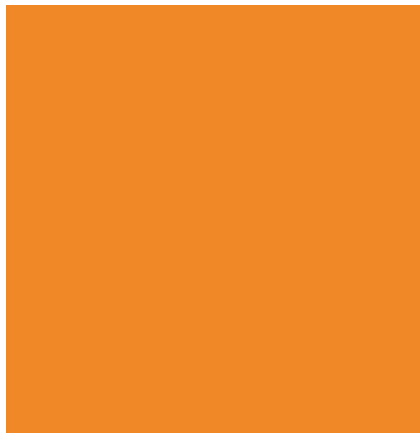


SLUTRAPPORT ELEKTRA 2013-2017

RAPPORT



Förord

Samverkansprogrammet Elektra startades 1992 på initiativ av Energiforsk (dåvarande Elforsk), ABB och Energimyndigheten. Visionen var att identifiera och lösa forskningsuppgifter som svarade mot elkraftindustrins behov. Fokus har legat på fem olika områden inom elkraftteknik:

- Elkrafttekniska system
- Elkrafttekniska komponenter
- Elektromagnetiska system
- Kraftelektroniska system
- Elkrafttekniska försörjningssystemets interaktion med fordonssystemen

Den här programetappen har pågått mellan 2013 och har förlängts till december 2017. Etappens sista utlysning ägde rum i slutet av 2014 och under 2015 startade de sista projekten för etappen. Projekten omfattar allt ifrån isoleringsmaterial och förbättrade komponenter i likströmsnät, till planering och optimering av olika typer av kraftsystem. Programetappen avslutades med konferensen Elkraft som ägde rum på Chalmers den 17–18 maj 2017.



Finansiärer

Energimyndigheten, ABB, Svenska Kraftnät, Trafikverket, Vattenfall, Fortum, E.ON Sverige, Göteborg Energi, Skellefteå Kraft, Skellefteå Kraft Elnät, Skellefteå Energiunderhåll, Umeå Energi Elnät, Elinorr, Jämtkraft, Öresundskraft, Karlstads Energi, Eskilstuna Energi & Miljö, Borås Elnät samt Falu Energi & Vatten.

Innehåll

Förord	2
Om Elektra	3
Projekt per forskningsområde	4
Kommunikationsinsatser	7
Beskrivning av projekt inom Elektra:	9
Verksamhetsområde 1: Elkraftstekniska system	10
Verksamhetsområde 2: Elkraftstekniska komponenter	20
Verksamhetsområde 3: Kraftelektroniska system	26
Verksamhetsområde 4: Elektromagnetiska system	28
Verksamhetsområde 5: Elkraftstekniska försörjningssystemets interaktion med fordonssystem	30

ISBN: 978-91-7673-01-9

1. Om Elektra

Kraftöverföring är ryggraden i kraftsystemet. En väl fungerande överföring av elenergi är en förutsättning för att säkerställa en tillförlitlig och kostnadseffektiv tillgång på elkraft för alla användare och för att möjliggöra att elkraften produceras med lämplig teknik. Utvecklingen av elproduktionssystemet, mot en större andel förnybara, delvis svårreglerade energislag, men också tendensen mot allt mer sammanbyggda elnät i Europa, kommer att ställa ytterligare krav på överföringskapacitet och på förmågan att effektivt och säkert styra kraftsystemets alla delar. Sverige har traditionellt en stark ställning inom området med ett elnät som uppfyller högt ställda krav på t.ex. tillförlitlighet och med ett flertal världsledande tillverkare av utrustning till elkraftindustrin. Utifrån de här förutsättningarna startades Elektra 2013. Programmet har löpt under tiden februari 2013 till december 2017.

Långsiktig kompetensförsörjning

Elektra har varit ett samverkansprogram med målet att på lång sikt bygga upp kompetens inom elkraftsteknik på universitet och högskolor. Målet var också en långsiktig kompetensförsörjning till industrin och idén att forskningsproblem kan lösas i samverkan mellan högskola och industri. Genom samverkan mellan högskola och den elkrafttekniska industrin har både förnyelse och vetenskaplig höjd uppnåtts. Vi har fått en industrirelevant forskning inom akademi som gett innovativa resultat som har kunnat nyttiggöras av industrin. Programmet har även haft som syfte att stödja starka forskningskonstellationer, och förbättra kontinuiteten i forskningsverksamheten.

Problemlösning

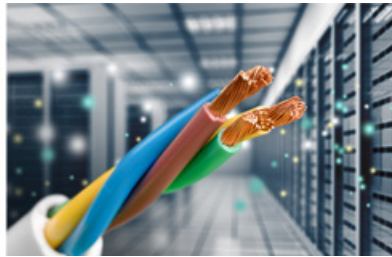
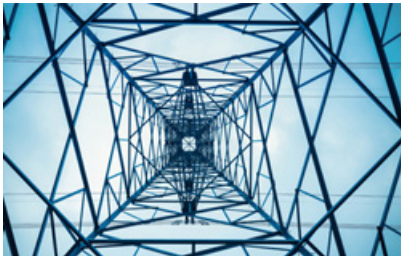
Att formulera och lösa forskningsuppgifter som svarar mot industrins problemställningar och som samtidigt leder till utbildning av forskarstuderande samt seniorforskning vid högskola/universitet, har varit en av grundidéerna med samverkansprogrammet Elektra. Med industrin menas i detta sammanhang tillverkande företag, elproduktionsföretag och elnätsföretag. Till intressentgruppen hör också större elanvändare, högteknologiska kunskapsföretag, konsultföretag och myndigheter. Forskningsresultaten kan påverka användningen av elenergi och initiera förändringar av till exempel regleringsfrågor för att uppnå en bättre funktion av elkraftmarknaden.

Samhället i stort

Den forskning som pågått inom Elektra är av intresse både för energiindustrin och samhället i stort. Den kan bidra till omställningen till ett mer hållbart energisystem, medverka till färre elavbrott och göra elnätet och användningen av energi mer energieffektiv. Elektra har drivits i samverkan mellan intressenter i energiindustrin och Energimyndigheten. Industrin har bidragit med 60 procent och staten genom Energimyndigheten med 40 procent av kostnaderna.

Framtiden

Nu 25 år efter att Elektra startade, har elbranschens spelplan förändrats och vi står inför delvis nya utmaningar. Elektra får en efterföljare på Energiforsk i programmet Elkraft som startar i januari 2018. Viktiga mål i programmet är att bevara branschens nätverk och att kommunicera forskning både inom branschen och ut i samhället i övrigt.



2. Projekt per forskningsområde

Elkraftstekniska system

Korttidsplanering av vattenvärmekraftssystem vid stora mängder vindkraft: systemperspektivet, KTH

Styrning av distribuerade kraftelektroniska objekt för stabiliseringsförbättringar, Chalmers

Inverkan av Multiterminal HVDC (MTDC) på kraftsystemets stabilitet, KTH

Korttidsplanering av vattenvärmekraftssystem vid stora mängder vindkraft: producentens perspektiv, KTH

Real-time wide area damping control using syn-crophasor technology, KTH

Drift av stora kraftsystem med små mängder av fysiskt tröghetsmoment, LTU

Spridning av supraharmoonics (2 till 150 kHz) i lågspänningsnätet, LTU
Rapport med nummer 2017:461 kan laddas ned från Energiforsks hemsida.

Optimerad drift och skydd av DC-nät, LTH

Information från spänningsdipmätningar, LTU

Design, reglering och driftsplanering av multiterminal DC transmissionsnät KTH

Elkrafttekniska komponenter

Analys av partiella urladdningar vid godtycklig spänningsvågform, KTH

Modellering av elektriska fält i isolerade nanokompositer, KTH

Multifunktionella strukturella ytor för utomhusisolering, KTH

Karakterisering av åldring i isolationssystem med förlustström, Chalmers



Yt- och rymdladdningar och deras inverkan på polymer högspänningsisolations prestanda, Chalmers

Cellulosamaterial i isoleringsapplikationer - skräddarsydda fibrer för att erhålla ny egenskaper, KTH

Kraftelektroniska system

Kraftelektroniska omvandlare för DC-nät med ultrahög spänning, KTH

Ultrasnabba elektronik-baserade strömbrytare som möjliggör maskade UHVDC-nät, KTH

Elektromagnetiska system

Magnetiseringsströmmen som indikator för transformatorers tillstånd, KTH

Modellering av krafttransformatorer vid likströmsmagnetisering, KTH

Elkrafttekniska försörjningssystemets interaktion med fordonssystemen

Optimal drift och dimensionering av banmatningssystem, KTH

Snabbladdning av elbussar i distributionsnät, Chalmers

Rapport med nummer 2017:455 kan laddas ned från Energiforsks hemsida.

Ytterligare information om projekten

Tre av projekten har blivit postdoc-rapporter. Flera projekt har lett till avhandlingar. Kontakta respektive universitet/högskola för mer information om respektive projekt.



