



Vindkraften blir storskalig

Mikael Dahlgren, Harry Frank, Mats Leijon, Fredrik Owman, Lars Walfridsson

Sporrad av ny teknik har tyglandet av vindkraft för generering av elektrisk energi överträffat alla prognoser med ca 13,4 GW. Det motsvarar drygt 20 stora fossileldade kraftstationer. Nu lovar en nyare teknik ännu mer. Det är det integrerade vindkraftssystemet Windformer™. Systemet är konstruerat för havsbaserad eller kustnära generering i stora vindparker där energin matas direkt ut på nätet. Windformer ökar utbytet med upp till 20 % och minskar underhållskostnaderna under livstiden med hälften. Genom att använda kabelteknik, som ursprungligen utvecklades för den nya generatoren Powerformer™, har ABB skapat en vindgenerator som varken behöver växellåda eller transformator. Det gör de blivande vindparkerna med sådana vindkraftverk mer tillförlitliga och belastar systemet med lägre förluster.

1 Medelvindhastigheter till havs betyder högre energiproduktion och minskad påverkan på den lokala miljön.



Med en genomsnittlig ökning av 40 % under de senaste fem åren är vindkraften den snabbast ökande energikällan i världen. Under 1999 ökade denna marknad med nära 4 GW och 51 %. Därmed var den sammanlagda installerade elektriska kapaciteten för vindkraft uppe i 13 932 MW med ungefär 30 TWh levererade vid slutet av året [1].

Undersökningar visar att världens behov av elektricitet ökar mellan 2000 och 2020 från 13 000 till 23 000 TWh. Den ökningen krävs främst i utvecklingsländerna, medan ökningen i de industrialiserade länderna inskränker sig till ca 1,8 % per år, vilket motsvarar 3500 TWh under samma tidsperiod. För att täcka ökningen av elektricitet med ytterligare 10 000 TWh fram till år 2020 måste nyinstallationer till [2].

För ekologiska och miljömässiga

aspekter genomslagskraft vid ny installerad elektricitetsproduktion, växer förnyelsebara energikällor kraftigare än om enbart ekonomiska hänsyn tas. Det så kallade Kyoto-protokollet, som behandlar CO₂-problemet, är en av de ekologiska/miljömässiga aspekterna som talar för de förnyelsebara energikällorna. I de områden i världen där energimarknaden är baserad på miljöaspekter, som Nordamerika, Västeuropa, Japan, Australien och Nya-Zeeland [1], förväntas de förnyelsebara energikällorna växa kraftigast.

Under 1999 nyinstallerades 3922 MW vindkraftkapacitet. Utvecklingen pekar på en fördubbling inom 3–4 år. Världsmarknaden omsatte under 1999 3 miljarder USD och växer med ca 20 % per år [1].

Vindkraften har stor tillväxtpotential. Stor del av vindkraften placeras till havs

1, där högre energiproduktion erhålls på grund av högre medelvindhastigheter. Havsplaceringen minskar påverkan i närmiljön, eftersom kraftverken placeras utom hör- och synhåll. Utvecklingen går mot större enheter, och vindkraften kan nu ses som en viktig energikälla, med större vindparker kapabla att leverera hundratals MW. Vindkraftsindustrin går in i en fas, där leverantörerna måste ta ansvar för hela vindkraftssystem istället för att bara leverera enskilda små vindkraftverk. För att kunna bygga upp ett sådant system baserat på vindkraftverk, behövs gedigen kunskap om energisystemet i sin helhet, från energikällan till förbrukare.

Windformer™, det nya vindkraftssystemet som ABB har utvecklat, är anpassat för vindkraftparker. Idag baseras Windformer-konceptet på att de enskilda vindkraftverken har hög uteffekt, 3–5 MW. Denna generatorstorlek medför många fördelar. För det första betyder det en reduktion av arealbehov för given effekt. Likaså minskar synintrycken **2** och oljuden från vindkraftverken. Windformer generatoren är baserad på Powerformer™ teknologi [3,4,5] med en permanentmagnetiserad rotor med variabelt varvtal, som är direktansluten till turbinen. Den lågfrekventa spänningen (> 20 kV) från generatoren är omvandlad till likström via dioder. Vindkraftverken kopplas ihop i grupper, där överföring av effekten sker via en nätstation direkt till de enskilda kraftleverantörernas nät **3**.

