimeras då fel och brister kan upptäckas i ett tidigt skede av projektets gång. Genom att simulera ett vindkraftverk kan parametrar och SSO:ns kompatibilitet formars. Även grunden för en prototyp kan etableras genom denna metod där en vind simuleras med hjälp av en motor, utöver detta kan även en lämplig testmiljö utformas. I ett samarbete med SAAB utvecklar Tommy Andersson och Gazwan Algilany en prototyp utifrån de simulationer de utförde på mjukvaran hos de befintliga systemen[9].

3.5.4 Val av metod

Den metod som valdes ut för detta projekt är den som presenteras i 3.5.2, *Tester och producera en prototyp*, med anledning att denna metod upplevs stämma bäst överens med de tankar som funnits kring hur detta projekt ska genomföras. De tester som utförs i denna metod liknar många av de förberedande tester som utförts i detta projekt och därav anses denna metod rimlig då den bevisligen uppnår de krav på metod som önskas för att uppnå systemets funktionalitet.

4. Teori

4.1 Förnyelsebar energi

Förnyelsebar energi är den energi som är utvunnen från källor som hela tiden förnyas och kan nyttjas flera gånger. De vanligaste formerna av förnybar energi är vattenkraft, vindkraft, solenergi samt bioenergi. Den mest implementerade typen av dessa energier är, i Sverige, vattenkraft som under år 2016 representerade 40,7% av Sveriges totala elproduktion[15]. Under de senaste åren i Sverige har solcellspaneler blivit mer populärt i åtanke till *Swansons lag*, som diskuterar kring det faktum att kostnaden för inköp av solcellspaneler faller med 20% när en fördubbling av produktion genomförs[16]. Produktionen och utvecklingen av solceller ökar världen över vilket bidrar till en förminskad kostnad vid inköp som i sin tur leder till att marknaden växer. Målet i Sverige är att ha 100% förnyelsebar energi från vindkraft, vattenkraft och solenergi, där de stora delarna fokuseras kring vind- och solenergi med vattenkraft som komplettering av dessa två källor när de två förstnämnda ej kan uppnå önskvärd energiproduktion för att bemöta den energiförbrukning som sker[17].

4.2 Solcellssystem

Solcellssystem är ett system som förlitar sig på solljus som energikälla, detta innebär att detta system ej kan producera någon form av energi utan denna källa. De mest vanliga solcellsmodulerna, som användes 2015, hade en verkningsgrad på cirka 15%[18]. Med en förlust på ungefär 85% per modul behöver flertalet moduler seriekopplas för att öka energin där den går att utvinna. Den främsta nackdelen med att seriekoppla dessa moduler är att hela energiproduktionen av detta system skulle förminskas om en av dessa moduler saknar direkt kontakt med solljus. Detta bidrar till att det är oerhört viktigt att planera positioneringen av dessa system för att undvika ineffektiv energiproduktion och på så sätt minimera eventuella energiförluster. Användningen av solceller som energikälla bidrar till ökad anpassning då dessa solceller kan utvinna energi under den period dessa är i kontakt med direkt solljus, vid de tidpunkter när detta ej är möjligt kan energiförbrukningen istället förses av en energileverantör. Detta leder till att den som nyttjar solceller kan utvinna energi på egen bedrift genom dessa solceller med aldrig riskerar att stå utan energiförsörjning, på så sätt kan energiförbrukaren minska

sina kostnader kring energiförbrukning. Utöver detta kan även den som utvinner energi genom solceller mata ut det överskott som genereras från solcellerna till nätet där denna energi säljs och på så sätt bidrar även detta system till intäkter för innehavaren.

En solcell är uppbyggd av det halvledande grundämnet *Kisel* vars ledningsförmåga är att den kan manipuleras genom en process kallad *dopning*[19]. Genom att dopa en kiselkristall ändrar man den anatomiska strukturen och nya egenskaper bildas inom kristallen. De vanligaste sorters dopning av kiselkristaller är *n-dopning* och *p-dopning*. När *n-dopning* sker, som representeras av nedre delen av bild 4.1, byts en kiselatom ut mot en annan atom, vilket i de flesta fall är en fosforatom, som har fem elektroner i sitt yttre skal till skillnad från en kiselatom som enbart har fyra. När detta sker ligger en elektron och flyter runt inom kristallen då de inte finns någon ledig plats i någon annan atom. Denna process ger inte upphov till någon elektricitet i sig själv utan måste kombineras med någon annan form av dopning, vanligtvis *p-dopning* som är motsatsen till *n-dopning*. Under *p-dopning*, som representeras av övre delen av bild 4.1, adderas inte en atom med fem valenselektroner, så som under *n-dopning*, istället tillsätts en atom som innehar tre elektroner i sitt yttre skal vilket innebär en skillnad på minus en elektron i jämförelse med en kiselatom. Detta skapar ett hål inom kiselkristallen och den försöker fylla detta hål genom att ta elektroner från en närliggande atom som i sin tur upprepar denna process från en annan atom. Genom att föra ihop en p-dopad kiselkristall med en n-dopad bildas en pn-övergång och elektricitet kan börja genereras. P-sidan som har ett underskott på elektroner uppfattas som en positiv sida samtidigt som n-sidan har ett överskott av elektroner och uppfattas då som negativ. Detta skapar en energiskillnad mellan dessa två lager, som man kan se illustrerat som E_g i bild 4.1, och skapar vad man kallar bandgap. Bandgap är en storhet för halvledare som anger den minimala mängden energi som behövs för att föra en elektron från det lager med mest potential till den med minst[20]. Det är på grund av bandgapet som solceller har dålig verkningsgrad. Solljusets våglängd är till största del bredare än de hos solcellen och det mest effektiva förhållandet för en solcell är när fotonerna har samma, eller lite mer, våglängd än det bandgapet hos materialet solcellen är uppbyggd har. Stora förluster sker även när fotoner inte har tillräckligt stor våglängd för att möta bandgapet. För en solcell gjord på kisel ligger den optimala våglängden på $<1100\text{nm}$ [21]. Solens våglängd ligger mellan $300\text{-}4000\text{nm}$ vilket leder till att majoriteten av solens energi försvinner inom solcellen i andra energiformer, i exempelvis värmeenergi[21]. När solljuset börjar lysa med rätt våglängd på n-delen bryts elektroner lösa vilket leder till att hål uppstår, denna process

sker även på p-delen. Skulle p-delen vara tillräckligt nära n-delen så kommer detta leda till att de fria elektroner, som tidigare brutit sig lösa, söka sig till n-delen då denna betraktas som negativ. I samma procedur vill de hål som uppstått på n-delen färdas till p-delen då denna betraktas som positiv. Genom att koppla in en extern förbindelse mellan dessa två delar flyter en ström av elektroner genom och elektricitet skapas.

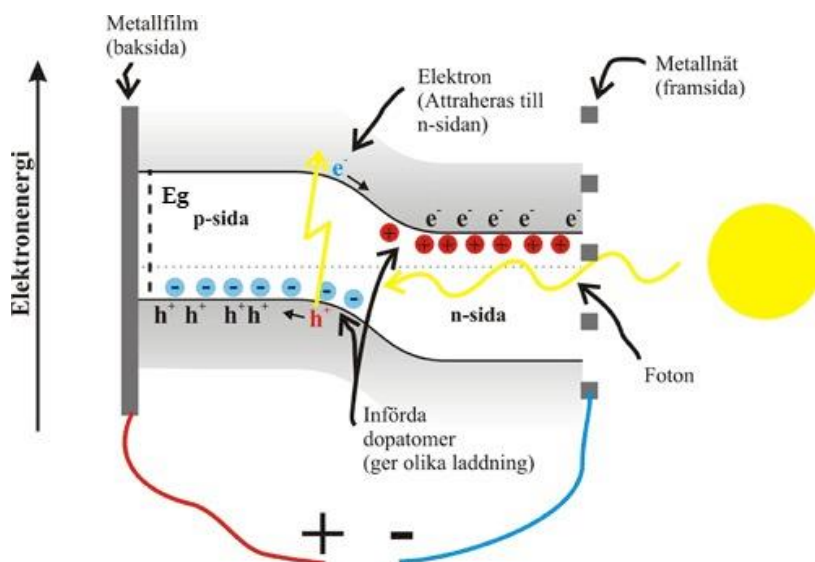


Bild 4.1 Illustration över funktionen hos en solcellsmodul[22].