3. Kommunikationsinsatser

Hemsida

I december 2015 fick Energiforsk och därmed också Elektra en ny hemsida. Alla projekt har fått en egen projektsida med presentation av projektet och information om vem som utför det. Rapporter och avhandlingar kan laddas ned och i vissa fall kan även posters laddas ned. Här finns också nyheter från Energiforsk med koppling till Elektra.

Kommunikationsplan

Under 2016 fick Elektra en uppdaterad kommunikationsstrategi och en kommunikationsplan. Strategin innehåller målsättningar för programmet och planen konkreta steg som till exempel hantering av websidan och den interna kommunikationen.

Elektradagen

Den 26 november 2016 anordnades Elektradagen. Alla medarbetare och projektutförare inom Elektra bjöds in. Under dagen presenterade flera av projektutförarna sina projekt, både med poster och med en muntlig presentation. Två stipendier delades ut till de två bästa postrarna. Vinnarna utsågs av industrigruppen inom Elektra. Vinnarna Elena Kubyshkina och Rebecca Hollerts fick 10 000 kr var.



Olle Hansson Ellevio, vinnarna Elena Kubyshkina och Rebecca Hollerts och Sven Jansson, Energiforsk, fd programansvarig Elektra.

Nyheter

Nyheter om disputationer, konferenser och andra viktiga händelser inom Elektra har publicerats löpande i Elektras nyhetsflöde på webbsidan. Ett par artiklar har också publicerats i tidningen ERA.

I december 2015 fick Energiforsk, och därmed också Elektra, en helt ny webbsida: www.energiforsk.se. Samtliga Energiforsks program finns nu samlade på en webbplats, därmed ska det bli lättare att hitta information och söka efter forskningsrapporter.

En folder för konferensen togs fram om konferensen togs fram i ett tidigt skede, foldern uppdaterades med jämna mellanrum och publicerades i ett tjugotal versioner. Nyhetsbrev sändes ut cirka en gång i månaden med aktuell information om konferensen

Konferensen Elkraft 2017

Nästan 400 personer möttes på Chalmers den 17-18 maj för att lyssna på presentationer om framtidens elkraftssystem i Sverige. Konferensen genomfördes som ett samarbete med Chalmers, Kraftforum och Energiforsk.

Den snabba tekniska utvecklingen inom kraftelektronik, datorteknik och kommunikation öppnar nya möjligheter. Det leder till många frågeställningar av typen:

Hur kommer framtidens elkraftssystem se ut? Och vilka krav och önskemål kommer kunderna att ställa? Energikällor som sol- och vindkraft har blivit mer kostnadseffektiva och spelar en allt större roll för energiproduktionen i Norden.

Konferensens mål

Chalmers och Energiforsk anordnade i samarbete med akademi och industri en konferens för att ge kunskap och kompetens för en resurseffektiv utveckling av Sveriges kraftsystem.

Målet med konferensen var att:

- skapa en årligen återkommande plattform för kunskapsutbyte inom elkraft
- bidra till utvecklingen av svenskt näringsliv på området
- ge kunskap till avnämare och beslutsfattare inom både näringsliv och offentlig sektor
- ge en nationell och internationell utblick inom elkrafttekniken
- ge överblick och resultat från forskningsprogram
- skapa bättre samverkansmöjligheter mellan akademi och näringsliv
- ge studenter möjlighet att i samverkan med industrin finna relevanta forskningsprojekt och samarbeten.
- belysa nya tekniker, systemtjänster och marknadsmodeller som skapar mervärden för elsystemets aktörer.



Föredrag och posters

Vi fick in många intressanta och tankeväckande förslag till föredrag och posters. En konferenskommitté bedömde förslagets kvalitet och avgjorde vilka blev muntliga presentationer och vilka som blev posters.

Den första dagen presenterades KeyNotes från Energimyndigheten, Volvo, Ellevio, Svenska kraftnät, ABB CRC, ETH, Forum för smarta elnät, Chalmers, Ericsson med flera.

Programmet

Programmet dag 2 bestod av presentationer från inbjudna talare och framför allt av de förslag till föredrag som konferensens deltagare skickat in. Programmet och samtliga presentationer från de två dagarna kan laddas ned från Energiforsks hemsida:

<http://www.energiforsk.se/program/elektra/elkraft-2017/>

Marknadsföring av konferensen

Konferensen har marknadsförts via deltagande företags och högskolors hemsidor, i artiklar i bland annat tidningen ERA och via nyhetsbrev. Ett stort arbete lades ned på att skapa en grafisk profil för konferensen.

Utställning

Under konferensen kunde företag, organisationer och myndigheter visa upp produkter och tjänster med koppling till Elkraft.

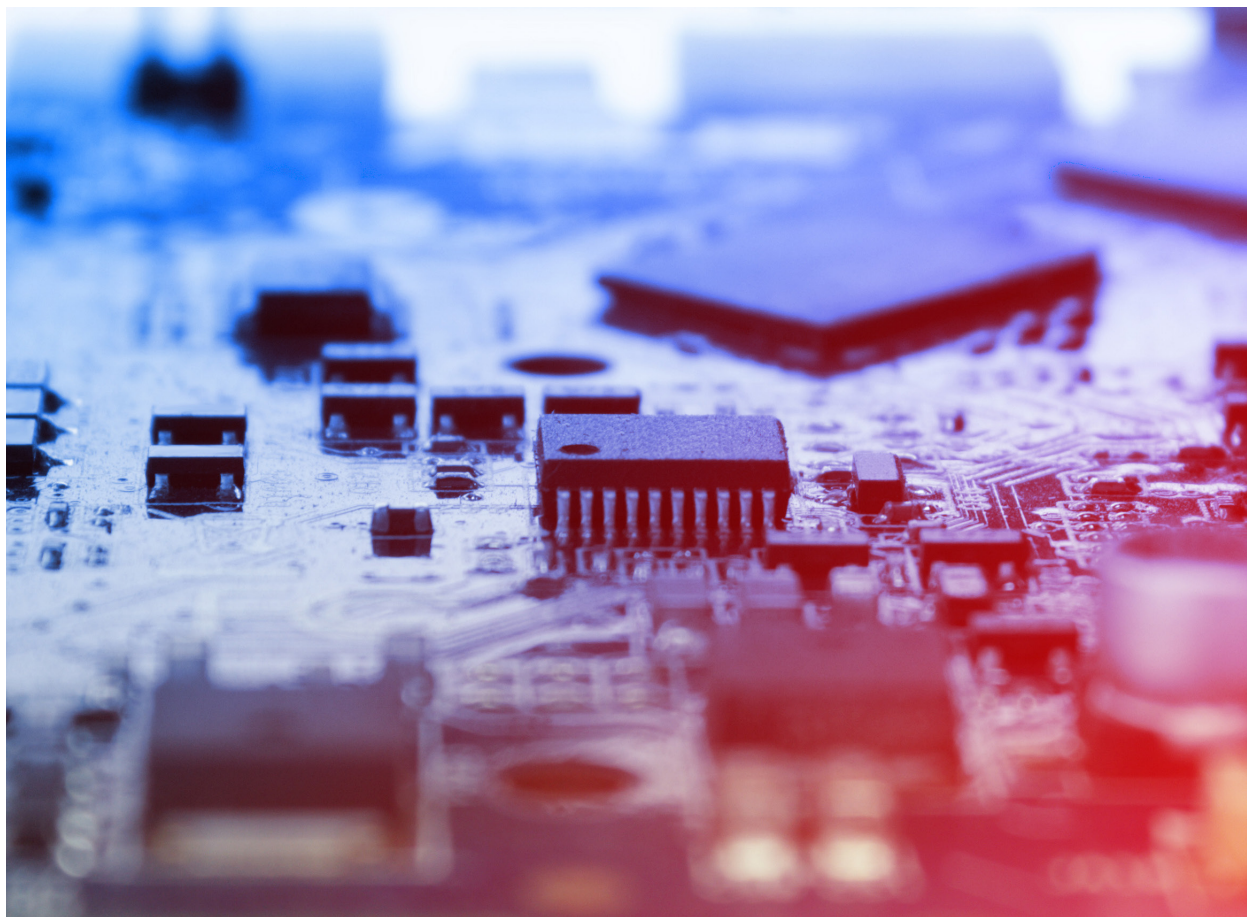
4. Beskrivning av projekt inom Elektra

I det här kapitlet ges en övergripande beskrivning av några av de ingående projekten i Elektra.

Projekten redovisas uppdelade på programmets verksamhetsområden:

1. Elkraftstekniska system
2. Elektromagnetiska system
3. Kraftelektroniska system
4. Elkraftstekniska försörjningssystemets interaktion med fordonssystemen

Projekten omfattar allt från isoleringsmaterial och förbättrade komponenter i likströmsnät, till planering och optimering av olika typer av kraftsystem.