Den "enkla" tekniken

Filosofin med Windformer är de "enkla" lösningarna och därmed stabila system



2 Eftersom Windformer™ har högre uteffekt behövs färre vindkraftverk (vänster) än för en jämförbar vindpark utförd i konventionell teknik (höger).

(Photomontage)

som levererar energi med hög tillförlitlighet och låga förluster. Enkelheten i Windformer kan summeras enligt följande:

Primär energi	Vind, gratis
Rotor	Järn, permanentmagneter
Stator	Järn, kablar
Likriktare	Dioder
Transmission	Kablar
Omriktare	Transistorer

Windformer-elkraftsystemet

I och med att vindparker byggs, växer också behovet av ansvar från leverantören för hela elkraftsystemet. Systemen optimeras och inte bara de enskilda komponenterna. Detta innebär ökade krav på helhetssyn, från system som tar tillvara vindens energi, konverterad till elenergi på högspänningsnäten.

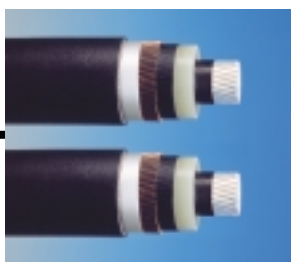
ABB:s Windformer elkraftsystem utgår från en helhetslösning för vindparker, där det bästa systemet för olika förhållanden kan väljas.

Moduler för vindkraftparker

4 visar en Windformer-modul som idag levererar effekt upp till 40 MW. Modulerna ansluts till ett nät över 12 kV, 50/60 Hz via en växelriktare i en nätstation. Den ligger på ett lättillgängligt område, där underhåll och service kan bedrivas på ett enkelt sätt. Vid havsplacerade vindparker är nätstationen landbaserad. Nätstationen reglerar aktiv och reaktiv effekt individuellt, vilket gör det möjligt att koppla in vindkraftparken på ett svagt nät vid behov. Variationer i vindstyrka, eller tornskugga från andra vindkraftverk ger därmed inte upphov till spänningsvariationer som kan drabba förbrukare inkopplade i närheten. Detta speciellt om nätet är svagt, dvs. har låg kortslutningseffekt.

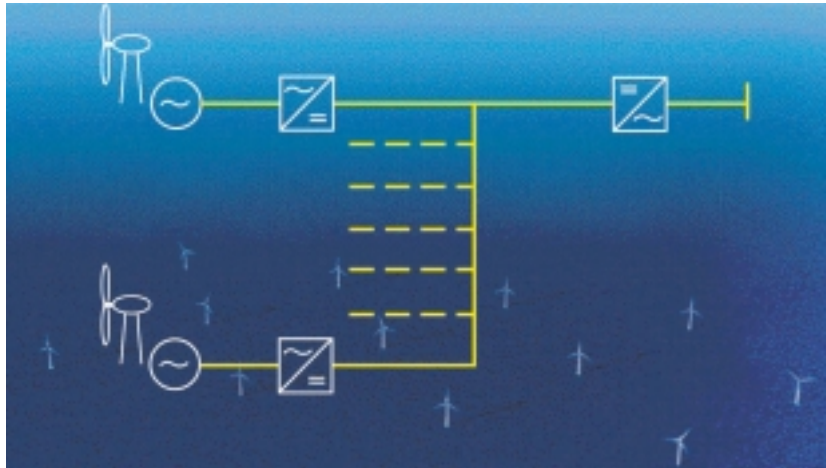
Växelriktaren i den landbaserade nätstationen används för att styra varvtalet på vindparken så att energiproduktionen kan optimeras. Genom att styra spänningen i likspänningskabeln regleras indirekt varvtalet på generatorerna, och därmed optimeras energiproduktionen.

Turbinens blad är pitch-reglerade, men den regleringen används enbart för att



3 Skiss över Windformersystem. Likström från en vindpark leds i kabel till ett ställverk för nätet med en omriktare, som är kopplad direkt på nätet.