4.3 Vindkraftsystem

Ett vindkraftverk är ett system som förlitar sig på vind för att producera energi. När vinden ligger på tillräckligt hög hastighet, runt 4 m/s, börjar de stora bladen, som finns positionerade på toppen av vindkraftverket rotera[23]. Dessa blad är kopplade till en generator som matar ut elektricitet till nätet. I denna generator finns det spolar positionerade som är lindade med koppartråd. Dessa spolar roterar i generatoren, till följd av vind, och är omringade av magneter som har olika polariteten, se bild 4.2. När spolarna är slutna och utsätts för en kraft inom ett magnetiskt fält uppstår det ström enligt *Faradays lag*[24]. När denna kraft är tillräckligt hög skapas en elektromotorisk kraft vilket får elektronerna i spoltråden att hoppa mellan närliggande atomer och på så sätt generera en ström.

En högre kraft i vind genererar mer energi som är möjlig att utvinna från vindkraftverket, dock kan endast 40 - 45% av vindkraften omvandlas till elektricitet på grund av förluster i vridmoment samt i generatoren där det finns inre förluster så som värme.

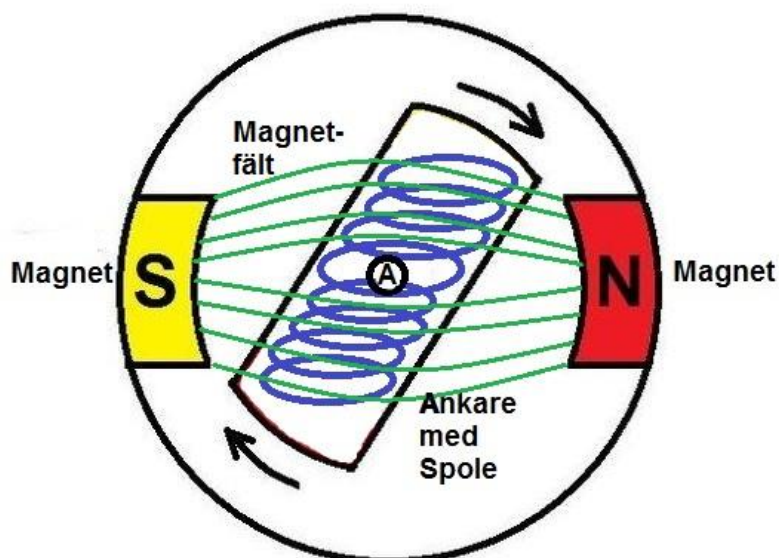


Bild 4.2 Illustration på uppbyggnad av en generator[25].

4.4 Liknande Produkter

Det finns liknande produkter ute på marknaden idag som erbjuder system som är likartade till det system som har skapats genom detta projekt, dock erbjuder inte dessa system samma applikation. Ett hybridssystem från *Windforce* erbjuder ett paket som innefattar solceller, vindkraftverk och en controller som sköter strömmen från de två komponenterna[26].

Detta system erbjuder endast det som ingår i paketet med en väldigt liten möjlighet till utbyggnad, detta är även låst till de komponenter som kommer med paketet. *Nordhenergy* är ett system som endast erbjuder 24/230 volt och används oftast till fritidshus och anläggningar som förbrukar mindre energi än ett vanligt hushåll[27]. De vanligaste systemen som erbjuder vindkraftverk till privatbruk erbjuder sällan möjligheten att koppla systemet till ett nät utan istället till lokal värme eller batterier. För att detta system ska vara kopplat till nätet krävs en växelriktare vilket kräver en kostsam investering.

Det finns väldigt få produkter ute på marknaden som erbjuder de möjligheter som detta projekt gör så som exempelvis möjlighet till påbyggnad.

4.5 Forskning inom solceller

Förnyelsebar energi är ett koncept som har växt mycket under de senaste åren och flera länder har börjat förstå att fossilbränsle inte är ett hållbart alternativ i längden samt att implementering av 100% förnyelsebar energi är den enda lösningen på det växande utsläppet av växthusgas.

Inom solenergi håller forskare på i dagsläget med att försöka öka effekten hos solcellspaneler då solen levererar tillräckligt med energi varje timme till jorden för att täcka den totala energiförbrukningen av hela mänskligheten på ett helt år[28]. Som det nämns tidigare i rapporten hade en solcell 2015 ungefär 15% verkningsgrad vilket är en stor förlust på den energi som faktiskt kommer till jorden. Av det svenska folket är det 81% som föredrar en ökning på satsning av solcellsutveckling[30]. Det finns olika metoder för att bemöta den problematik som finns i dagsläget. Forskare vid Stanford University i USA arbetar med att kombinera olika former av solceller och på så sätt få en högre verkningsgrad[29]. De har lyckats kombinera en perovskitsolcell med en lågkvalitativ kiselcell som har verkningsgrader på 12,7% och 11,4% och

har genom denna integration lyckats få ut 17% vilket är en drastisk effektivitetshöjning.

Det finns även den så kallade *andra generationens* solceller som använder sig av tunnfilmssolceller[30]. Dessa solceller offerar lite av sin verkningsgrad för att kunna produceras till en lägre kostnad samt simplificera produktionsprocessen. Genom en billigare tillverkning kan fler solceller produceras samt försäljningen öka vilket leder till att mer resurser kan användas till vidareutveckling.

5. Experiment

Målen med att utföra experiment är att få en djupare förståelse för karaktärstiken på de vindkraftverk som används i projektet. Dessa experiment kommer att leda till val av komponenter och validering på att målen uppnås.

5.1 Val av verktyg

Följande underkapitel beskriver de verktyg som kommer att användas under utvecklingen samt dess funktioner och användningsområden under detta projekt.

5.1.1 Arduino

För att sköta kommunikationen mellan SSO:n och Blackboxen valdes en Arduino. Arduino valdes för att det är en mikrokontroller som har många funktioner och en stor flexibilitet, det finns en stor marknad med komponenter som kan komplettera systemet vid behov. Arduino klarar av att kommunicera seriellt med andra komponenter och med olika baudrates vilket är ett krav för detta projekt då all kommunikation kommer ske seriellt. Det är även önskvärt att lätt kunna komma åt Arduinon, när den väl är implementerad i den färdiga produkten, för att kunna göra tester eller uppdateringar av programvaran vilket lätt sker via en USB-kabel kopplad till ett datorsystem.

Det finns liknande produkter ute på marknaden, så som Raspberry Pi, som erbjuder liknande funktioner som en Arduino men inte samma flexibilitet. En Raspberry Pi behöver en skärm med mus och tangentbord för att kunna få upp ett grafiskt användarsnitt vilket hade skapat svårigheter med idén om undersökning av en färdig produkt.

Genom att ha en Arduino mellan komponenterna och SSO:n kan information från vindkraftverket lätt avläsas och kommandon kan skickas till SSO:n som sätter parametrarna på den ström systemet ska leverera.

5.1.2 Varvtalsmätning

Då det vindkraftverk som används i detta projekt inte har någon pålitlig märkdata blir det svårt att kunna få en pålitlig avläsning av frekvensen. Detta skapar ett problem när vindkraftverket behöver regleras. För att kunna reglera ett vindkraftverk behöver hastigheten vara en känd faktor och den måste kunna avläsas med jämna mellanrum utifall reglering behövs ske.

För att undvika detta problem har en optokopplare kopplats mellan två av faserna från vindkraftverket. Denna optokopplare kommer läsa av varvtalet på vindkraftverket och leverera en puls när spänningen som generas når ett visst värde. Denna puls kommer Arduinon räkna och avgöra om frekvensen nått ett värde där den behöver regleras. Detta gör avläsningen av frekvensen mer pålitlig men inte 100%. Då detta enbart är en prototyp behöver den inte kunna beräkna frekvensen med en sådan noggrannhet att det inte får skilja på några procent utan enbart kunna visa att en ändring av frekvensen har skett. Detta gör optokopplare till ett bra tillägg i projektet då det är en billig komponent som klarar att läsa av frekvensen med tillräcklig noggrannhet.

5.1.3 SSO & EHUB

Det befintliga solcellssystemet som projektet använder består av en SSO, *Solar String Optimizer*, och en EHUB, *Energy Hub*, som fungerar som en växelriktare. SSO:n är den del av systemet som tar emot energi samt där reglering av ström sker, denna komponent används normalt sett för att reglera solceller till privata hem. Den komponent arbetar med likspänning och är därför inte möjlig att använda tillsammans med ett vindkraftverk som saknar möjlighet till reglering. EHUB är en växelriktare som övervakar den energi varje SSO tillför till systemet, samt övervakar energiförbrukningen i ett hushåll. Med hjälp av den prototyp som framställs genom detta projekt kommer dessa två komponenter, som normalt sett arbetar med solceller, även kunna brukas inom vindkraftverk.