Verksamhetsområde 1: Elkraftstekniska system

Korttidsplanering av vatten-värmekraftssystem vid stora mängder vindkraft

Projektledare: Mikael Amelin

Doktorand: Richard Scharff

Utförare: KTH

Projektslut: December 2015

Projektet har utvecklat en elmarknadsmodell för studier av olika regelverk som krävs vid balansering av vindkraft. Modellen kan användas för att analysera konsekvenserna av olika regelverk, dels ur ett samhällsekonomiskt perspektiv och dels utifrån hur olika aktörer påverkas. Projektet är en fortsättning på tidigare Elektraprojekt 36073.

Balanseringsresurser

En utbyggnad av vindkraften leder till ett ökat behov av balanseringsresurser i kraftsystemet, och det är viktigt att elmarknaden är utformad på ett sådant sätt att befintliga och nya balanseringsresurser kan utnyttjas så bra som möjligt. I projektet undersöks hur vindkraft på ett optimalt sätt kan integreras i kraftsystemet, med elmarknaden som instrument. I modellen som tagits fram i projektet simuleras beteendet hos olika marknadsaktörer, för att förstå hur förändringar på elmarknaden kan påverka integreringen av förnybara energikällor.

Projektets doktorand Richard Scharff disputerade den 9 oktober 2015. Resultaten från projektet finns presenterade i Scharffs doktorsavhandling. I avhandlingen beskrivs handelsaktiviteten på Elbas och hur priserna utvecklas under handelstiden. Resultaten visar bland annat att handeln inte alltid återspeglar den fysiska situationen i elsystemet.



Richard Scharff har undersökt hur vindkraft på ett optimalt sätt kan integreras i kraftsystemet, med elmarknaden som instrument.

Styrning av distribuerade kraftelektroniska objekt för stabiliseringsförbättringar

Projektledare: Massimo Bongiorno

Doktorand: Mebtu Beza

Utförare: Chalmers

Projektslut: Juni 2015

En kontrollstrategi har utvecklats för distribuerade kraftelektroniska objekt: Målet är att förbättra stabiliteten i stora kraftsystem. Interaktionen mellan de olika kontrollerbara enheterna har studerats i detalj och en koordinerad kontrollalgoritm har tagits fram. Kontrollstrategin kan hantera osäkerheter i systemparametrar och påverkan från interaktionen mellan olika komponenter i kraftsystemet. Projektet är en fortsättning på tidigare Elektraprojekt 36075.

Koordinerad styrning

Elkraftsystemet växer ständigt, vilket leder till att transmissionssystemet belastas allt mer och körs med mindre stabilitetsmarginaler. Olika enheter så som FACTS och HVDC-komponenter kan användas för att avlasta linjerna och reglera stabilitetsmarginalerna. I stora kraftsystem kan dock interaktionen mellan komponenterna leda till en destabilisering av systemet, och därför är en koordinerad styrning av dessa objekt viktig för en stabil drift av kraftsystemet.

Effektiv kontrollalgoritm

Projektets doktorand Mebtu Beza disputerade 27 februari 2015. Bezas doktorsavhandling beskriver hur parallellkopplade kraftelektroniska komponenter kan användas för att förbättra prestandan hos kraftsystemet. Fokus ligger på att utveckla en effektiv kontrollalgoritm för POD (Power Oscillation Damping) och TSE (Transient Stability Enhancement) genom att använda lokala mätningar. Med hjälp av de föreslagna kontrollmetoderna kan stabiliteten i systemet förbättras på ett effektivt sätt genom att använda en eller flera kompensatorer kopplade till olika delar av kraftsystemet.

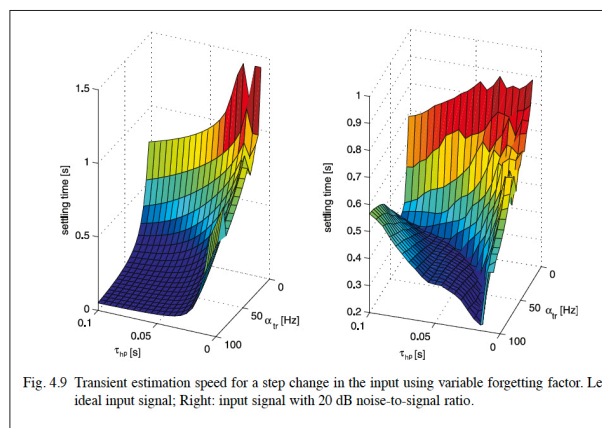


Fig. 4.9 Transient estimation speed for a step change in the input using variable forgetting factor. Left: ideal input signal; Right: input signal with 20 dB noise-to-signal ratio.

Mebtu Beza beskriver hur parallellkopplade kraftelektroniska komponenter kan användas för att förbättra prestandan hos kraftsystemet.



Inverkan av Multiterminal HVDC (MTDC) på kraftsystemets stabilitet

Projektledare: Mehrdad Ghandhari

Doktorand: Mohamadreza Baradar

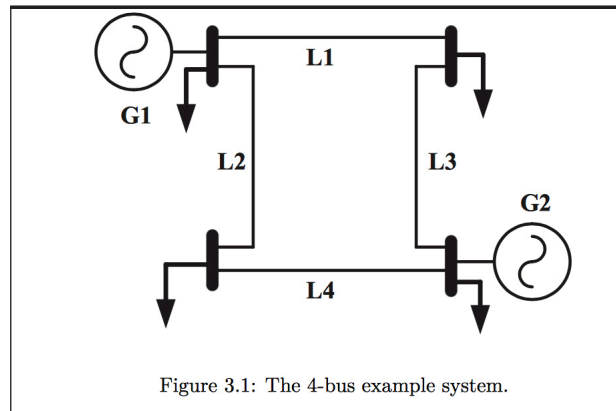
Utförare: KTH

Projektslut: December 2015

Projektet har undersökt prestanda och design för ett större multiterminalt likströmsnät (MTDC), som drivs integrerat i ett växelströmsnät. Likströmsnätets inverkan på den totala effektförlusten i systemet samt inverkan på överföringsförmågan av transmissionssystemet har undersökts.

Minimerade överföringsförluster

Genom att bygga likströmsnät istället för växelströmsnät är det möjligt att öka flexibiliteten i elnätet samtidigt som överföringsförlusterna minimeras, så att integration av förnybara energikällor förenklas samtidigt som elen kan utnyttjas mer effektivt. Projektet har tagit fram kunskap om hur system av multiterminala likströmsnät i kombination med andra styrbara komponenter inverkar på den totala effektförlusten i systemet, och hur de inverkar på överföringsförmågan inom transmissionssystemet. Analyser av olika avancerade tekniska lösningar för förbättring av spänningsstabilitet med hjälp av multiterminala likströmsnät har ingått. Projektet har också studerat handelsmekanismer för reaktiv effekt i systemet.



Mohamadreza Baradar har tagit fram kunskap om hur system av multiterminala likströmsnät i kombination med andra styrbara komponenter inverkar på den totala effektförlusten i systemet, och hur de inverkar på överföringsförmågan inom transmissionssystemet.



Konvexa överföringsproblem

Mohamadreza Baradar disputerade den 9 juni 2015. Baradars avhandling beskriver konvexa optimeringsproblem som kan användas som både kraftflödes- och optimala kraftflödesmodeller (PF, power flow, och OPF, optimal power flow) som avspeglar den icke-linjära egenskapen hos kraftsystem i så stor utsträckning som möjligt, samtidigt som problemen kan lösas med effektiva lösningsmetoder så som IPM (Interior point methods). Dessa OPF-modeller kan omfatta HVDC-länkar, MTDC-nät med vindkraft, och parallellkopplade FACTS-enheter.

Korttidsplanering av vattenvärmekraftssystem vid stora mängder vindkraft:

producentens perspektiv

Projektledare: Lennart Söder

Doktorand: Yelena Verdanyan

Utförare: KTH

Projektslut: Februari 2016

Projektet har utvecklat stokastiska flerstegsmodeller för att vattenkraftproducenter ska få ökad förmåga att förse kraftsystemet med balanserkraft och därmed öka sin egen vinst. En av huvudutmaningarna har varit att modellera och simulera de osäkra variablerna. Under den här etappen av projektet har vindkraft lagts till som en osäker variabel till modellen, och en balansansvarig aktör med både vind- och vattenkraft har studeras. Projektet är en fortsättning på Elektraprojekt 36073.

Vind och vatten

I och med att andelen vindkraft ökar i det svenska kraftsystemet, uppstår ett ökat behov av reglerkraft för att kunna balansera variationerna i vindkraftproduktionen. I Sverige kan vattenkraft vara en lämplig balanserkraft. Behovet av reglerkraft från vindkraftens sida och avregleringen av elmarknaden skapar tillsammans nya krav på avancerade metoder för planering av vattenkraft.

Stokastisk modell

Nya optimala budgivningsstrategier på elmarknaden har utvecklats i projektet. Vindkraft har använts som en osäker variabel till den stokastiska modellen. Genom att ta fram modeller som kan generera lämpliga scenarier har nyttan för industrin ökat. Stokastiska flerstegsmodeller är stora och svårlösta, projektet har arbetat med att ta fram modeller som genererar användbara resultat.