4 Windformer moduler innehåller flera vindkraftverk. Kabel för effekter upp till 40 MW, kan modulen kopplas via en omriktare till högspänningsnätet.



justera turbinen. En permanentmagnetiserad rotor används för att omvandla rörelseenergin till elektrisk energi. Generatoren är direktkopplad till turbinen och därmed lågfrekvent, 5–10 Hz. Valet av

spänning beror av optimering på systemet och blir över 20 kV. Via en diod-likriktare omvandlas den lågfrekventa växelspanningen till likspänning.

En Windformer vindpark består av ett

antal moduler. Dessa anslutas idag vanligtvis via likströmskablar på en lägre effekt än 40 MW till nätstationen som är landbaserad och därmed lättillgänglig för underhåll.

För att distribuera energin för vindparker till havs som ligger på längre avstånd än 100 km från land, kan Windformer modulerna kopplas ihop till en högspänningsnivå i ett HVDC-system. Man kan även tänka sig att HVDC-överföringen i systemet byts ut mot ett växelströmsöverföringssystem.

Vilken spänningskonfiguration i systemet som skall användas i vindparken väljs bl.a. efter existerande nätanslutning, lokala bestämmelser på nätet, vindparkens uteffekt, maximerat energiuttag

Tabell 1: Jämförelse mellan Windformer och en konventionell vindpark baserad på en asynkron generator

	<i>Windformer</i>	<i>Vindpark baserad på asynkron generator</i>	
	Turbin	Turbin	
	Powerformer generator	Växellåda	
	Permanentmagnetiserad rotor	Asynkron generator	
	Diodlikriktare	Regleranordning efter effektfaktor	
	Likströmsmodulkablar	Mjukstarter	
		Turbintransformator	
		Växelströmsmodulkablar	
	↓	↓	↓
Offshore	<100 km	<40 km	>40 km
		Transformator	Transformator
		Offshoreplattform för transformator	HVDC Light station
		AC transmissionskabel	Offshore plattform för HVDC Light och transmissionstransformator
	Likströmskabel		transmissionskabel
Onshore	Växelriktare	SVC station	HVDC Light station
	Systemtransformator	Systemtransformator	Systemtransformator

per arealenhet, avstånd till nätanslutning, minimerad miljöpåverkan (särskilt visuell påverkan).

Ett exempel på en konventionell vindpark består idag av 10-100 vindkraftverk på 500 kW till 2 MW med asynkrongeneratorer som levererar 0,7 kV. Generatorerna kopplas i serie med en transformator, där det första steget blir att transformera upp spänningen till lämplig nivå. I en stor vindpark tar en central transformator upp spänningen till 130–230 kV. *Tabell 1* visar skillnaderna mellan Windformer och förslaget till en konventionell vindpark.

ABB:s vindkraftsystem har många klara

fördelar. Förlusterna är låga, och kraftelektroniken i varje enskilt vindkraftverk är reducerad till ett minimum, vilket ökar tillgängligheten. Växelströmsflimmer är reducerad, och den reaktiva och aktiva effekten är styrbara var för sig.

Energiuttaget optimeras för hela moduler med nödvändig reglerutrustning placerad i nätstationen på land, istället för att varvtalsreglera varje vindkraftverk.

Prototyp körs inom kort

På Näsudden i Sverige installeras en pilotanläggning. Installationen är ett samarbete mellan ABB, Scanwind, Vattenfall AB och Energimyndigheten. Pilotan-

läggningen är en havsbaserad version, men kommer att placeras på land för att underlätta omfattande utvärdering och provning. Vindkraftaggregatet har en märkeffekt på 3,0 MW som nås vid en vindhastighet av 13 m/s. Aggregatet kan arbeta inom vindintervallet 5–28 m/s och körs med variabelt varvtal. Under märkvind hålls bladvinkeln konstant och vid märkeffekt vrids bladen mot flöjlat läge för att begränsa effekten.

Från ca 18 m/s rampas effekten ner för att vid 27 m/s vara ca 500 kW. Detta inverkar marginellt på energiproduktionen, men har stor betydelse för livslängden på aggregatet. Den årliga energiproduktionen, om aggregatet placeras till havs, beräknas bli ca 11 GWh, baserat på en årsmedelvind av 8,0 m/s.

