



Energimyndigheten

VINDKRAFT – 1/05

Dynamiska modeller av vindfarmer

Föreliggande rapport utgör en lägesrapportering från IEA-projektet Dynamiska modeller av vindfarmer. Rapporten har utarbetats av Ola Carlson, Chalmers, inom ramen för Elforsks vindkraftprogram.

1. Inledning

Vindkraftsutvecklingen har nu nått så långt att vindfarmsutbyggnad i enheter upp till 1000 MW planeras. För att denna utbyggnad skall ske på ett säkert sätt krävs elsystemstudier. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för elteknik har deltagit i internationellt samarbetet kring dessa frågor. Samarbetet sker inom ramen för IEA, Annex XXI "Dynamic models of wind farms for power systems studies". I projektet har modeller presenterats, prestanda jämförts och mätdata dokumenterats.

1.1 Bakgrund

För att planera en storskalig utbyggnad av vindfarmer är det väl känt att transient/dynamisk stabilitet av det elektriska nätet måste studeras. Denna typ av studier pågår i ett flertal länder. Normalt utförs studierna med kommersiellt tillgänglig programvara, där modeller av, till exempel, kolkraftverk och vattenkraftverk ingår.

Vad som saknas idag är utprovade och generella modeller av vindkraftverk. Utveckling och validering av vindkraftsmodeller är ett tidskrävande arbete som väl lämpar sig för internationellt samarbete då vindkraftverken är liknande i alla länder. Detta arbetsområde diskuterades på ett IEA vindkraftsexpertmöte "Large scale integration into the grid" den 6-7 november 2001, Hexham, England. Detta var startpunkten för det IEA-projekt som redovisas i denna rapport.

Arbetet inom detta projekt ger ett bidrag till de studier som behöver utföras för att integreringen av vindkraften i det svenska kraftsystemet skall bli så effektiv som möjligt. Då arbetet innebär att delta i ett internationellt samarbete är informationsutbytet med andra länder en viktig del av arbetet. Det elsystemmodellarbete som kommer att utföras leder mot en kostnadseffektiv nätintegration med hög säkerhet, goda skyddsfunktioner och god elkvalitet

1.2 Mål

Den övergripande målsättningen med arbetet är att bistå planering och konstruktion av vindfarmer genom att samordna utvecklingen av vindfarmsmodeller lämpliga för att utvärdera elkraftsystemets dynamiska och transienta stabilitet. Arbetets direkta målsättning är följande:

- Etablera ett internationellt forum för utbyte av kunskap och erfarenheter inom området ”vindfarmsmodellering för elkraftsystemstudier”
- I ordningsställande av en gemensam databank för jämförande studier av vindkraftverks- och vindfarmsmodeller. Detta för att säkerställa att de nationellt framtagna modellerna håller en hög kvalitet.
- Beskrivning och utvärdering av vindfarmsmodeller.

1.3 Avgränsningar

För vindkraftsmodellerna förutsätts att teoretisk utveckling och praktisk utvärdering genom mätningar på befintliga vindkraftverk inte ingår i IEA-arbetet, utan detta förutses pågå inom nationella forskningsprojektet.

2. Projektets genomförande

Projektet leds av en ”Operating Agent”. De olika deltagarländerna bidrar till projektet enligt en ”Work Description” som varje land själv meddelar.

2.1 Operating Agent

Operating Agent i IEA-Annexet är SINTEF Energy Research i Norge. Dess huvuduppgifter är att rapportera Annexets arbete till ”Executive Committee” samt att samordna alla resultaten i form av en databank med modeller och i en slutrapport.

Som deltagare i Annexets verksamhet måste varje land bidra med kostnaderna för Operating Agents arbete i Annexet. Arbetet är budgeterat till 140 000 Euro under en period av 3,5 år. Vidare bedömdes att 10 länder önskade delta i Annexet. Detta skulle ge en årlig kostnad på 4 000 Euro per deltagarland. I dagsläget har 9 länder skrivit under den formella deltagardeklarationen. Eventuellt kommer ytterligare ett land att delta.