Behovet av reglerkraft från vindkraftens sida och avregleringen av elmarknaden skapar tillsammans nya krav på avancerade metoder för planering av vattenkraft. Yelena Verdanyan har arbetat med att ta fram stokastiska modeller som kan användas för att planera vattenkraften.



Real time wide area damping control using synchrophasor technology

Projektledare: Luigi Vanfretti

Doktorand: Yuwa Chompoobutrigoon

Utförare: KTH

Projektslut: Januari 2016

Projektet har utvecklat kontrollmetoder för att förbättra dämpningen av inter-area oscillationer med hjälp av kraftsystemstabiliserare (PSS, power system stabilizers). Kontrollmetoderna kommer att vara viktiga då kraftnäten utvidgas till att för att klara och hantera stora kraftöverföringar. Projektet är en fortsättning på tidigare Elektraprojekt 36044.

Överföringskapacitet

Dämpning av oscillationer i kraftsystemet är fortfarande en stor utmaning för att uppnå en säker och tillförlitlig drift av kraftsystem. I och med att efterfrågan på elkraft ökar nyttjas kraftsystemen till gränsen av sin kapacitet, särskilt i fråga om överföringskapacitet. Därför är det av största vikt att kunna öka överföringskapaciteten utan att äventyra stabiliteten i systemet.

Signaler för feed-back och kontroll

Eftersom kraftsystemet inte fungerar om det är instabilt behövs väl fungerande kontrollmetoder. En metod är att använda sig av så kallade PMU (phasor measurement units). Projektet har föreslagit en metod, kallad "dominant inter-area oscillation path", som visar ett antal signaler som kan användas för feedback och kontroll. Med hjälp av den föreslagna metoden kan lämpliga signaler väljas och användas för att på ett effektivt sätt minska inter-area oscillationerna som begränsar kraftöverföringskapaciteten och påverkar stabiliteten i systemet.



I och med att efterfrågan på elkraft ökar nyttjas kraftsystemen till gränsen av sin kapacitet, särskilt i fråga om överföringskapacitet. Därför är det av största vikt att kunna öka överföringskapaciteten utan att äventyra stabiliteten i systemet. Yuwa Chompoobutrigoon har undersökt sambanden.



Drift av stora kraftsystem med små mängder av fysiskt tröghetsmoment

Projektledare: Math Bollen

Doktorand: John Laury

Utförare: Luleå tekniska universitet

Projektslut: December 2016

John Laury, som forskar om elkraftteknik vid Luleå Tekniska Universitet, har undersökt stabiliteten hos lågfrekventa järnvägsnät: *Transient Stability in Low Frequency Railways with Mixed Electronic and Rotational Generation*.

Svenska järnvägsnät

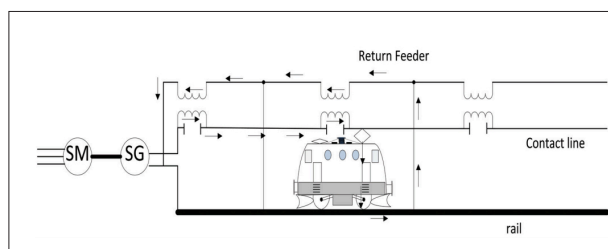
I Sverige har vi ett järnvägsnät som består av äldre delar i kombination med modern teknik. John Laury har undersökt hur stora störningar, t.ex kabelavbrott, påverkar den elektriska matningen till järnvägen.

Minskade samhällskostnader

Studierna är viktiga för att förstå järnvägssystemet. Genom att studera den elektriska matningen kan kunskapen om varför förseningar inträffar och hur man kan förebygga dem, leda till att samhällets kostnader minskas.



John Laury har undersökt hur den svenska järnvägen fungerar med tanke på att den består av delar med både gammal och ny teknik.



Spridning av supraharmonics (2 till 150 kHz) i lågspänningsnätet

Projektleddare: Math Bollen

Doktorand: post-dok Sarah Rönnerberg

Utförare: Luleå tekniska universitet

Projektslut: Juni 2016

Projektets syfte är att ytterligare klarlägga och sprida kunskap om emissioner inom frekvensområdet mellan 2 kHz och 150 kHz kallade supratoner (eng. supraharmonics).

Distorsion

Frekvensområdet över 2 kHz har tidigare ansetts vara "högfrekvent" för de som arbetar med elkvalitet medan frekvenser under 150 kHz har ansetts vara "lågfrekventa" för dem som arbetar med EMC-problematik. Termen "supraharmonics" har föreslagits som ett samlingsnamn för all distorsion i detta frekvensområde och termen används allt mera.

Supratoner

En ökande mängd utrustning avger icke-försumbara nivåer av supratoner i lågspänningsnäten. Ingen övergripande information finns ännu tillgänglig på befintliga nivåer eftersom storskaliga fältmätningar förblir både tekniskt och ekonomiskt en utmaning.

Växelverkan

Skillnaden mellan primär och sekundär emission är mycket viktigt för studier om supratoner. En konsekvent uppsättning definitioner för primär- och sekundäremission har utvecklats som en del av detta projekt. Ett tredje fenomen, växelverkan, introduceras där de icke-linjära egenskaperna hos två eller flera enheter påverkar övertons- eller supratonsnivån i spänning och ström.



Sarah Rönnerberg har kommit fram till att LED-lampor kan börja flimra på grund av supratoner.



Ljusflimmer

Mätningar har visat att förekomsten av supratoner kan få en signifikant påverkan på LED-lampans ljusintensitet. Detta är ett nytt fenomen och kan vara en ännu okänd källa till ljusflimmer.

Det har också visats att spridningen av supratoner genom lågspänningsnätet varierar över tid ner på tidskalor under 20 ms och påverkan från angränsande apparater samt förekomsten av resonanser spelar en viktig roll i denna spridning.

Resonanser spelar en viktig roll

Både mätningar och simuleringar visar att resonanser spelar en viktig roll i spridningen av supratoner genom lågspänningsnätet.

Optimerad drift och skydd av DC-nät

Projektledare: Jörgen Svensson

Doktorand: Evripidis Karatsivos

Utförare: Lunds tekniska universitet

Projektsslut: December 2016

Omställningen av energisystemet medför en massiv utbyggnad av förnybar elproduktion där havsbaserad vindkraft är en del. Vindkraft är i en expansiv utbyggnadsfas där anläggningar kommer allt längre ut från kusten. För att möjliggöra detta krävs ny teknik som HVDC för inkoppling till land. Flera lämpliga vindkraftsområden till havs kommer även sammankoppla länder emellan och därmed integrera olika elsystem och elmarknader. En viktig del här är multi-terminal HVDC (DC-system) till havs som integrerar flera länder och vindkraftsanläggningar. Tekniken öppnar upp för flera utmaningar för snabb och säker elleverans. Det här projektet handlar om drifts- och reglerstrategier.

Styrbarhet

I projektet har styrbarheten inom framtida DC-system analyserats. En viktig faktor är integrationen av flera teknologier som förnybar elproduktion, kraftelektronik och automation.

Utbyggnaden av ny likström

Projektet är en fortsättning på tidigare Elektra-projekt (ELEKTRA 36178). Modeller för maskade likströmsnät baserade på VSC (voltage source converter) HVDC (högspänd likström) och likströmsbrytare ska vidareutvecklas, och nya metoder för optimering av drift och skydd för att erhålla robusta likströmsnät ska implementeras. Projektet ska främja utbyggnaden av ny likström.



Allt fler vindkraftverk placeras till havs. Det gör att det krävs en ny teknik, HVDC behöver utvecklas, för att vindkraftsverken ska kunna kopplas till land. Doktorand: Evripidis Karatsivos



Information från spänningsdipmätningar

Projektledare: Math Bollen

Doktorand: Azam Bagheri

Utförare: Luleå tekniska universitet

Projektslut: Maj 2017

Genom att upptäcka och lindra spänningsdippar kan kostsamma driftstörningar undvikas. Azam Bagheri vid Luleå tekniska universitet har undersökt kortvariga spänningssänkningar, s.k. "spänningsdippar".

Internationell standard

Azam har studerat data från spänningsdippar från större databaser. Målet är att genom ett begränsat antal värden beskriva spänningsdippen på ett tillräckligt detaljerat sätt, och samtidigt få ut så mycket information som möjligt om vad som orsakar spänningsdippen. En metod har utvecklats för att på ett kvantitativt sätt kunna jämföra olika sätt att beskriva spänningsdippar och beskriva dem. Förhoppningen är dessa metoder ska komma att ingå i en internationell standard på området.

Helt ny metod

Inom området har det utvecklats en hel ny metod att beskriva spänningsdippar, men det har också gjorts en bedömning av metoder som föreslogs tidigare och vissa av dem har utvecklats vidare så att dem kan tas med i standardiseringen på ett enklare sätt än förut. Förslaget behandlas i både IEC och IEEE. Det har också utvecklats ett nytt tillvägagångssätt som, för första gången, gör det möjligt att på ett transparent och kvantitativt sätt jämföra olika sätt att beskriva spänningsdippar. Tillvägagångssättet kommer att tillämpas på vindkrafts_anläggningar i ett fortsättningsprojekt.