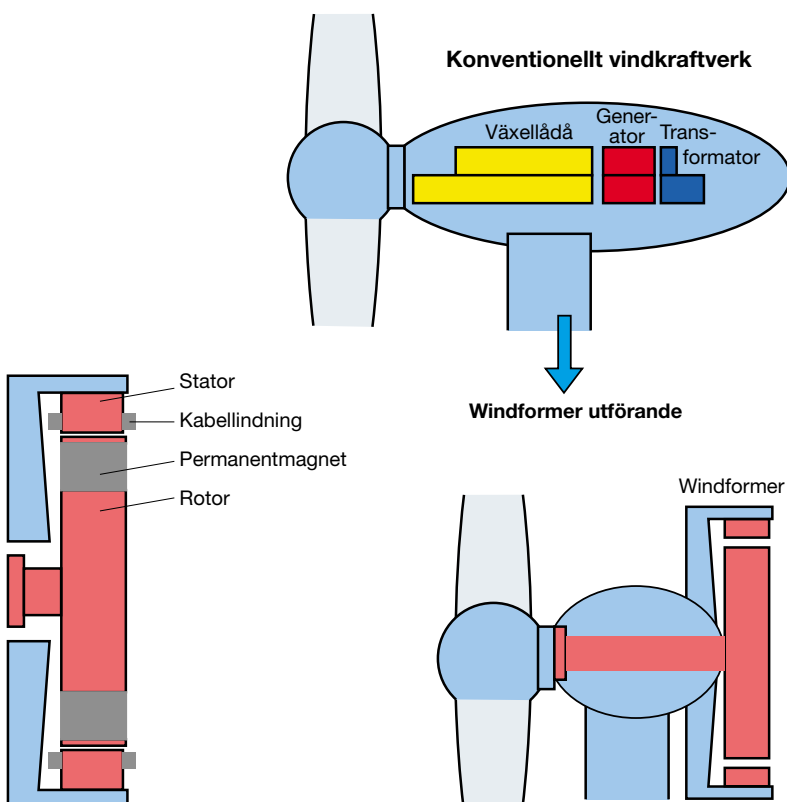
Turbinen består av tre blad i glasfiber-epoxy med en diameter av 90 m. Navets höjd på Näsudden-aggregatet är 70 m, men till havs ligger det lägre.

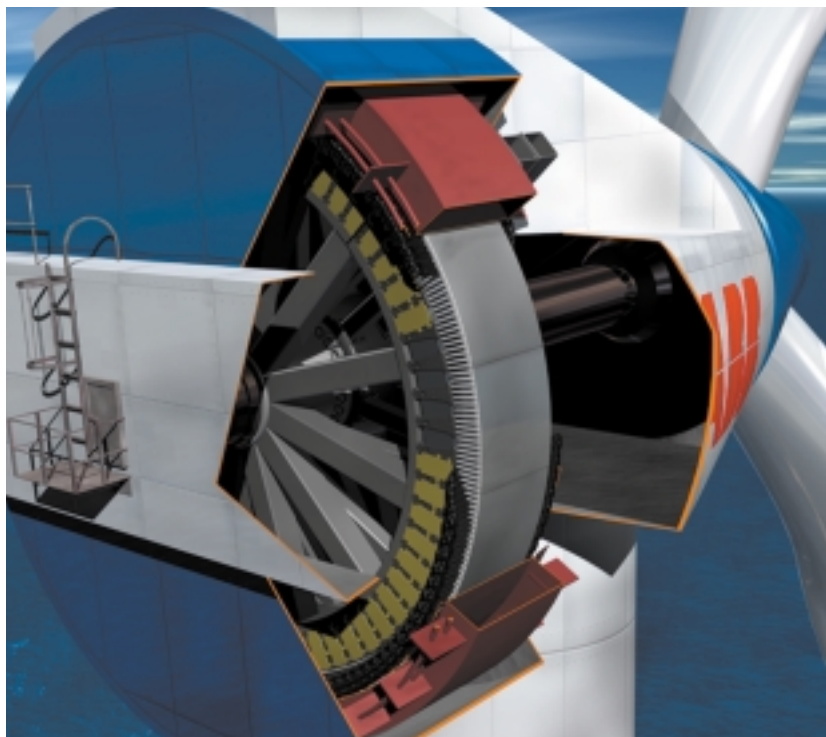
Windformer är baserad på Powerformer

I Windformer-konceptet finns en kabellindad högspänd generator (Powerformer) som är direktkopplad till turbinen. Det variabla varvtalet runt 18 varv per minut minskar påfrestningarna och innebär att ljudstörningar vid låga vindhastigheter är reducerade.