5.2 Genomförande

Under detta projekt har ett flertal moment genomförts för att uppnå önskvärt resultat;

1. *Sammankoppling mellan SSO och vindkraftverk*- I syfte att se hur systemet agerar utan vidare modifikation.
2. *Mätvärden* - För att erhålla data kring de system som används.
3. *Styrning av system* - Styrning av systemet måste etableras för att kunna kontrollera systemets komponenter och dess funktioner .
4. *Tester av komponenter* - Dessa utförs i syfte för att validera funktionaliteten av systemet.

Samtliga delar har varit av ytterst vikt att avklara med hög precision för att generera en funktionell produkt. Nedan följer var moment med ingående instruktion kring hur dessa utförts och projektets mål uppnåts.

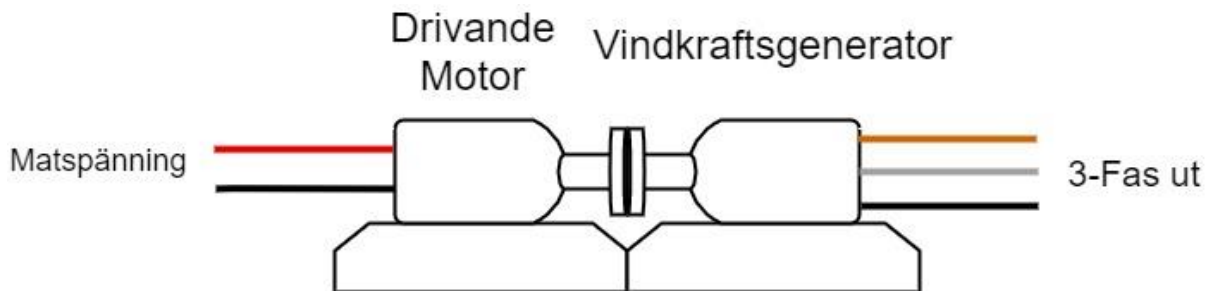
5.2.1 Sammankoppling mellan SSO och Vindkraftverk

För att påbörja projektet var en sammankoppling mellan SSO:n och vindkraftverket nödvändigt för att se hur SSO:n agerade utan någon form av reglering och optimering. Från dessa tester kunde även en grov uppskattning bildas om hur övervarvsskydd skulle hanteras. För att testa detta kopplades SSO:n mot vindkraftverket. Men för att kunna koppla samman dessa två delar behövdes problemet med Ac/Dc åtgärdas. Det fanns olika lösningar på hur problemet kunde bemötas men då det redan fanns en Ac/Dc-omvandlare till förfogande i början av projektet gjordes tester med denne först. De första testerna visade att SSO:n klarade att hantera spänningen men kunde dock inte avgöra storleken. Ac/Dc-omvandlaren gör signalen likriktad men det återstod fortfarande lite rippel. För att eliminera så mycket rippel som möjligt och göra signalen så likriktad som möjligt gjordes tester med en kondensator som kopplades in mellan den positiva och negativa Dc-sidan. Detta gjorde signalen klarare och SSO:n klarade att avläsa spänningen med bättre noggrannhet.

5.2.2 Mätvärden

Då det fanns ett flertal olika metoder tillgängliga för att inhämta mätvärden till detta projekt var det dock oklart vilket som var bäst lämpat. För att utesluta mindre effektiva metoder utfördes ett flertal tester för att skapa parametrar att grunda potentiella tillvägagångssätt på.

För att få värden från vindkraftverket har detta kopplats till en reglerbar motor där hastighet är enkelt att övervaka[se bild 5.1]. Med hjälp av denna anordning kan konsekventa värden från



vindkraftverket etableras och komponenter kan undersökas.

Bild 5.1 Denna bild illustrerar hur vindkraftverket är kopplad mot den drivande motorn.

För att undersöka vilken mängd kraft den drivande motorn i vindkraftverket klarar av att generera seriekopplades resistorer som sedan anslöts till kraftverket[se bild 5.2]. Dessa resistorer är belastningsresistorer som klarar av större strömmar under längre perioder och resistorer av denna karaktär var nödvändiga att nyttja under projektet för att för att magnituden av strömmen var okänd. I en situation där vanliga resistorer implementera kan säkerheten äventyras då dessa kan komma att bli så pass negativt påverkade av den häftiga strömmen att dessa totalt demoleras.

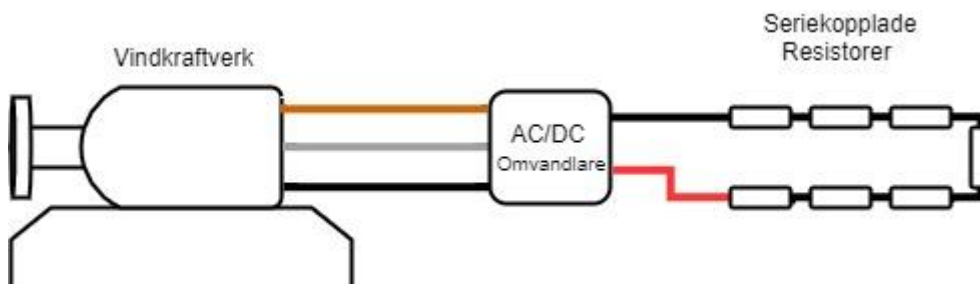


Bild 5.2: Visar hur resistorer har seriekopplats för att kunna variera motståndet.

Implementation av dessa resistorer var nödvändig då den drivande motorn ej får överskrida 12A på, då detta kan leda till att skador uppstår på motorn eller omgivningen. Följande mätvärden kunde erhållas genom denna metod:

Motstånd	20Ohm	Resistansen över varje enskild fas	Motstånd	1.0kOhm	Resistansen över alla tre faser
V AC	5-6	Spänningen över 1 fas	V AC	10.5	Spänningen över 1 fas
RPM	21	Rounds Per Minute	V DC	244	Huvudspänning
Ia	9.3	Strömmen på Motorn	RPM	163	Rounds Per Minute
If	00.11	Magnet strömmen	Ia	4.2	Strömmen på Motorns Ankarsida
Afas	0.4	Strömmen över 1 fas	If	0.1	Magnet strömmen
Motstånd	390Ohm	Resistansen över alla tre faser	Motstånd	4.4kOhm	Resistansen över alla tre faser
V AC	6.8	Spänningen över 1 fas	V AC	14	Spänningen över 1 fas
V DC	165	Huvudspänning	V DC	305	Huvudspänning
RPM	93	Rounds Per Minute	RPM	180	Rounds Per Minute
Ia	6.4	Strömmen på Motorns Ankarsida	Ia	2.1	Strömmen på Motorns Ankarsida
If	0.1	Magnet strömmen	If	0.1	Magnet strömmen
Motstånd	280Ohm	Resistansen över alla tre faser			
V AC	5.6	Spänningen över 1 fas			
V DC	124	Huvudspänning			
RPM	78	Rounds Per Minute			
Ia	7.1	Strömmen på Motorns Ankarsida			
If	0.1	Magnet strömmen			

Tabell 5.1: Visar mätvärden vid olika resistanser.

Syftet med insamling av mätvärdena var att undersöka under vilka förhållanden den drivande motorn, i vindkraftverket, kan

arbeta samtidigt som säkerheten bibehålls. Utifrån dessa mätvärden kunde även beslut tas gällande vilka komponenter som var nödvändiga till projektet. De slutsatser som går att generera utifrån tabellen är förhållandet mellan resistans över faserna och varvtalet som representeras av RPM. Relationen mellan ökad spänning och varvtal skapar en förståelse över hur systemet kan bromsas vid eventuellt nödstopp.

5.2.3 Styrning av system

Då samverkan mellan SSO:n och vindkraftverket etablerats återstod implementation av Arduino i systemet. Denna del kommer att administrera kommunikation mellan vindkraftverket och SSO:n, detta genom att övervaka värden från vindkraftverket och genom besluttande gällande vilka värden SSO:n förväntas införa. För att SSO:n ska kunna hantera vindkraftverket är en viss modifikation nödvändig på SSO:n. Detta görs genom en sträng av kommandon[se bilaga3], som under föregående delar har applicerats med en dator manuellt, som stänger av de delar hos SSO:n som vill reglera solceller. Istället för att reglera systemet med hjälp av SSO:n, som den gör i ett solcellssystem, använder det nya systemet en Arduino som tar beslut när reglering behöver ske. Detta på grund av att SSO:n inte klarar att reglera de parametrar som utgör karakteristiken hos ett vindkraftverk.

Ett program till Arduinon har etablerats för att möjliggöra läsning av den data som genereras från vindkraftverket för att de besluten kring hur komponenterna ska verka kommer att vara korrekta [se bilaga 1]. Detta program övervakar frekvensen via en optokopplare och skickar sedan kommandon till SSO:n. För att möjliggöra denna process krävs det att en seriell kommunikation etablerats från och till Arduinon. Detta har utförts med hjälp av en komponent vid namn *USB2Serial* som Arduino själva utvecklat för detta syfte, funktionen för denna komponent är att överföra och läsa data seriellt via USB.