Azam Bagheri har undersökt hur spänningdippar kan ge högre driftsäkerhet i produktionsanläggningar.



Bättre analyser

Den nya metoden som Azam har utvecklats gör en transformation från tiddomän till komplext tiddomän, s.k. space phasor model, och det gör det betydligt enklare att beskriva och analysera mätningarna. Det gör det lättare att få fram information om vad som orsakade dippen. Metoden kommer att utvecklas vidare i framtida projekt.

Projektet utfördes i samarbete med universitetet i Chengdu, Kina.

Design, reglering och driftsplanering av multiterminal DC transmissionsnät

Projektledare: Mehrdad Ghandhari

Doktorand: Mohammad Nazari

Utförare: KTH

Projektslut: December 2016

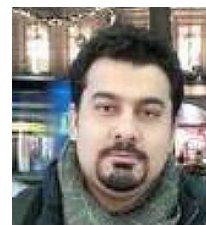
I det här projektet har ett AC-DC hybridssystem studerats, med ett anslutet multiterminal DC-nät anslutet till separata havsbaserade vindkraftparker och AC-nät. Målet med projektet har varit att analysera hur ett multiterminal DC transmissionsnät (MT-DCTS) ska drivas och styras så att det på ett effektivt sätt kan bidra till säker och kostnadseffektiv överföring av el mellan olika noder i DC-nätet. Projektet är en fortsättning på tidigare Elektra-projekt 36129, där fokus låg på DC-nätet och där olika styralgoritmer härleddes för att kunna upprätthålla DC-spänningen inom acceptabla nivåer efter olika störningar.

Ny kontrollmetod

Hur ska ett AC-DC hybridssystem drivas på ett optimalt sätt? I projektet har Mohammad föreslagit en kontrollmetod baserad på multiagentsystem som följer vindvariationerna, styr DC-spänningen i MTDC-systemet och överförde elkraft till de anslutna AC-näten för att minimera transmissions- och omvandlingsförluster, samtidigt som man beaktar priset på energi i varje växelströmssystem och den schemalagda injicerade effekten till varje AC-nät. Styrenheten arbetar i både centraliserad och distribuerad driftsmod. Regulatorn styr också systemet under störningar och garanterar optimal drift efter störningen.



Doktorand Mohammad Nazari har studerat ett AC-DC hybridssystem där ett multiterminal DC-nät ansluts till separata havsbaserade vindkraftparker och AC-nät.



Expansionsplanering

Slutligen har expansionsplaneringen av AC-DC-system studerats. En metod för att bestämma den optimala konfigurationen av MTDC-systemet har utarbetats.

Elkraftstekniska komponenter

Analys av partiella urladdningar vid godtycklig spänningsvågform

Projektledare: Hans Edin

Doktorand: Xiaolei Wang

Utförare: KTH

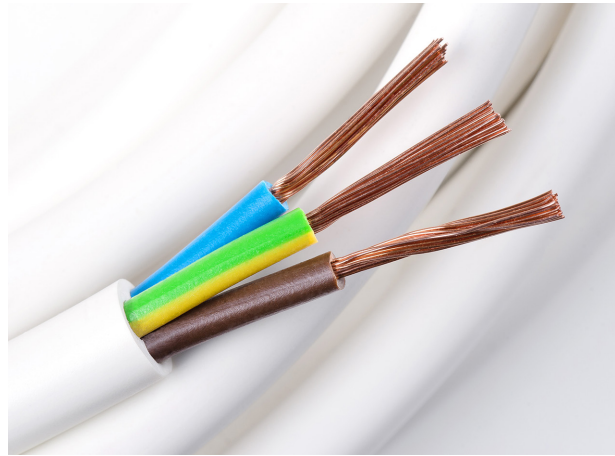
Projektslut: Juni 2015

Projektet har tagit fram en ny metod för diagnostisering av partiella urladdningar (PD) i maskinisolering och mellanspänningsutrustning. Metoden baseras på att kunna applicera spänningar av "godtycklig vågform", men som är strategiskt valda utifrån den information man önskar få fram. Till skillnad från traditionella metoder som använder sinusformade spänningar, har metoden anpassas efter den information som bäst karaktäriserar en given PD-effekt.

Risker för kortslutning

Elektrisk energi genereras och överförs vid höga spänningar, vilket ofta skapar en hög elektrisk påfrestning på den elektriska isolationen. Om isolationen är försvagad på något ställe, till exempel på grund av luftblåsor eller sprickor, kan en lokal kortslutning uppstå och elektriska urladdningar genereras. Dessa så kallade partiella urladdningar är skadliga för isolationen, och det är därför viktigt att kunna upptäcka dessa.

Projektet har tagit fram en ny metod för detektering av partiella urladdningar som baserar sig på mer lämpligt vald excitering. Det ger en tydligare bild av de fysikaliska egenskaper som styr en specifik defekts PD-karaktäristik än rena sinusspänningsmätningar.



Elektrisk energi genereras och överförs vid höga spänningar, vilket ofta skapar en hög elektrisk påfrestning på den elektriska isolationen. Xiaolei Wang har tagit fram en ny metod för diagnostisering av partiella urladdningar (PD) i maskinisolering och mellanspänningsutrustning.



Målen i projektet har varit att:

- Ta fram en mätmetod för analys av partiella urladdningar som baseras på en mer strategiskt vald excitation än traditionella sinusspänningar,
- Utvärdera vilken information som kan fås tydligare/enklare genom att välja smartare exciteringsformer samt att relatera denna information till PD-källornas karaktäristiska egenskaper,
- Utvärdera metoden på isolationssystem i allmänhet och för kraftgeneratorer (epoxy/glimmersystem) i synnerhet,
- Utvärdera hur de karaktäristiska PD-signaturerna påverkas av åldringsprocesser som exempelvis partiella urladdningar eller termisk åldring,
- Ta fram modeller som fysikaliskt kan förklara de observerade mätningarna.

Modellering av elektriska fält i isolerade nanokompositer

Projektledare: Lars Jonsson

Doktorand: Elena Kubyshkina

Utförare: KTH

Projektslut: Augusti 2015

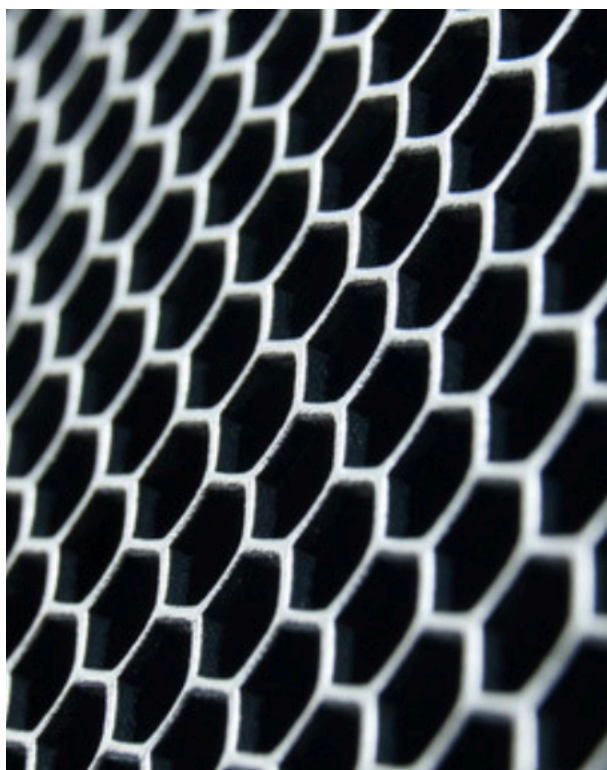
Projektet har kartlagt egenskaperna hos isolerade nanokompositer, genom att skapa modeller som kan simulera och förutsäga beteendet hos kompositerna vid höga effekter. Målet är förbättrade isolationsmaterial som minskar de elektriska förlusterna vid transport av elektrisk energi, genom att möjliggöra högre överföringsspänningar.

Högeffektiv transport

Elektrisk isolation är en kritisk faktor vid högeffekttransport av elektrisk energi. Isolationsmaterial under höga fält med nanopartiklar har vid experiment visat sig ha bättre egenskaper än tidigare kända isolationsmaterial. Varför nanokompositer kan ge bättre elektriska egenskaper är inte klargjort, och modeller som sammankopplar nanokompositers kemiska, energibaserade och elektromagnetiska egenskaper, saknas.

Elektromagnetiska fält

Projektet har tagit fram modeller som beskriver nanomaterialets makroskopiska elektriska egenskaper. Forskningsarbetet har fokuserat på att använda och utveckla mikroskopisk modellering av interaktionszonen vid höga och mycket höga pålagda elektromagnetiska fält och dess koppling till makroskopisk elektrodynamisk modellering av elektriska egenskaper hos nanokompositer.



Elena Kubyshkina har undersökt varför nanokompositer kan ge bättre elektriska egenskaper.