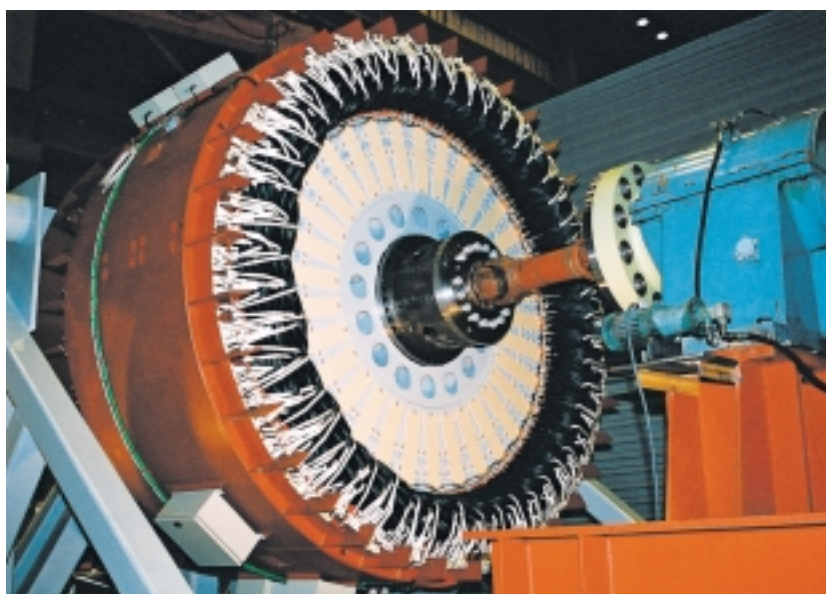
Windformer vindkraftverk har ingen växellåda **5**, **6** och i övrigt så få komponenter som möjligt, vilket ökar tillförlitligheten och tillgängligheten. En konventionell generator med fixerat varvtal på 1500 varv per minut, driven via växellåda, har på någon månad snurrat lika mycket

5 Jämförelse mellan en Windformer och en konventionell anläggning





6 Genomskärning av en Windformer som visar rotorn och den kabellindade statorn



7 En Windformer under de första produktionsproven. Den kabellindade statorn och den permanentmagnetiserade rotorn syns tydligt.

som en direkt driven gör på 10 år. Ett Windformer vindkraftverk reducerar inte enbart underhållskostnader, utan är en nödvändighet vid offshore-verksamhet där vindkraftverken står otillgängligt.

Speciella hänsyn har tagits så att generatormotorn klarar svåra klimatförhållanden som fukt och saltbemängd luft.

Statorn

Statorn är baserad på Powerformer-teknik [3,4,5]. Det innebär att runda högspänningskablar [7] används istället för fyrkantiga, isolerade kopparledare som i en konventionell generator.

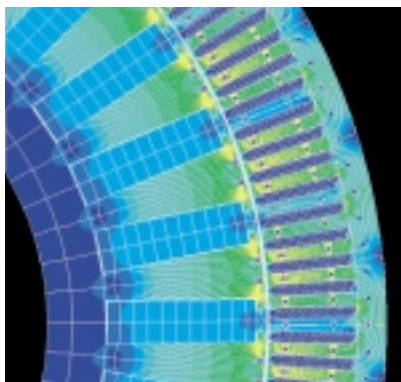
Genom att det elektriska fältet är inneslutet i kabeln försvinner problem med härvändar och anslutningar. Förlusterna i lindningarna minskar genom högre spänningsnivå. Genom att använda högspänningskablar minskar risken för fasfel. Högspänningskonceptet ger i sig en reduktion av kortslutningsströmmar. Säkerhetsåtgärder runt generatormotorn minskar i och med att antalet elektriska komponenter är reducerat. Allt detta innebär att en generator baserad på Powerformer teknologi har högre tillgänglighet, bättre verkningsgrad, färre komponenter i anläggningen och lägre drifts- och underhållskostnader.