2.2 e-room och databasstatus

Inom projektet har det skapats ett ”e-room”, det är ett elektroniskt rum eller en hemsida som kan nås av alla som har behörighet. På denna hemsida dokumenteras projektets verksamhet i form av arbetsdokument, ansökan, mötesanteckningar, statusrapporter, relevanta artiklar, rapporter. Här samlas också mätdata i en enkel databas. Varje projektdeltagare har tillgång till e-rummet, det är dock svårt att ha e-rummet öppet för alla i hela världen. Det vore inte heller rätt då mycket arbete ligger bakom de mätdata som samlats och de rapporter som skrivs. Då Elforsks medlemmar önskar ta del av innehållet i databasen ombeds de ta kontakt med Ola Carlson, Chalmers. Den inom projektet planerade databasen är uppsatt och i drift hos Sintef, följande data är inlagda i databasen:

- WT500; Data från ett kraftverk med konstant varvtal och överstegringsreglering med effekten 500 kW, mätningar från normal drift.
- Alsvik; Data från 4x180 kW vindfarm (konstant varvtal, överstegringsreglerad), mätningar från normal drift och spänningsdipp.
- Olos 5x600kW; Data från 5x600 kW vindfarm (konstant varvtal, överstegringsreglerad), mätningar från normal drift.
- Azores; Data från 4x100 + 1x150 kW vindfarm (konstant varvtal, överstegringsreglerad), mätningar från normal drift.
- Västergötland; Mätningar på en DFIG vindturbin, data från en spänningsdipp.
- Risø Simulerad jämförelse mellan svar på spänningsdipp för en turbin med fast varvtal. (simuleringar i EMTDC och DIgSILENT).

Mätningar pågår fortsättningsvis på kraftverken i Olos för att fånga tillfällena med nätstörningar. Vidare pågår mätningar på Smöla, där finns 20*2MW kraftverk med konstant varvtal och överstegringsreglering. Dessutom planeras mätningar att starta under vintern 2004/05 på en 70 MW vindfarm i Donegal på Irland. I denna farm har vindkraftverken tyristorstyrda kompenseringkondensator, detta för att klara spänningshållningen på det svaga nätet.

Det är med spänning som forskarna på Chalmers ser fram mot att kunna använda mätningar från större vindfarmer. Dessa kommer väl till pass då arbetet med att utveckla aggregerade modeller för vindfarmer kommer igång. Detta är planerat att ske inom pågående forskningsprojekt under 2005/06.

2.3 Sveriges medverkan i internationellt projekt

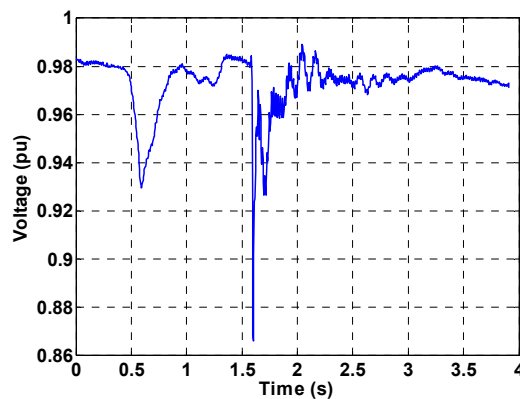
Den forskning som Chalmers bedriver inom området elsystem för vindkraftverk passar utmärkt för medverkan i Annex XXII "Dynamic models of wind farms for power systems studies" arbete. Vidare har Chalmers och därmed Sverige fått viss tillgång till den erfarenhet inom området som de övriga deltagarna har. Detta är modeller av vindkraftverk, och då speciellt elektriska modeller, samt mätningar på enskilda verk så väl som större vindfarmer, med en effekt upp till 40 MW (70 MW är planerat). Detta internationella samarbete har gett möjlighet att vidareutveckla det arbete som utförs på Chalmers samt gett möjlighet till att effektivisera forskningen inom området. Den forskning som har utförts och utförs i nedan listade projekt har haft en direkt anknytning till Annexets verksamhet. Övriga vindkraftsprojekt inom Institutionen för elteknik har också i mindre del anknytning till Annexet.

- Stabilitetsfrågor i transmissionsnätet på grund av vindkraftsanslutningar, Vindforsk (pågått under 1,5 år)
- Styrmetoder för vindkraftverksgeneratorer och vindkraftverk, Vindforsk (avslutat)
- Modeller av vindkraft för elsystemstudier, Sydkrafts forskningsstiftelse (avslutat)
- Nordiskt samarbetsprojekt "Large scale integration of wind energy into the Nordic Grid", varar i tre år pågått i ett år.
- Reglering av vindkraftverk med dubbelmatad asynkrongenerator (DFIG-verk) i syfte att öka störimuniteten och bistå nätet vid nätstörningar (avslutas under 2005 med doktorexamen)

- Gästforskare, Pablo Ledesma från Universitet Carols III i Madrid har varit verksam inom projektet med simuleringar och analys av mätdata, han är också huvudförfattare av en artikel som är under slutredigering.