Multifunktionella strukturella ytor för utomhusisolering

Projektledare: Emma Strömberg

Doktorand: Ana Mendoza Alvarez

Utförare: KTH

Projektslut: December 2015

Projektet har tagit fram nya strukturella kompositmaterial för utomhusisolering (framför allt till högspänningsisolatorer) som kan användas på mycket förorenade platser. Det skyddande skiktet och den förnybara kompositytan har självrengörande egenskaper och bidrar till minskade läckströmmar och god långsiktig tillförlitlighet.

Superhydrofoba ytor ger fullt skydd mot föroreningar och förslitning av material, och har därför en mängd tillämpningsområden inom elektronik. Elektronikkomponenter utsätts för flera typer av förslitning, från exempelvis UV-strålning, värme, nederbörd, och biofilmbildning. En hydrofob-ytstruktur blir självrengörande då beläggningar sköljs bort vid dimma eller regn. Att använda sig av superhydrofoba material med självrengörande egenskaper kan minska risken för strömavbrott som orsakas av föroreningar eller väderomslag. Utmaningen är att tillverka material som bibehåller eller återbygger de självrengörande egenskaperna under hela produktens livslängd.

I projektet har superhydrofoba ytor framställts genom tillsats av mikro- och nanopartiklar till silikongummi. Bulken består av ett kompositmaterial med hydrofoba fyllmedel, vika i sin tur bildar ett superhydrofobt ytskikt. När det yttre skyddande skiktet bryts ner, kommer de superhydrofoba egenskaperna att bevaras/regenereras genom den underliggande kompositen. Därmed får isoleringsmaterialet multifunktionella egenskaper. Materialets känslighet för nedsmutsning, självrengörande



förmåga, kinetiska egenskaper samt förändringar i kemiska och fysikaliska strukturer analyseras. Nedbrytningsmönstret har studerats för att bestämma optimeringen av ytbehandlingen. En detaljerad analys har gjorts av förändringar i de elektriska egenskaperna under och efter exponering.

Resultaten från projektet visar att sprayning är den mest lämpliga deponeringsmetoden när silikongummi används som matris. De framställda materialen, bestående av ren silikon och en ytbeläggning av modifierade hydrofoba och hydrofila oorganiska ZnO nanopartiklar, uppvisar superhydrofobicitet och självrengörande egenskaper. Dessa egenskaper utvärderades genom att exponera materialet för mikroorganismer. Fler studier behövs för att bestämma den optimala torkningsmetoden.

Karaktärisering av åldring i isolationssystem med förlustström

Projektledare: Jörgen Blennow

Doktorand: Xiandong Xu

Utförare: Chalmers tekniska högskola

Projektslut: 2016

Projektet har utvecklat en teknik med tillhörande analysverktyg som kan användas för att karaktärisera åldring av isolationsmaterial genom att mäta förlustströmmen. Tekniken baseras på metoder för dielektrisk respons och har tidigare prövats och gett lovande resultat. Metoderna har nu generaliserats, formaliserats och testats ytterligare för att avgöra om förlustströmmen är en värdefull kvantitet för att karaktärisera åldring av isolationsmaterial.

Vid utveckling av material och apparater för högspänningstillämpningar är det av stor vikt att fastställa att konstruktionen har en tillräcklig livstid. Traditionellt görs detta genom att mäta tiden till sammanbrott under varierande grad av påkänning. Med tillräcklig statistik är denna metod tillförlitlig men ger få detaljer om vad som egentligen orsakar sammanbrottet. En alternativ metod är så kallad urladdningsdetektering, men en brist i denna metod är att den endast mäter snabba urladdningar. Projektet har studerat förlustströmmen, som innehåller både snabba och långsamma laddningsförändringar, som en metod för att studera åldersegenskaper.

Projektets tekniska mål har varit att utveckla en robust teknik, inklusive analysverktyg, för att använda förlustström för att karaktärisera åldring. Detta innebär att inkopplingsmetoder, sensor-design och analysmetoder har förfinats och generaliserats så långt det är möjligt.

Ett viktigt mål med projektet har också varit att avgöra om förlustströmmen är en värdefull kvantitet för att karaktärisera åldring.



Material och apparater för högspänningstillämpningar måste ha en konstruktion med tillräcklig livstid. Doktorand Xiandong Xu har undersökt hur förlustströmmen, som innehåller både snabba och långsamma laddningsförändringar, som en metod för att studera åldersegenskaper.



Elektra Project summary by Xiangdong Xu

- The behaviour of PDs in various types of test objects, has been studied, by simultaneously applying the dielectric response measurements and the stochastic PD detection. Various experiments, involving occasionally changing voltage level, circulating air around a specimen, and modifying conductivity of cavity walls, were performed and allowed identifying additional PD current components in the total current response, which are in the following named as excess currents.
- It is shown among others, by comparing the excess currents with simultaneously detected PD pulses, that contributions from weak discharges lying below the conventional PD detection threshold as well as slow contributions to the current caused by charge movements within the partial discharge area can be identified and evaluated. An important component of the excess current is a non-PD excess current that repeatedly appears in all studied types of objects and causes a decay or even disappearance of PD activity with time. At longer exposures of the dielectrically isolated cavities, it also yields oscillating interchanges between PD activity and the excess current.

Yt- och rymdladdningar och deras inverkan på polymer högspänningsisolations prestanda

Projektledare: Yuriy Serdyuk

Doktorand: Shahid Alam

Utförare: Chalmers

Projektslut: Maj 2017

Projektet ger kunskap om hur polymera material uppför sig vid höga elektriska fält i närvaro av yt- och rymdladdningar och om hur detta påverkar systemets prestanda. Studien bidrar till en fortsatt industriell utveckling av högspänningskomponenter till framtida transmissionssystem (till exempel isolatorer och kabelavslut), vilket i sin tur underlättar integrationen av förnybara energiresurser. Projektet är en fortsättning på ett tidigare Elektra-projekt, 36132-2.

Transport av energi över långa sträckor

En omställning till förnybara energikällor innebär ofta att produktionen sker på ett större avstånd från konsumenterna än vad som tidigare varit fallet. Detta gör att energi måste transporteras över längre sträckor, vilket innebär större förluster. Högspänd likströmsöverföring (HVDC) minimerar förlusterna. En viktig faktor för att öka tillförlitligheten i sådana nät är väl fungerande högspänningsisolation.

Polymera applikationer

Forskningen har fokuserat på polymer HVDC-isolation och den effekt elektriska laddningar har på och inuti fast isolation och dess prestanda. Projektets har vidareutvecklat de aktiviteter i licentiatprojektet, som hade till syfte att öka kunskapen om polymera material för högspänningsapplikationer och deras prestanda i närvaro av yt- och rymdladdningar.



Förnybara energikällor leder ofta till att energi måste transporteras över längre sträckor, vilket ofta innebär stora förluster. Högspänd likströmsöverföring (HVDC) minimerar förlusterna. Doktorand Shahid Alam har undersökt förutsättningarna.

Cellulosamaterial i isoleringsapplikationer – skraddarsydd fibrer för att erhålla nya egenskaper

Projektledare: Lars Wågberg

Doktorand: Rebecca Hollertz

Utförare: KTH

Projektslut: Maj 2017

Cellulosabaserat isolationsmaterial har fördelen att de är tillverkade av en förnyelsebar råvara till skillnad från oljebaserade polymerer vilket gör att de kan fortsätta att fylla en viktig funktion i ett hållbart och tillförlitligt kraftöverföringssystem. En tålig elektrisk isolering med låga energiförluster är grundläggande för tillförlitliga kraftöverföringssystem och en effektiv energiöverföring. Utvecklingen av ett mer hållbart kraftöverföringssystem innehåller flera utmaningar, där integreringen av förnybara energislag och av elnät med höga likspänningar (HV) är relevanta exempel. Målet med projektet har varit att kontrollera och förbättra den elektriska isoleringskapaciteten hos det cellulosabaserade isoleringsmaterial som används i högspänningstransformatörer (som är en nyckelkomponent i kraftöverföringssystem). Ett förbättrat isoleringsmaterial skulle underlätta utformningen av mindre transformatorer med hög spänningsnivå.

Den grundläggande kunskap som genererats i projektet kommer också vara relevant för att förbättra icke-cellulosabaserade isoleringsmaterial (t.ex. syntetiska polymerer och organisk-oorganiska kompositer) som finns i många HV-utrustningar. Dessutom finns det ett antal icke elektriska applikationer med vedfibrer i kompositer för t.ex. ökad mekanisk hållfasthet med hållbara resurser (förpackning), biologisk nedbrytbarhet, biokompatibilitet (implantat i medicin), och dimensionsstabilitet som kan dra nytta av de resultat som tagits fram i projektet.

Rebecca Hollertz har undersökt hur den elektriska isoleringskapaciteten hos cellulosabaserade isoleringsmaterial i högspänningstransformatörer kan förbättras.