5.3 Tester av komponenter

Efter testerna hade genomförts och mätvärden har antecknats, behövdes vindkraftverket kopplas ihop med SSO:n[se bild 5.3] för att testa funktionaliteten hos de kommandon[se bilaga 3] SSO:n vanligtvis använder för solceller. Företaget som har försett projektet med dessa delar har under projektets gång bistått med hjälp och teknisk support, vilket har lett till att en viss del av funktionaliteten har anpassats efter de parametrar som projektet arbetar inom.

För att testa kommandon körs SSO:n mot en dator som kör programmet “RealTerm”. RealTerm är ett program som används vid utveckling, undersökning och debugging vid seriell kommunikation av binär eller likvärdig data. Från detta program testades de kommandon som har anpassats från Ferroamp för att få ut de funktionaliteter som vanligtvis inte används vid normal drift. Dessa tester görs för att undersöka hur systemet beter sig när det är ett vindkraftverk som är inkopplad istället för en solcell samt se hur vindkraftverket och drivande motorn reagerar på regleringen av ström och hastighet. Spänning och hastighet övervakas med hjälp av en amperemätare, samt voltmätare som illustreras i bild [5.3]

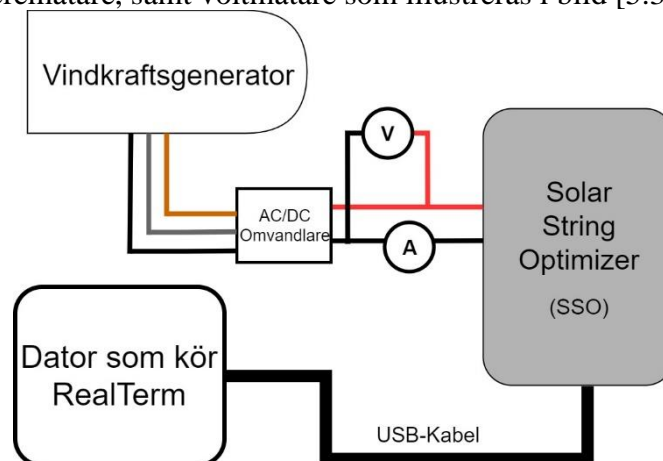


Bild 5.3: Sammankoppling av dator och SSO, utan diverse komponenter.

5.3.1 Arduino

För att kunna skicka kommandon från Arduinon till SSO:n utfördes preliminära tester med hjälp av ett program vid namn *RealTerm* med syfte att undersöka SSO:ns funktionalitet och skapa en bättre förståelse för hur dessa kommandon bör levereras. När kunskap insamlats för att utföra detta moment skapades kod i Arduinon för att undersöka hur dessa två komponenter samverkar. Till en början kunde ingen kommunikation etableras mellan dessa två komponenter vilket skapade en efterfrågan på vidare efterforskning. Komplikationen visade sig grundas i den hastighet som Arduinon var kapabel till att leverera kommandon, då SSO:n verkar på en hastighet av 4608000 baudrate samtidigt som Arduinon är restriktad till 115200 baudrate skapar detta komplikationer i kommunikationen. För att hantera denna komplikation anpassades hastigheten som SSO:n verkar under för att överensstämna med den hastighet som Arduinon klarar av att hantera. Trots denna korrigering gick ej kommunikation mellan de två komponenterna etableras. Eftersom komplikationen kvarstod utfördes mätningar av utsignalen från

Arduinon gentemot det som levereras genom signalprogrammet *RealTerm*[se bild 5.4].

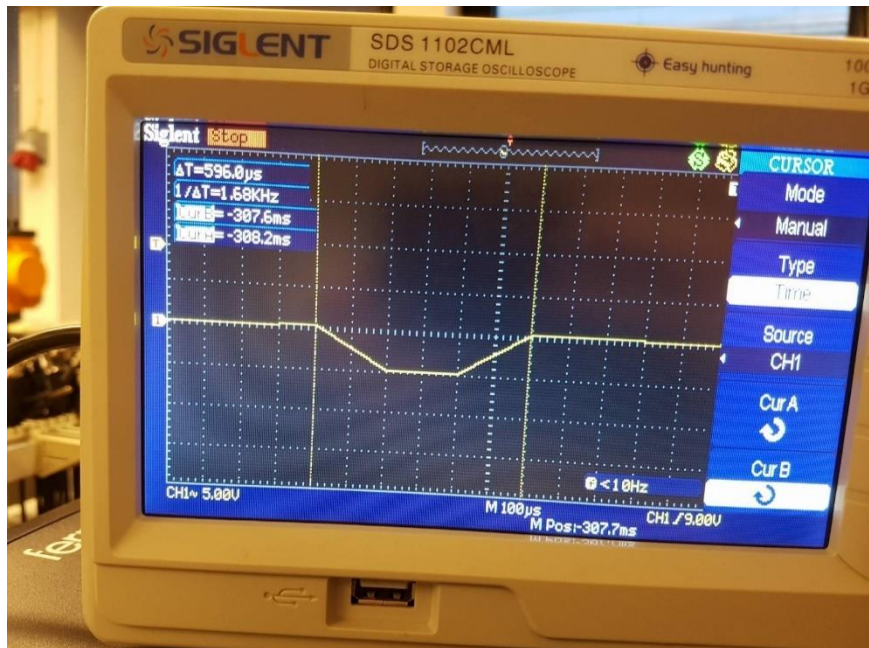


Bild 5.4: Visar signalen när kommandon skickas via datorn och *RealTerm*.

Utifrån dessa tester gick det att dra slutsatsen att Arduinon ej klarade av att leverera tillräckligt exakt hastigheter till SSO:n för att denne skulle förstå innebörden av kommandot.

Det som bild 5.5 illustrerar är en signal med annorlunda utseende samt frekvens jämfört med bild 5.4. För att kringgå detta problem skapades ett program i *Matlab* [se bilaga 2]. Koden som skapats i detta program har i syfte att ta emot de värden som levereras av Arduinon och vidarebefordra detta med en högre precision till SSO:n och denna metod bidrog till att kommunikation gick att upprättas mellan de två komponenterna.

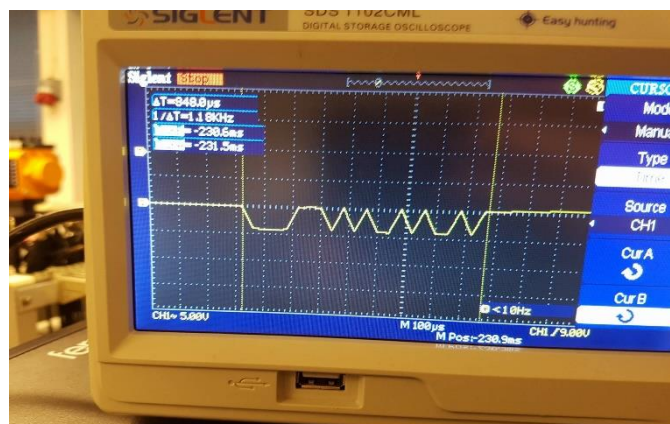


Bild 5.5: Visar signalen när kommandon skickas via Arduinon.

5.3.2 Optokopplare

För att undersöka funktionaliteten hos optokopplaren har ett program skapats [se bilaga 1] för Arduinon som möjliggör att denna kan reagera när spänningen når ett värde på minimum 3V [se bild 5.6]. När detta värdet nås, reagerar en pin på Arduinon och antalet gånger detta sker under 5 sekunder sparas för att avgöra frekvensen.