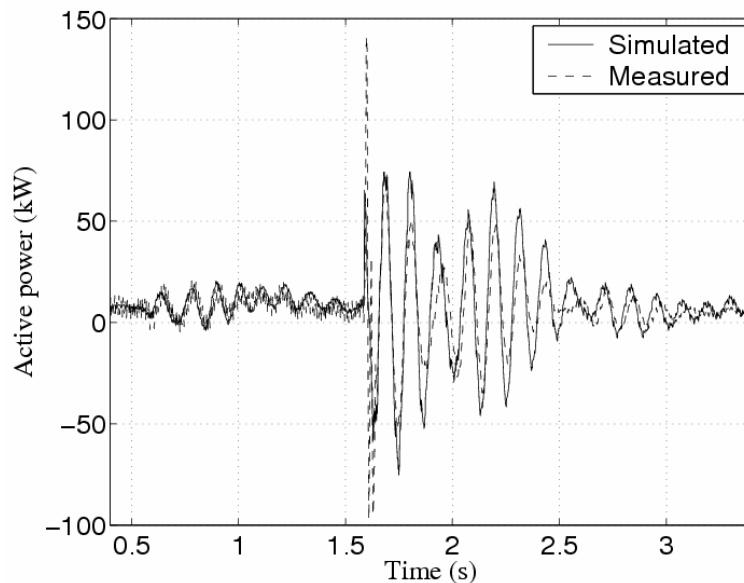
Chalmers har bidragit med modeller av vindkraftverk som är anpassade för elsystemanalys. Modellerna är anpassade för dynamisk såväl som transient analys med möjlighet att studera felfall på nätet. Vidare har Chalmers lagt in mätningar från vindkraftverk i Annexets databank. Mätningarna innehåller metrologiska, mekaniska och elektriska storheter (vindhastighet, vindriktning, aktiv- och reaktiv effekt).

Arbetet har omfattat att anpassa befintliga modeller och mätdata till det formatet som anses lämpligt för Annexets databank. Mätningar från Alsviks 180-kW vindkraftverk och ett modernt vindkraftverk i Västergötland ligger i databasen. Vindkraftverket i Alsvik är utrustat med en kortsluten asynkrongenerator och är överstegringsreglerat. Kraftverket i Jung har en dubbelmatad asynkrongenerator och bladvinkelreglering. Mätningarna innehåller normal drift och drift vid spänningsdippar. I nedanstående figur 1 ges exempel på den spänningsdipp från Alsvik som används vid jämförelse av de olika ländernas modeller.



Figur 1. Uppmätt spänningsdipp från Alsvik vindkraftverk.

Vidare är det planerat att utföra jämförelsestudier (benchmarking) av Chalmers modeller mot andra forskargrupperns modeller och mot mätningar. Chalmersmodeller har jämförts mot mätningar och det har visat sig att modellerna har god överensstämmelse med mätningar. I figur 2 jämförs den uppmätta och beräknade aktiva effekten vid spänningen enligt figur 1. Vid denna jämförelse har en förenklad modell med bortseende från transienter i statorn används, vidare ingår en mekanisk modell med två mekaniska massor. Arbetet har resulterat i en vetenskaplig artikel som är under slutförande.



Figur 2. Uppmätt och simulerad aktiv effekt vid spänningsdipp

2.4 Konferenser och projektmöten

Projektets internationella samarbete har inneburit deltagande i Annexets möten. Det är planerat 2 möten per år under 3,5 år och denna plan har följts. Deltagandet i det samarbetet har i huvudsak utförts av Ola Carlson och Torbjörn Thiringer, huvudansvarig för samarbetet är Ola Carlson.

I samarbete med det nordiska projektet "Large scale integration of wind energy into the Nordic Grid" anordnades en internationell konferens på Chalmers den 1-2 mars 2004 med namnet: "Nordic Wind Power Conference - NWPC'2004: Grid Integration and Electrical Systems of Wind Turbines and Wind Farms". Som namnet antyder fokuserade konferensen på integration av vindkraftverk/farmer i elnätet samt elsystem (generatorer och omriktare) till vindkraftverk och vindfarmer. Konferensen lockade totalt 100 deltagare från kraftindustrin, myndigheter, forskningsinstitut och universitet. Då konferensen hölls på Chalmersområdet var även teknologer inbjudna, cirka 30 stycken visade intresse och deltog i konferensen. Samtliga presentationer och publikationer från konferensen finns att tillgå på Institutionen för eltekniks hemsida, www.elteknik.chalmers.se De tio bästa artiklarna har fått möjlighet att medverka i ett specialnummer av tidskriften "Wind Energy", numret planeras att publiceras under våren 2005.