Ytterligare förbättringar har tillförts Powerformer-teknologin vid utvecklingen av Windformer. I och med Windformergeneratormotorn har den första Powerformern utan skarvar lindats.

Rotorn

Hittills har Powerformer använts tillsammans med en rotor där magnetflödet

8 Magnetfältet och dess flöden som bildas i permanentmagneterna i Windformer



inducerats elektriskt via spolar på polkärnor. Rotorn har behövt släpningar och magnetiseringsström, vilket direkt ger upphov till elektriska förluster.

Det magnetiska fältet i Windformers stator är nu inducerat via permanentmagneter. Rotorn inducerar nu det magnetiska flödet i kretsen utan någon yttre hjälputrustning **8**. När rotorn väl är aktiverad behövs inga fler ingrepp i den magnetiska flödeskretsen. Den "kalla" rotorn ger inte bara generatoren bättre verkningsgrad utan också ökad tillförlitlighet i och med färre komponenter, minskat underhåll och ökad tillgänglighet.

Vid utvecklingen av Windformer-generatorn togs speciell hänsyn till optimering av den magnetiska kretsen. Denna är dimensionerad för att undvika avmagnetisering vid motriktat flöde.

Rotorn är mångpolig med en stor luftgapsdiameter över 6 m – förmodligen den

största permanentmagnetiserade rotorn som någonsin tillverkats.

Windformer är anpassad till havsoperation. En permanentmagnet har valts som inte är korrosionsbenägen för att minska underhållsbehovet vid placering av vindkraftsaggregat till havs och i kustnära miljö.

Powerformer är i sig anpassad för generering till havs. Statorns kabellindning motstår det hårda och salta havsklimatet utan risk för elektriska genombrott.

En förutsättning för tillämpningar till havs är hög tillförlitlighet och litet underhållsbehov. Dessa kriterier är uppfyllda av Windformer med sin permanentmagnetrotor och sin kabellindning.

De livscykelanalyser som gjorts för andra anläggningar med Powerformer visar på klara miljöfördelar för en högspänd generator. Generatoren bidrar till minskad miljöpåverkan genom totalt bättre verkningsgrad. Material som används i generatoren ger inga miljöskador. Till exempel finns ingen epoxi i statorlindningen, ett material som återfinns i konventionella generatorer.

Kablarna i statorlindningen är PEX-isolerade och innehåller ingen olja. Distributionstransformatorer som är olje- eller epoxyisolerade finns inte här, vilket innebär att brandrisk och riskfylld hantering av olja försvinner. Så gott som alla delar av generatoren kan återvinnas när

den en gång skrotas. Valet av permanentmagnet är också ur miljöhänseende den mest lämpliga.

Sammanfattning

Vindkraft är helt återanvändbart och världens snabbast växande källa till elektrisk produktion och fortsätter att överträffa prognoserna. Installerad kapacitet har vuxit från praktiskt taget ingenting 1990 till ca 13,4 GW och beräknas öka med 10 GW per år 2005. Med sina många fördelar, främst hög verkningsgrad och enkel konstruktion, är Windformer ämnad att tygla vindkraften och få ökade andelar av den förnybara energimarknaden.

Författare

Dr. Mikael Dahlgren
Harry Frank
Dr. Mats Leijon
Dr. Fredrik Owman
Lars Walfridsson
ABB Corporate Research
SE-721 78 Västerås
mikael.dahlgren@se.abb.com
Telefax: +46 21 32 30 66

Referenser

- [1] International Wind Energy Development, World Market Update 1999, BTM Consultant ApS (2000).
- [2] International Energy Outlook Report DOE/EIA-0484 (1999).
- [3] **M. Leijon**: Powerformer™ – radikalt nytänkande bakom ny elektrisk maskin. ABB Tidning 2/98, 21–28.
- [4] **M. Leijon et al**: Breaking conventions in electrical power plants. CIGRE 1998, paper 11:1.1.
- [5] **R. Dettmer**: The heart of a new machine. IEE Review 44, no 6, 1998.