För att se om optokopplaren klarar av att arbeta med de strömmar och spänningar vindkraftverket genererar behövs dessa värden övervakas medan Arduinon läser pulserna. Genom att öka hastigheten på den drivande motorn ökar spänningen och strömmen vindkraftverket genererar. Dessa värden övervakas medans hastigheten ökar till den gräns vindkraftverket är säkert att operera på. När det maximala värdet på hastigheten nås, mäts den spänning och ström som ligger över de individuella delarna på optokopplaren, för att inte överskrider de maximala värdena på 3 Volt och 60m Ampere

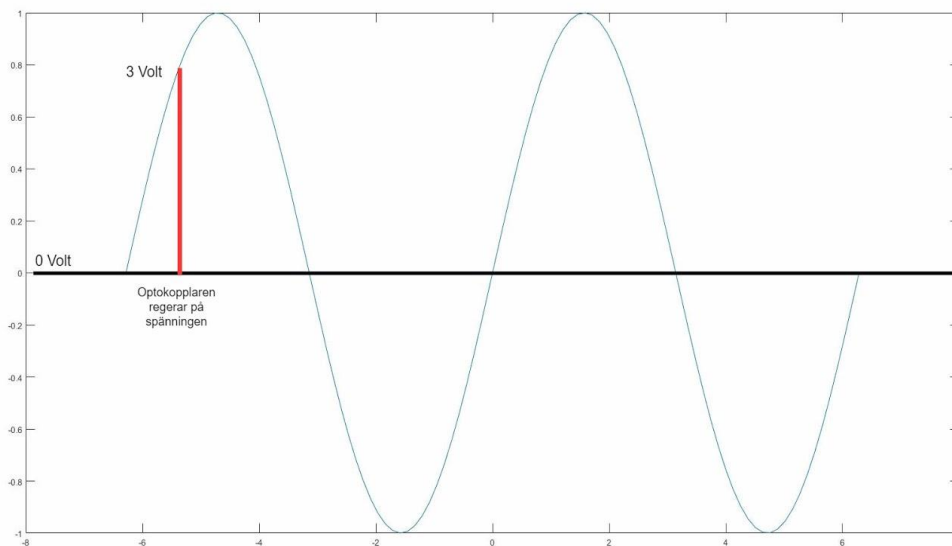


Bild 5.6: Visar hur optokopplaren reagerar när en puls når de önskade värdet.

5.3.3 Validering av Prototyp

Då systemet enbart går att testa med sådana verktyg att verkliga scenarion blir svåra eller omöjliga att testa, kommer vissa funktionaliteter med projektet att enbart kunna simuleras med hjälp av diverse medel. Även om de enbart är en simulation kommer det ändå att kunna utföra en viss del av den tänkta funktionaliteten på ett riktigt system.

5.3.4 Övervarvsskydd

I ett scenario där vindkraftverket behöver stå stilla på grund av kraftig vind, kan de tre faser som går utifrån vindkraftverket kortslutas för att garantera att den inte rör sig. Detta kan implementeras med parallellkopplade ett antal reläer i serie med resistorer [se bild 5.7] för att successivt minska hastigheten på vindkraftverket och när den når ett acceptabelt värde kortslutas. I ett scenario där nätspänningen går och reläerna inte klarar av att bryta strömmen, kan ett relä sitta separerat från systemet och enbart brytas när nätspänningen går. Detta relä kan då ta all den energi vindkraftverket avger och leda detta ner till marken, där den fördelas och inte avgöra risker för vindkraftverket.

Om detta skulle testas med den drivande motorn som används i projektet skulle svårigheter uppstå. I försök att driva vindkraftverket när det är kortslutet, skulle farligt stora strömmar i den drivande motorn ske och skador på motorn och personer inom området skulle bli en faktor. Detta simuleras istället med att ha ett relä avsett för mindre spänning, tända en lampa för att indikera att reläet har brutits.

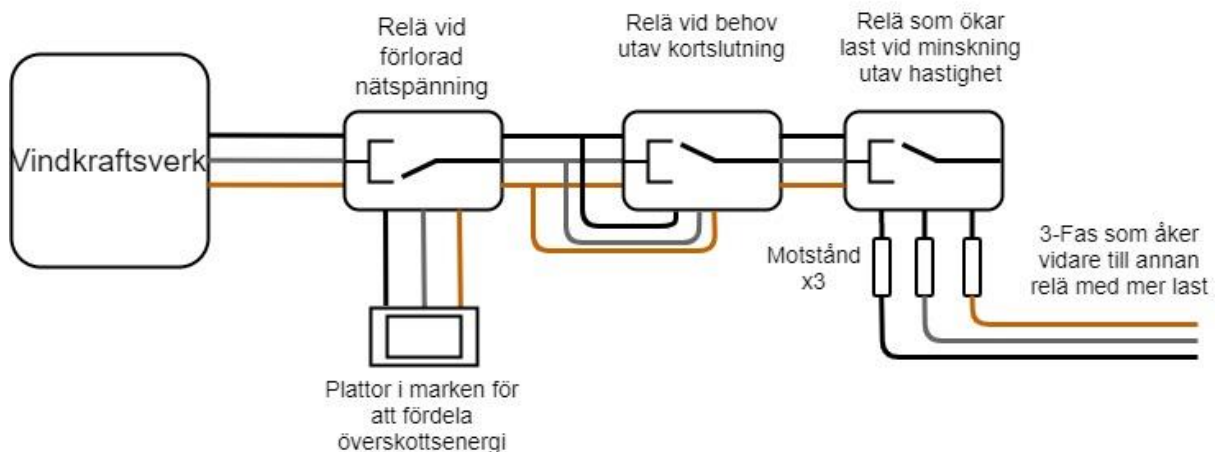


Bild 5.7: Illustrerar teorin bakom problemet med bromsning och förlust av nätspänning.

5.3.5 Validering av funktionalitet

För att kunna validera att de mål som har etablerats inför projektet är uppfyllda, kommer en simulering av avtagande, samt ökande, vind ske med hjälp av den drivande motor som använts under projektets gång [se bild 5.1]. Hastigheten på den drivande motor kommer att ökas manuellt för hand och i syfte att simulera vindkraft som ökar. När detta sker kommer Arduinon automatiskt skicka ett kommando till SSO:n och instruera den att öka gränsen för den effekt som förväntas inkomma. Genom att göra detta kommer vindkraftverket minska i hastighet för att kunna hantera den effekt som önskas levereras till elanvändningen. När hastigheten för vindkraftverket minskar levereras ett kommando till SSO:n i syfte att justera denna till önskvärd effekt.

6. Resultat

Syftet med detta projekt var att implementera ett vindkraftverk med ett befintligt solcellssystem och samtidigt undvika en markant ökning i kostnad för detta system.

De implementationer som har skett under detta projekt är följande:

1. Övervakning av hastighet på vindkraftverket
2. Kommunikation mellan prototypen och SSO
3. Samverkan med solcellssystem och vindkraftverk

Prototypen klarar att avläsa frekvensen så att den kan avgöra hur hastigheten på vindkraftverket borde regleras. Antingen med nödstopp eller med reglering via SSO:n. När värdena på SSO:n behöver regleras av diverse anledningar kan prototypen skicka passande kommandon och reglera de lämpliga parametrarna.

Med att anpassa de befintliga solcellssystemet tillräckligt mycket kan det vindkraftverk som används i projektet implementeras utan någon stor kostnad eller större ändring på SSO:n och EHUB:n.