Resultaten visar hur en kombination av flera materialegenskaper hos cellulosabaserade elektriska isoleringskomponenter påverkar deras dielektriska egenskaper. Mekanismerna för uppkomsten och utbredning av s.k. streamers, som är den mest kostsamma orsaken till transformatorhaveri, i gränsytan mellan olja och fast fas, undersöktes. Resultaten påvisar ett klart samband mellan papperets morfologi och utbredningen av streamers. Långsamma negativa streamers visar en ökad förgrening på papper, jämfört med på filmer ifrån syntetiska polymerer och mikro fibrillerad cellulosa, vilket leder till kortare streamers för papper.

Resultaten visade också att det krävdes en högre elektrisk initieringsspänning för streamers på polymerer med en permittivitet som matchar oljepermittiviteten. Permittiviteten hos oljeimpregnerat papper kan sänkas genom att minska densiteten, det vill säga andelen fibrer per volymenhet men detta sker då på bekostnad av de mekaniska egenskaperna och den elektriska genomslagsstyrkan hos materialet. För att undvika dessa två nackdelar med minskand densitet hos materialet förstärktes papper med mikro och nanofibriller av cellulosa. Med 2 vikt% och 15 vikt% kemiskt modifierade nanofibriller ökade dragstyrkeindex med 56 % respektive 89 % vilket är att betrakta som en mycket ansenlig förbättring. En treskiktsskonstruktion, med två omgivande papper som lamineras med ett skikt av mikro fibrillerad cellulosa, visade sig också ha en 47 % högre DC genomslagsstyrka jämfört med ett referenspapper.

Kraftelektroniska system

Kraftelektroniska omvandlare för DC-nät med ultrahög spänning

Projektledare: Staffan Norrga

Doktorand Stefanie Heinig

Utförare: KTH

Projektslut: September 2017

En större andel förnybar elproduktion kommer att förändra de nationella kraftsystemen, så att de blir mer globala. Kraftsystemen måste anpassas till den framtida elförsörjningens villkor med stora långväga effektlöden. För att ska kraftsystemen ska kunna hantera detta, behövs omvandlare för likströmsnät med ultrahög spänning som minskar överföringsförlusterna.

Ultrahögspända likströmsnät

Under projektets gång har ny kraftelektronik som är tillämpliga i ultrahögspända likströmsnät (UHVDC-nät) och som har bättre egenskaper och lägre kostnad än dagens teknik identifierats.

Hantering av kortslutning

Den första fasen av projektet fokuserade på nya omvandlare för HVDC-nät, vilket kräver att de kan hantera kortslutningsfel. Omvandlaren altertearm converter (AAC) valdes för en mer fördjupad analys eftersom den möjliggör en avsevärd minskning av antalet celler och en minimal storlek av cellkondensatorerna, vilket ger lägre kostnader. Analysen som gjorts indikerar att den nödvändiga energilagringens förmågan för AAC:n faktiskt är lägre än för de modulära multnivåströmriktare (MMC) som används i nuläget, men en nackdel är att styrsystemet blir mer komplicerat.

Moderna högspänningsomvandlare

Den andra fasen i projektet fokuserade på de submoduler som bygger upp moderna högspän-



Högspända likströmsnät (HVDC-nät) kommer sannolikt att vara det mest kostnads-effektiva sättet att ansluta avlägsna och fluktuerande energikällor i stor skala. Stefanie Heinig har undersökt frågor som är relaterade till apparater som behövs för att realisera sådana nät, med speciellt fokus på ultrahöga spänningar.



ningsomvandlare. En speciellt lovande ny submodul semifullbryggan (SFB), utvecklad vid KTH, valdes för djupare undersökningar. Den uppfyller krav på felhantering i likströmsnät, i kombination med minimala hårdvarukostnader.

SFB har ännu inte studerats i detalj, därför är flera forskningsfrågor fortfarande obesvarade. En fullskalemodell av SFB-submodulen har konstruerats och experimentellt arbete för att validera de teoretiska modellerna har genomförts.

Ökad användning av förnybara energikällor

Flera viktiga frågor relaterade till de apparater som behövs för att realisera HVDC-nät har tagits upp. Alla omvandlingsaspekter som har studerats i samband med projektet syftar till att möjliggöra ökad användning av förnybara energikällor och för att göra övergången till ett fossilfritt samhälle snabbare.

Ultrasnabba elektronikbaserade strömbrytare som möjliggör maskade UHVDC-nät

Projektledare: Hans-Peter Nee

Doktorand: Tim Augustin

Utförare: KTH

Projekt slut: Maj 2017

Högsnänd likströmsteknik kan underlätta väderberoende elproduktion. Överföring med likström ger lägre förluster än växelström, vid överföring över längre avstånd. Kortslutning av ett DC-nät kan på några få millisekunder leda till att nätet blir spänningslöst. Det behövs därför snabba brytare som kan koppla bort fel. I projektet har den typen av brytare utvecklats.

Växelströmbrytare

Växelströmbrytare är inte lämpade felhantering i HVDC-system, eftersom likströmmen saknar naturlig nollgenomgångar och växelströmbrytare dessutom är för långsamma. Många olika brytarkoncept för HVDC har föreslagits. I början av projektet analyserades existerande koncept och en artikel om modellering av sådana brytare har publicerats på en vetenskaplig konferens. De utvecklade modellerna är förenklade, eftersom de skall användas i simuleringar av likströmsnät, som är väldigt beräkningsintensiva. Dessa simuleringar är också väsentliga för analys av skyddssystem för framtida-HVDC nät.

Testkretsar

De flesta testresultat av HVDC-brytare som har publicerats av olika företag och forskare baseras på tämligen enkla testkretsar. Dessa testkretsar skapar inte betingelser som är representativa för påkänningarna på brytaren i ett verkligt HVDC-system. I en andra publikation analyseras olika typer av fel som kan uppträda i en HVDC-punkt-till-punktöverföring. Resultaten påvisar tydliga skillnader



För en hållbar elektrisk energiförsörjning måste mer förnyelsebara energikällor integreras i elnätet, men i praktiken är det inte så enkelt. HVDC-nät är en möjlig teknisk lösning. Säker drift av sådana HVDC nät kräver snabba och kostnadseffektiva likströmbrytare som doktoranden Tim Augustin har undersökt."



jämfört med testkretsresultat avseende omriktarens hantering av fel på likströmsidan och transmissionsledningens vägenskaper.

I projektets nästa steg kommer experiment att utföras för att förbättra existerande HVDC-brytarkoncept och förmodligen kommer också nya koncept att studeras. Därför byggs för närvarande en ny testkrets i KTH:s kraftelektroniklaboratorium. Testkretsen kommer att möjliggöra provning av olika scenarier som exempelvis proaktiv utlösning, automatisk återinkoppling och brytning av lastström.

Elektromagnetiska system

Magnetiseringsströmmen som indikator för transformatorers tillstånd

Projektledare: Göran Engdahl

Doktorand: Claes Carrander

Utförare: KTH

Projektslut: Juli 2015

Projektet har klarlagt sambandet mellan en transformator kärnas tillstånd och magnetiseringsströmmen med avseende på bland annat virvelströmmar, plåtskador och kärngeometri. Syftet var att undersöka om detta kan vara ett effektivt sätt att diagnostisera transformatorn för att kunna bestämma åtgärder för reparation och underhåll.

Transformatorkärnan

Transformatorkärnan är en kostsam del av en transformator för ägaren, både vid inköp och i form av monetära förluster under drift. Därför är det önskvärt att ha en väl fungerande metod för att kunna diagnosticera transformatorkärnan, för att kunna förutsäga och undvika fel och därigenom optimera transformatorns prestanda.

Magnetiseringsströmmar

Genom litteraturstudier, datormodeller och experiment har detta projekt undersökt hur man genom att analysera magnetiseringsströmmen kan upptäcka funktionsstörningar hos transformatorkärnan. Resultaten visar att mätningar av magnetiseringsströmmen ger en förstärkningseffekt, jämfört med att endast mäta tomgångsförlusten, vilket gör att även små variationer i kärnans tillstånd kan upptäckas. Metoden har visat sig vara lätt att använda och kan appliceras på flera typer av transformatorer. Studien beskriver också metoder Projektet har också tagit fram metoder för att uppskatta kapacitansdelen av tomgångsströmmen, samt för att mäta magnetiseringströmmen i en trefas transformator.



Modellering av krafttransformatorer vid likströmsmagnetisering

Projektledare: Göran Engdahl

Doktorand: Seyed Ali Mousavi

Utförare: KTH

Projektslut: November 2015

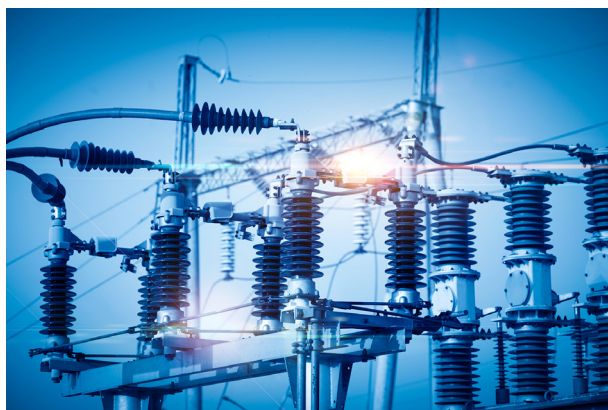
Projektet har utvecklat modeller som visar hur en påtryckt spänning med likström påverkar magnetiska flödesvägar, förlustutveckling samt reaktiv effektförbrukning i krafttransformatorer. Överlagrade likströmmar orsakar ökade akustiska nivåer, magnetiseringsförluster och innebär en risk för spänningskollaps och haveri. En bättre förståelse för hur sådana strömmar uppstår och betar sig behövs för att kunna förekomma eller minska dessa problem.