En sak vi vill lyfta i denna rapport är Irlands arbete med att dokumentera de kommersiellt tillgängliga modellerna och programvarorna som lämpar sig för elsystemstudier. Nationell Grid, som nätbolaget heter, har fyra personer arbetandes med denna fråga samt med att utföra simuleringar. Denna dokumentation finns tillgänglig på deras hemsida under adressen:

<http://www.eirgrid.com/EirGridPortal/uploads/Regulation%20and%20Pricing/Appendix-8th%20November.pdf>

Den visar att de flesta tillverkare har tillgång till enklare modeller, ett fåtal modeller finns tillgängliga som lämpar sig för dynamiska studier och nästan inga är validerade mot mätningar. Samtliga modeller gäller specifika vindkraftverk.

Vidare har Irland tillsvidare stoppat alla nya anslutningstillstånd för vindfarmer på grund av att det saknas validerade modeller av kraftverk och vindfarmer för elsystemstudier.

2.5 Projekt i samverkan

Som tidigare nämnts i rapporten är detta IEA-projekt ett forum för utbyte och jämförelse av vindkraftsmodeller för elsystemstudier. Det fodras alltså några projekt på hemmaplan där den verkliga forskningen utförs. Denna typ av IEA-projekt kan även verka som språngbräda vid skapandet av nya projekt, så har det definitivt varit i fallet med det nordiska projektet "Large scale integration...". Då Nordisk Energiforskning utlyste sitt forskningsprogram kunde det lätt konstateras att mycket som framhölls som viktiga delar i ett lämpligt forskningsprojekt redan fanns beskrivet inom IEA-projektet. Kontakten med de nordiska samarbetsparterna fanns redan etablerad inom IEA-samarbetet, givetvis hade vi inom Norden kontakt redan innan IEA-projektet, men nu fanns en arbetsstruktur att utgå ifrån, vilket gjorde och gör samarbetet lättare och effektivare. Inom det nordiska projektet är 4 doktorander verksamma inom respektive organisation, Risö/VTT/ Sintef/Chalmers.

Ytterligare en positiv effekt är att våra nationella projekt sätts in i ett internationellt sammanhang och än mer fokuserar på relevanta områden. Strukturen för vindforskningen vid Chalmers har nu de tre nivåer man kan önska sig:

1. Internationell, genom IEA- och Cigresamverkan
2. Nordisk, genom vårt nordiska projekt
3. Nationellt, genom doktorandprojekt och mindre forskningsprojekt

Vidare har vi samordnat referensgruppen för några av projekten, i denna referensgrupp har vi följande deltagare:

Urban Axelsson, Vattenfall utveckling,
Roger Petersson, Göteborg Energi Nät AB,
Åke Juntti, Sydkraft Elnät Syd.
Elisabet Norgren, Svenska kraftnät
Åke Larsson, Swedpower

3. Slutsatser

Arbetet inom IEA-projektet börjar ge resultat, den gemensamma mät databasen har intressanta datafiler och mer är på gång. Några olika modeller har presenterats. Några har validerats mot mätningar andra bara jämförts med olika programvaror. Arbetet med att jämföra de olika ländernas modeller har inte påbörjats, detta är ett arbete som kommer att bli mycket givande om gruppen kan komma till en gemensam syn på de olika modellernas giltighet. Det återstår mer än ett år av IEA-projektet och mycket kommer att hända på slutet. Viss liten kritik kan riktas mot att projektet inte hade full fart från början. Till viss del beror det på att några länder, dock ej Sverige, hade svårt att få klartecken vad det gäller finansieringen. Sedan bygger samarbetet på att det finns bakgrundsprojekt på hemmaplan men detta varierar mellan länderna. Chalmers har under projekttiden lämnat efterfrågade

mätdata till databasen och tack vara flera bakgrundprojekt har Institutionen för elteknik kunnat vara aktiva i de möten som har hållits.

Ett tydligt exempel på vikten av bra vindkraftverksmodeller för elsystemstudier är att Irland stoppat alla nya anslutningstillstånd till dess att förtroendegivande elsystemstudier kan utföras.