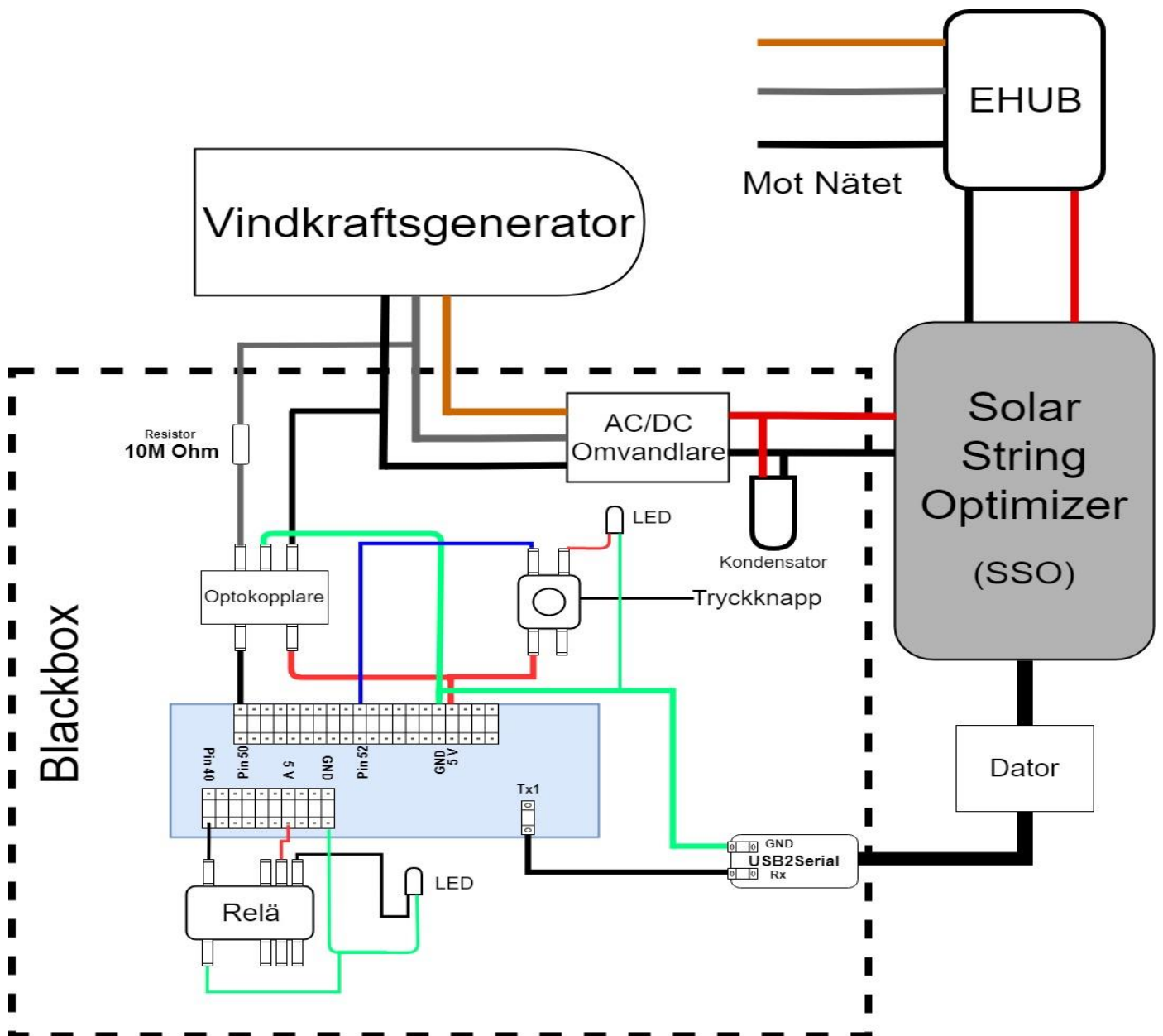


Bild 6.1: Ritning på hur systemet är kopplad.

De LED:s och tryckknapp som visas i denna bild är enbart implementerade för att underlätta tester som visar funktionaliteten hos systemet och fyller ingen ytterligare funktion.

6.1 Ac/Dc omvandling

För att hantera omvandlingen mellan växelström till likström sitter en Ac/Dc-omvandlare kopplad mellan SSO:n och vindkraftverket. Den regleringen som sker är från växelström till likström. Till denna omvandlare sitter en optokopplare kopplad som spänningregleras med en resistans. Detta är vägen in till systemet och med kopplingen sker övervakning av vindkraftverket. För att förfina spänningen till SSO:n sitter en kondensator kopplad på Ac/Dc-sidan från omvandlaren. Kondensatorns uppgift är att glätta spänningen till SSO:n så den blir tydlig som möjligt, detta för att underlätta avläsning av ström och spänning samt få mer konsekventa värden.

6.2 Kommunikation med SSO

För att hantera kommunikationen mellan blackbox och SSO:n sitter en Arduino, som sköter regleringen av hela systemet. Då det inte gick att skicka direkt mellan SSO:n och Arduinon sitter en dator samt komponenten USB2Serial inkopplad som agerar som en mellanhand mellan dessa två komponenter. USB2Serial är en komponent som tillåter Arduinon att kunna föra information seriellt till en extern källa. Dator gör att signalen blir mer tydlig för SSO:n, då signalen är för otydlig för SSO:n att uppfatta, den hanterar ej regleringen eller några andra delar i projektet. Arduinon avläser frekvensen med hjälp av en optokopplare(se bild 6.1) och avgör magnituden. Arduinon avgör om frekvensen minskar eller ökar och tar beslut utifrån hur mycket den har ändrats. Då enbart en prototyp har utvecklats har inte frekvenser definierats för minimum/maximum-gränser utan godtyckliga värden har implementerats som ersättning. När värdet når ett av dessa värden skickas kommandon till SSO:n om att reglering behöver ske. När frekvensen ökar och hastigheten på vindkraftverket stiger behöver lasten över vindkraftverket öka. Detta gör Arduinon genom att skicka kommando `dcdc,x.x;`, där `x,x` är storleken på strömmen som SSO:n förväntas bearbeta, vilket ökar resistansen på lasten över vindkraftverket som i sin tur ökar strömmen som genereras samt minskar hastigheten. Samma scenario sker vid minskning av hastighet och då minskar SSO:n resistansen med kommandon från Arduinon och `x,x` är ett mindre värde än de föregående.

6.3 SSO och EHUB

Det har inte skett någon hårdvaruändring på det befintliga systemet, som består av SSO:n och EHUB:en, utan en del mjukvaruändringar har skett. För att SSO:n inte ska tro att vindkraftverket är en solcell skickar Arduinon kommandon som programmerar om parametrar inom SSO:n. Dessa kommandon stänger av delar inom SSO:n som vill reglera systemet automatisk. Om inte detta implementeras vid uppstart av systemet kommer SSO:n inte kunna hantera spänningen och vindkraftverket skulle inte kunna generera någon elektricitet.

6.4 Övervarvsskydd.

För att hantera ett scenario där vinden ökar till en sådan grad att vindkraftverket kan ta skada har en serie av handlingar simulerats med ett relä. När vindkraftverket når en viss nivå på frekvensen, denna nivå är godtycklig och enbart satt för tester, avgör Arduinon att vindkraftverket och systemet kan ta skada och den börjar stänga av systemet med hjälp av reläer. Då några större tester inte gick att genomföra visas denna process med hjälp av ett relä och en LED som tänds när processen är avklarad. Hur denna process skulle kunna tänkas ske nämns i kapitel 5.3.4. Då verkliga scenarion inte gick att undersöka är en gräns på de strömmar och frekvenser vindkraftverket och systemet klarar att hantera inte undersökt.

7. Diskussion

De mål som var uppsatta för projektet har uppnåtts, med möjlighet för framtida förbättring. Trots att de önskade funktionaliteten erhållits går det att utveckla denna produkt vidare för att komplettera med ytterligare funktioner tillgängliga för användaren. I syfte att underlätta utveckling av projektet hade det varit önskvärt att ett non-disclosure agreement hade etablerats och undertecknats då ytterligare information och kontroll gällande SSO:n hade kunnat erhållas. Val av komponenter och kod hade kunnat anpassas med större finess för att uppfylla önskvärda funktioner om inblick i SSO:ns kodning hade delgivits. Det hade varit möjligt att inhämta mer information kring de mätvärden som införskaffats, gällande vindkraftverket, om tidigare dokumentation kring dessa funnits tillgängligt under projektet. Detta hade bidragit till att systemet hade kunnat skapas med ett mindre restriktivt syfte då eventuell implementation gentemot andra system hade kunnat möjliggöras.

Det hade även varit önskvärd att implementera mätning av spänning och ström på Arduinon för att möjliggöra kontroll på dessa värden, så dem inte överskrider de värden SSO:n är märkta för.

Kostnaden för den implementation som genomförts i projektet kan komma att variera beroende på vilket befintligt solcellssystem som används för att utföra denna implementation, kostnaden påverkas även av vilken typ av vindkraftverk som önskas användas till integreringen. Detta innebär att kostnaden går att justeras av de som väljer att utveckla en produkt av denna karaktär men att denna är ekonomiskt tillgänglig för privatpersoner är inte möjligt att avgöra utan mer information kring det system som förväntas utvecklas. Det system som utvecklats i detta projekt har dock uppfyllt det krav gällande ekonomisk tillgänglighet som etablerats och anses på så sätt ha uppnåtts.

7.1 Relaterad forskning och produkter

Med åtanke till att 81% av Sveriges befolkning tycker att tekniken inom solceller borde utvecklas vidare är det aktuellt att försöka optimera de system som hanterar solceller. Solceller utvecklas och blir billigare för varje år vilket leder till att en större marknad skapas och regleringssystemen behöver följa med i samma utveckling.

Om en stor ökning skulle ske i Sverige och mer personer skulle vilja införskaffa självförsörjande system till hemmet uppstår det problem då Sverige inte har så många soltimmar under ett år, speciellt om man tar till hänsyn den norra delen som får betydligt mindre soltimmar än resterande Sverige. Det är därför detta projekt blir relevant för personer som har ett solcellssystem men vill utöka det för att kunna få ut maximal energiproduktion.

Det paket som finns idag på marknaden erbjuder liknande lösningar på sammankoppling mellan vindkraftverk och solceller men inte på den nivå som detta projekt erbjuder. Detta projekt tar ett befintligt system som levererar hög effekt och gör det mer effektivt. Det genom att möjliggöra effektiv utvinning av förnyelsebar energi året om och till en mindre kostnad än två separata system.

Projektet skapar en integrationsmöjlighet som dessa produkter inte klarar av att leverera. Projektets system är uppbyggt med SSO:er som går till en stor växellikriktare vilket skapar en möjlighet till anpassning av systemet så som antal solpaneler samt att ett vindkraftverk kan integreras vid senare tillfälle efter behov, de andra paketen kommer med ett förbestämt antal solceller och enbart en styrenhet.