Allvarliga spänningsfall

Geomagnetiskt inducerade strömmar, förkortat GIC, i krafttransformatorer, eller obalanserade AC/DC-omvandlare kan orsaka överlagrade likströmmar. Detta kan leda till spänningskollaps, eftersom det uppstår en obalans i behovet av reaktiv kompensering vilket orsakar allvarliga spänningsfall i nätet. Detta projekt ska vidareutveckla befintliga elektromagnetiska simuleringsmodeller av krafttransformatorer så att påverkan från en påtvingad likströmsspänning kan kartläggas. Modellen ska omfatta påverkan på de magnetiska flödesvägarna, förlusterna, den reaktiva effektförbrukningen, magnetiserade fält längs massiva byggelement, tvärmagnetisering av kärnplåtar samt relationen mellan magnetflöden med avseende på cirkulerande strömmar.

Ny algoritm för digitala mätningar

De algoritmer och modeller som tagits fram inom projektet presenteras i Mousavis avhandling, som



Överlagrade likströmmar orsakar ökade akustiska nivåer, magnetiseringsförluster och innebär en risk för spänningskollaps och haveri. Seyed Ali Mousavi har utvecklat modeller som visar hur en påtryckt spänning med likström påverkar magnetiska flödesvägar, förlustutveckling samt reaktiv effektförbrukning i krafttransformatorer.



lades fram 17 mars 2015. En ny algoritm för digitala mätningar av de magnetiska materialen beskrivs, samt nya och förbättrade hysteresmodeller. Modellerna leder till en ökad förståelse för fenomenet, och förslag på hur de negativa effekterna kan minskas presenteras också. De föreslagna modellerna kan även användas för design av framtida transformatorer.

Elkraftstekniska försörjningssystemets interaktion med fordonssystemen

**Optimal drift och dimensionering
av banmatningssystem**

Projektledare: Lars Abrahamsson

Utförare: KTH

Projektslut: Juni 2016

Projektet har bestått av modellutveckling och systemstudier av elektrifierad järnväg. Modellerna är ämnade för elkraftsystemanalys och beaktar järnvägsspecifika förutsättningar som lasternas beroende av tågets vikt, gångmotstånd, motortyp, nätstyrka och liknande. Genom förbättrad drift och design kan existerande utrustning nyttjas mer effektivt vilket kan minska förluster, förbättra spänningskvaliteten och underlätta för högre trafikvolym.

Energieffektiva transporter

Järnvägar är ett av de mest energieffektiva transportmedlen, i synnerhet rena elektrifierade järnvägar. Men fortfarande kan energieffektiviteten förbättras i många avseenden. En stor andel av de existerande strömförsörjningssystemen är gamla och behöver byggas ut för att kunna hantera växande trafikvolym. Smartare driftstrategier skulle göra det möjligt att utnyttja existerande utrustning mer effektivt.

Detta projekt omfattar två övergripande områden, som delvis överlappar varandra:

- Modellutveckling och optimal drift av järnvägens kraftsystem. Detta område omfattar också numeriska studier för att visa fördelarna med t.ex. aktiv omvandlare för drift, installation av transmissionskablar med likström för matning av järnvägen, och användning av omformare istället för transformatorer i transformatorstationer.



- Optimal utformning av järnvägssystemets strömförsörjning, och en steg-för-steg-modellutveckling från optimal utformning i ett tekniskt perspektiv till optimala investeringar i kraftsystemet där hänsyn inte tas till teknisk-ekonomiska begränsningar. Ekonomiska aspekter införs, underförstått investeringar över tiden, eftersom budgeten som ges ofta är årlig eller baseras på andra, givna perioder. När sådana modeller är stabila kan osäkerheter introduceras till investeringsmodeller.

Målen med projektet var:

1. Föreslå långsiktiga realiserbara strategier för att driva ett framtida, optimalt kontrollerat järnvägsenergisystem,
2. Ta fram ytterligare förbättrade rörliga lastmodeller och tillämpat dessa modeller på utmanande och visionära problem,
3. Utveckla och generalisera de modeller som erhållits för optimal design och konfiguration av järnvägsenergisystem

Elkraftstekniska försörjningssystemets interaktion med fordonssystemen

Snabbladdning av elbussar i distributionsnätet

Projektledare: David Steen

Utförare: Chalmers

Projektslut: Augusti 2017

Att elfordonen kommer stort, och att de är här för att stanna, är många överens om. Många kommuner satsar på elbussar, men det finns fortfarande en del praktiska problem att lösa. För att en elbuss ska kunna fungera i kollektivtrafiken, måste det vara möjligt att snabbt ladda batterierna. David Steen har undersökt hur distributionsnätet kan påverkas av att en stor mängd bussbatterier laddas vid höga effekter.

Uppladdning mot 10kV-nätet

En buss designas antingen med stora batterier för att laddas under en hel natt eller med mindre batterier som kräver laddning under dagen. Davids forskning är fokuserad på att ladda bussen vid bussens ändhållplats och mellan de olika turerna. Resultaten visar att de flesta områden som har undersökts kan klara av ett flertal laddstationer utan problem om man kopplar upp direkt mot 10 kV nätet. I 400 V nätet är det dock svårt att hantera de höga effekter som krävs.

Laddning under gång

I projektet har tre olika metoder undersökts som skulle kunna göra det möjligt att snabbladda bussar även i områden där kapaciteten i distributionsnätet är låg. En förutsättning är att laddningen ska kunna ske utan att elnätet behöver förstärkas. Om laddstationerna utrustas med ett energilager, kan dessa laddas medan bussen är ute och kör. När bussen sen kommer in till stationen kan den laddas både via nätet och med det batterilager som finns på stationen. Detta minskar påverkan på elnätet.



Den extremt låga miljöpåverkan, både lokalt och globalt, från elbussar kommer att leda till att allt fler kommuner kommer att köpa in elbussar som kan gå i kollektivtrafik. Trycket på industrin att ta fram miljöanpassad teknik kommer att öka, säger David Steen.



Lastflexibilitet

En annan möjlighet är lastflexibilitet. Det innebär att om påverkan på elnätet är stor under vissa tider när bussen laddas skulle man kunna styra ner övriga laster i området, till exempel eluppvärmda byggnader. Minskningen skulle vara kortvarig och komforten i bostaden skulle därför påverkas ytterst lite. Ett annat exempel, för en plats som Chalmers till exempel, är att dra ned på ventilationen under en viss tid och på så sätt frigöra kapacitet för att snabbladda bussar.

Smartare bussladdare

En tredje möjlighet är att utveckla smartare bussladdare som utöver att ladda batteriet i bussen även kan producera eller konsumera reaktiv effekt från elnätet. Det betyder i korthet att man kan använda laddstationen för att stabilisera spänningen på elnätet. Metoden används redan idag för solcellsomriktare, men är än så länge inte så vanlig bland fordonsladdare.

SLUTRAPPORT ELEKTRA

All den forskning som har ingått i Elektra är av intresse både för energiindustrin och för samhället i stort. Elektra är ett forsknings- och utvecklingsprogram som under 25 år har byggt upp kunskap och kompetens inom elkraftsteknik på universitet och högskolor. Och för att kunna ställa om till ett hållbart energisystem behöver vi kompetens både i energibranschen och i samhället i övrigt.

Elektras grundidé har varit att formulera och lösa forskningsproblem som är relevanta för elproduktionsföretag, elnätsföretag och tillverkande företag och som samtidigt leder till en bra utbildning för forskarstuderande och seniorforskare inom akademien. Elektra är ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och energiindustrin med intressenter bland större elanvändare, högteknologiska företag, konsultföretag och myndigheter.

Resultaten från programmet har bland annat påverkat användningen av elenergi och lett till förändringar av regleringsfrågor som bidragit till en bättre funktion av elkraftmarknaden.

Vi gör energivärlden smartare!

Genom samarbete och dialog bedriver vi energiforskning så att ny kunskap skapar värde för näringsliv, kunder och samhället i stort. Vi är det naturliga navet i energiforskningen – en opartisk aktör till nytta för framtidens energisystem.



Energiforsk AB | Org.nr 556974-2116 | Telefon: 08-677 25 30 | Fax: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se
Besök: Olof Palmes gata 31, Stockholm. Nordenskiöldsgatan 6, Malmö | Post: 101 53 Stockholm | www.energiforsk.se