8. Slutsats

Detta projekts genomförande har möjliggjort integration mellan vindkraftverk och ett befintligt solcellssystem som kan användas av privatpersoner och företag. Genom att eliminera behovet av två skilda system kan denna prototyp minska kostnaden för nyttjandet av flera förnyelsebara energikällor avseendevärt. Detta kan komma att leda till att målgruppen för dessa konsumenter ökar vilket även genererar en större marknad samt efterfrågan. Som tidigare nämnt kan detta även bidra till minskade kostnader vid införskaffning av dessa system enligt *Swanson's Law* vilket är en intressant utgångspunkt då detta projekt till viss del inriktar sig på ekonomisk tillgänglighet. Eftersom energiförsörjningen i dagsläget till viss del består av energikällor som är skadliga för miljön är det önskvärt att implementera energisystem för att ersätta dessa med system som har minimal, eller totalt avsaknad, påverkan av miljön. Då detta är önskvärt kan framställningen av denna prototyp gynna detta mål, då det anses vara ekonomiskt tillgängligt för de konsumenter som önskar nyttja solcellsenergi samt vindkraftsenergi. Eftersom denna prototyp skapar möjligheten för integrering av dessa två energikällor och på så sätt eliminerar kravet av två särskilda system minskar även kostnaderna för inköp då det normalt sett krävs två enskilda växelriktare, ett till vardera systemet, för att möjliggöra energiutvinning. Vid integration av denna prototyp kan istället ett solcellssystem samt ett vindkraftssystem anslutas till en gemensam växelriktare, då denna komponent är oerhört kostsamma minskar då även kostnaderna för inköp avsevärt vilket genererar en fördel för den konsument som önskar nyttja båda dessa system.

Detta projekt har även bidragit med en fördjupad kunskap kring den marknad som i dagsläget erbjuder förnybar energi samt dessa energisystems funktioner och operation. Då det är önskvärt att implementera förnybar energi i samhället kan även framställningen gynna detta mål då den anses vara ekonomiskt tillgänglig för de konsumenter som nyttjar dessa system samtidigt som den bidrar med möjligheten att anpassa dessa former av energiförsörjning utefter tillgänglig energikälla. Med denna prototyp etablerad påvisar detta att integrering av olika energikällor är möjlig och att detta är både ekonomiskt och produktionsmässigt fördelaktigt. Eftersom denna prototyp möjliggör nyttjandet av både solcellsenergi och vindkraftsenergi kombinerat bidrar det till att individer som normalt sett enbart förlitar sig på ett av dessa system minskar risken för förlust av möjlighet till självförsörjande energisystem. I ett scenario där en solig dag övergår till regn och storm kan energiproduktionen övergå från solcellsenergi till vindkraftsenergi och på så sätt kan energiproduktionens kontinuerlighet bibehållas. En individ som vänder sig till

möjligheten att vara självförsörjande elproduktion kommer, till största förmodan, önska att energikostnader minskas och att energiproduktionen optimeras därav är integration av dessa system ytterst åtråvärd.

8.1 Framtida utveckling

Det i dagsläget oklart om denna prototyp kommer att vidareutvecklas för att möjliggöra integrering av solcells- och vindkraftssystem i verkliga system men med detta projekt genomfört och en funktionell prototyp etablerad kan detta genomföras. Det vore önskvärt att den prototyp som har etablerats integreras med en SSO så ytterligare komponenter inte tar mer utrymme och småfel förhoppningsvis elimineras.

Ferroamp, som är det företag som samarbetat med detta projekt, kommer ta del av den information som etablerats samt den prototyp som framställts och enligt deras framtidsplaner har en produkt av denna karaktär planerats skapa.

9. Referenser

[1] A. Andersson, M. Arvidsson, ” 2015 var ett år med stor elproduktion och rekordstor export av el”, *Energimyndigheten*, 2016-02-11. [Online].

Tillgänglig:

<http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2016/2015-var-ett-ar-med-stor-elproduktion-och-rekordstor-export-av-el/>

[Hämtad: 2017-10-12]

[2] J. Allerup, "Konsumtionsbaserade växthusgasutsläpp per person och år", *Naturvårdsverket*, 2016-12-12. [Online].

Tillgänglig: www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Klimat-vaxthusgasutslapp-fran-svensk-konsumtion-person/

[Hämtad: 2017-10-12]

[3] A. Svensson, ”Hur kan kommunernas incitament till att investera i förnyelsebar energi öka?: en studie av vindkraften”, examensarbete för magisterexamen, Institutionen för Industriell ekonomi och samhällsvetenskap, Luleå tekniska universitet, Luleå, Sverige, 2006. [Online].

Tillgänglig:

http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=-211&pid=diva2%3A1016023&c=4&searchType=SIMPLE&language=sv&query=Hur+kan+kommunernas+incitament+&af=%5B%5D&aq=%5B%5B%5D%5D&aq2=%5B%5B%5D%5D&aq=%5B%5D&noOfRows=50&sortOrder=author_sort_asc&sortOrder2=title_sort_asc&onlyFullText=false&sf=all

[Hämtad: 2017-10-07]

[4] E. Samakovlis, ”Klimatpolitikens utmaningar under mandatperioden”, Konjunkturinstitutet, Stockholm, Sverige, ISSN 1650-996X, 2011. [Online].

Tillgänglig:

<https://www.konj.se/download/18.75c1a082150f472195814b93/1447232178531/Specialstudie-25.pdf>

[Hämtad: 2017-10-07]

[5] U. Båmstedt, S. Larsson, Å. Stenman, C. Magnhagen, ”Effekter av undervattensljud från havsbaserade vindkraftverk på fisk från Bottniska viken”, Meteorologiska institutionen, Stockholm, Sverige, ISSN 0282-7298;5924, 2009. [Online].

Tillgänglig: http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=-211&pid=diva2%3A285962&c=2&searchType=SIMPLE&language=sv&query=undervattensljud&af=%5B%5D&aq=%5B%5B%5D%5D&aq2=%5B%5B%5D%5D&aqe=%5B%5D&noOfRows=50&sortOrder=author_sort_asc&sortOrder2=title_sort_asc&onlyFullText=false&sf=all

[Hämtad: 2017-10-07]

[6] I. Andersson, E. Larsson, ”Investering i solceller: - En blygsam utveckling i Sverige”, examensarbete för kandidatexamen, Sektionen för ekonomi och teknik, Högskolan i Halmstad, Halmstad, Sverige, 2013. [Online].

Tillgänglig: http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?dswid=-211&pid=diva2%3A627281&c=1&searchType=SIMPLE&language=sv&query=solceller+en+blygsam&af=%5B%5D&aq=%5B%5B%5D%5D&aq2=%5B%5B%5D%5D&aqe=%5B%5D&noOfRows=50&sortOrder=author_sort_asc&sortOrder2=title_sort_asc&onlyFullText=false&sf=all

[Hämtad: 2017-10-07]

[7] A. Bergman, ”Energi analysering och optimering av kyl- och värmesystem”, examensarbete för yrkesexamen, Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, Sverige, 2017. [Online].

Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1166152/FULLTEXT02.pdf>

[Hämtad 2018-01-14]

[8] S. Shah, ”The impacts of series compensated EHV lines on distance protection, and a proposed new mitigation solution”, examensarbete för masterexamen, Skolan för elektro- och systemteknik, Kungliga tekniska högskolan, Stockholm, Sverige, 2017. [Online].

Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1115095/FULLTEXT01.pdf>

[Hämtad 2018-01-14]

[9] T. Andersson, "Konstruktion Signalgenerator", examensarbete för kandidatexamen, Institutionen för teknik och byggd miljö, Höskolan i Gävle, Gävle, Sverige. [Online].

Tillgänglig:

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:237847/FULLTEXT01.pdf>

[Hämtad 2018-01-14]

[10] Världsnaturfonden WWF, "Vår enda framtid: 100 procent fossilfritt", *Världsnaturfonden WWF*, 2016-11-29. [Online].

Tillgänglig: <http://www.wwf.se/wwfs-arbete/klimat/fornybar-energi/1628298-fornybar-energi-at-alla-klimat>

[Hämtad: 2017-10-02]

[11] Ekonomifakta, "Användning av förnybara energikällor", *Ekonomifakta*, 2017-05-29. [Online].

Tillgänglig:

<https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Anvandning-av-fornybara-energikallor/>

[Hämtad: 2017-10-02]

[12] Energimyndigheten, "Historia", *Energimyndigheten*, 2015-09-08. [Online].

Tillgänglig:

<http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fornybar-energi/Vind/Historia/>

[Hämtad: 2017-10-02]

[13] Energimyndigheterna, "Solceller", *Energimyndigheten*, 2013-02-05. [Online].

Tillgänglig:

<http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fornybar-energi/Sol/Solceller/>

[Hämtad: 2017-10-02]

[14] S. Potneni, B. K. Srividya, A. Ashish, "ScrumTutor: A web-based Interactive Tutorial For Scrum Software Development", *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2013 International Conference on, 2013, s. 1884-1890.

[15] Y. Makino, V. Klyuev, "Evaluation of Web Vulnerability Scanners", *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 2015 IEEE 8e International Conference on, vol. 1, 2015. s. 399-402.

- [16] Linköpings Universitet, "Projektmodellen Lips"
Linköpings Universitet, [2016-11-24][Online]
Tillgänglig:
<http://lips.isy.liu.se/>
[Hämtad 2017-12-09]
- [17] SCB, "80 Procent av elen kommer från vattenkraft och kärnkraft", *SCB* [Online].
Tillgänglig:
<http://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/energi/>
[Hämtad 2017-11-29]
- [18] Vattenfall, "Solenergi I Framtiden", *Vattenfall*, 2017-08-16. [Online].
Tillgänglig:
<https://corporate.vattenfall.se/om-energi/el-och-varmeproduktion/solenergi/solenergi-i-framtiden/>
[Hämtad 2017-11-29]
- [19] Regeringskansliet, "Så gör vi Sverige 100 förnybar", *Regeringskansliet*, 2016-03-23 [Online].
Tillgänglig:
<http://www.regeringen.se/debattartiklar/2016/09/sa-gor-vi-sverige-100-procent-fornybart/>
[Hämtad 2017-11-30]
- [20] Energimyndigheterna, "Solceller", *Energimyndigheterna*, 2017-04-27 [Online].
Tillgänglig:
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/solceller/>
[Hämtad 2017-12-01]
- [21] Solarlab Sweden, "Vad är en solcell?", *Solarlab Sweden*, [Online].
Tillgänglig:
<http://solarlab.se/solpanel/solcell-fakta>
[Hämtad 2017-12-03]
- [22] Uppsala Universitet, "Populärvetenskaplig presentation", Uppsala Universitet, [Online].
Tillgänglig:
<http://www.teknik.uu.se/fasta-tillstandets-elektronik/forskningsomraden/tunnfilmssolceller/popularvetenskaplig-presentation/>
[Hämtad 2018-01-05]

- [23] SMHI, "SolStrålning", *SMHI*, 2017-3-20, [Online].
Tillgänglig:
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-1.4186>
[Hämtad 2018-01-06]
- [24] M. Wahlstedt , "Ljus blir el", *Miljöportalen*, 2010-04-29 [Online].
Tillgänglig:
<http://www.miljoportalen.se/energi/sol-och-vind/ljus-blir-el>
[Hämtad 2017-12-01]
- [25] Jämtkraft, "Hur fungerar vindkraftverk?", *Jämtkraft*, [Online].
Tillgänglig:
<https://www.jamtkraft.se/om-jamtkraft/var-fornybara-produktion/vindkraft/hur-fungerar-vindkraft/>
[Hämtad 2017-12-02]
- [26] D. J. Griffiths, "Introduction to Electrodynamics", 3. Uppl., Prentice Hall, 1962.
- [27] Classic Motor, "Hur fungerar en generator?", *Classic Motor*, [Online].
Tillgänglig:
<http://www.classicmotor.se/artiklar/experten/20101018/hur-fungerar-en-generator/>
[Hämtad 2018-01-12]
- [28] Windforce, "Hybridsystem" ,*Windforce*, [Online].
Tillgänglig:
<http://www.windforce.se/egenel.php>
[Hämtad 2018-01-11]
- [29] Nordhenergy, "Fritidspaketet Vindkraft och Solenergi Komplet 24V System", *Nordhenergy*, [Online].
Tillgänglig:
<http://nordhenergy.se/produkter/bat-fritid/fritidspaketet-vind-sol-24v>
[Hämtad 2018-01-11]
- [30] Forskning.se, "Solenergi – favorit på frammarsch", *Forskning.se*, 2016-01-15, [Online].
Tillgänglig:
<https://www.forskning.se/2016/01/15/solenergi-favorit-pa-frammarsch/>
[Hämtad 2018-01-13]

[31] NyTeknik, Dramatisk ökning av verkningsgrad hos solceller”, *NyTeknik*, 2015-01-20, [Online].

Tillgänglig:

<https://www.nyteknik.se/energi/dramatisk-okning-av-verkningsgrad-hos-solceller-6395849>

[Hämtad 2018-01-13]

[32] Howstuffworks, ”How Solar Cells Work”, *Howstuffworks*, [Online].

Tillgänglig:

<https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/solar-cell8.htm>

[Hämtad 2018-01-13]

10. Bilagor

Bilaga 1 Arduino kod

Detta är koden som har skapats för att avläsa frekvensen från vindkraftverket och skicka kommandon till SSO:n

```
#include <SimpleTimer.h> //Library that enables interrupt.
SimpleTimer timer;//Interrupt variable

bool firstTime = false;
int readValue = LOW;
int pulsHigh = 0;
unsigned int puls = 0;

void setup() {
  pinMode(52,INPUT);
  pinMode(40,OUTPUT);
  Serial.begin(115200);

  while(readValue==LOW){//wait for setup to begin, by a push
of the button connected to the pin //52
  readValue = digitalRead(52);
}
}
//-----
void loop() {

  timer.run();//Turns on the counter

  if(firstTime == false){
    startup();
    delay(1000);
    firstTime = true;
  }
  pulsHigh = digitalRead(50);//reads if the puls is high on pin
50

  if(pulsHigh==HIGH){ //if it is high, increase puls by 1
    puls++;
  }
}
```

```
}
```

```
void startup(){ // Does the startup commands needed for the  
SSO to enable the correct settings.
```

```
Serial.write("automodeoff;\r");//Makes so the SSO won't try to  
control the current automatically
```

```
Serial.write("mpptoff;\r");//turn of the mppt algorithm
```

```
Serial.write("crel;\r");//close the relay
```

```
Serial.write("dcdc,0.0;\r");//set the current limit to 0.0  
timer.setInterval(5000,printTime);//Set the timer to check the  
Frequency every //5000ms(5s).
```

```
}
```

```
void printTime(){ //turn the relay on or of depending of the  
speed
```

```
Serial.println(puls);  
delay(2000);
```

```
if(puls>12000){  
Serial.write("dcdc,0.1;\r");//set the current limit to 0.1
```

```
digitalWrite(40,HIGH);  
}
```

```
else if(puls<12000){
```

```
digitalWrite(40,LOW);  
}
```

```
puls=0;
```

```
}
```

Bilaga 2 Matlab kod

Detta är koden som är skapat i programmet *Mathlab* och sköter överföringen kommandon mellan *Arduino* och SSO.

```
indata = serial('COM3','Baudrate',115200);% Defines the
USB2Serial as input for the serial data
outdata = serial('COM4','Baudrate',115200);% Defines the SSO
as output for the serial data
fopen(indata);% Opens the port of the USB2Serial
fopen(outdata);% Opens the port to the SSO
baloo = false;
while(baloo==false)
    in = fread(indata);% puts the data into a variable

    if(isempty(in))%if no data, do nothing
        continue;
    else %else send it to the SSO
        disp(in);
        fprintf(outdata,in);
        disp('----');
    end

    if(in==3000)% command to send from Arduino if you want
the sening of commands to stop.
        baloo = true
    end

end
fclose(outdata);
delete(outdata);
clear outdata;
```

Bilaga 3 Kommandon till SSO

Dessa kommandon är de som är givna till SSO:n från företaget *Ferroamp* och används till att informera SSO:n att reglering av ström sker av användaren.

De fyra första kommandona är väsentliga för att SSO:n ska kunna hantera ström från ett vindkraftverk.

automodeoff; - Det slår av så att den ska hoppa igång och köra av sig själv

mpptoff; - Det slår av mppt algoritmen

datalogon; respektive **datalogoff;** - Det slår på/av dataloggning för övervakning

crel; respektive **orel;** - för att styra reläerna, för att stänga reläerna så behöver man spänning på ingången för att den ska kunna boosta upp de interna kapacitanserna till 760V innan den stänger reläerna.

dcdc,1.0; - Kör konstant dc-ström med sättpunkt 1.0A, **dcdc,0.0;** för att slå av switchning

Alla kommandon måste avslutas med ; (semikolon) för att de ska registreras samt avslutas med *carriage return* för att indikera att kommandon är avslutat.

Erik Hillberg



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se