

ERICSSON SUNWIND

John Åkerlund

Ericsson har utvecklat ett strömförsörjningssystem med sol och vind som energikällor. Det är avsett för strömförsörjning av telekommunikationsutrustning på avsides belägna platser och svarar mot teleförvaltningarnas höga krav på tillförlitlighet. I systemet ingår en underhållsfri vindgenerator, solcellpaneler, ett särskilt för intermittent drift konstruerat litet dieselelverk, batterier samt en mikrodatorstyrd elektronikutrustning för optimal reglering av effektuttaget. Systemet lämpar sig även väl för strömförsörjning av t.ex. fyrar och andra navigationshjälpmedel, övervakningssystem och väderstationer.

UDK 621.311.6:
621.395.7

Ett växande behov av telekommunikation finns i små samhällen på landsbygden. Den höga kostnaden för att ordna strömförsörjning för t.ex. avsides belägna mellanförstärkarstationer på radiolänkförbindelser har tidigare ofta förhindrat anläggning av telefonnät i sådana områden.

ERICSSON SUNWIND, fig. 1 är ett strömförsörjningssystem, som lämnar en medeleffekt på upp till 500 W med 24 eller 48 V likspänning. System är avsett för avsides belägna telekommunikationsutrustningar. Dess viktigaste egenskaper är hög tillförlitlighet och litet underhållsbehov.

ERICSSON SUNWIND är ett kombinerat sol- och vindenergisystem som består av solcellpaneler, vindgenerator, reg-

lerutrustning, batterier och en liten diesलगenerator. Kombinationen ger en sammanlagringseffekt, som utjämnar variationer i energiflödet från de enskilda källorna. Den installerade toppeffekten i sol- och vindenergifångarna kan väljas lägre än för ett icke kombinerat system. Dessutom kan batteriet vara mindre. Sol- och vindenergiflödena varierar ständigt och oregelbundet. Avvikelserna kan vara stora mellan olika år. Vid onormal brist på sol- och vindenergi kan minidieseln startas för att ladda upp stationsbatteriet. Med denna reserv minskar behovet av exakta meteorologiska data och detta underlättar dimensionering av systemet.

Beroende på effektbehov samt meteorologiska och geografiska förutsättningar kan andra kombinationer av ERICSSON SUNWIND än det kompletta systemet väljas. Vindturbin, solceller och minidiesel kan också användas var för sig eller i kombinationer parvis. Ett vanligt system vid mindre effektbehov på solrika platser är solceller och minidiesel.

Vindgenerator

En vindgenerator, som skall strömforsörja ett telekommunikationssystem, måste ha minst samma höga tillförlitlighet som övriga systemkomponenter. Ericsson har i samarbete med flygdivisionen vid SAAB-SCANIA utvecklat en



Fig. 1
ERICSSON SUNWIND.
Under vindgeneratören är solcellpaneler monterade



JOHN ÅKERLUND
Strömförsörjningsavdelningen
Telefonaktiebolaget LM Ericsson

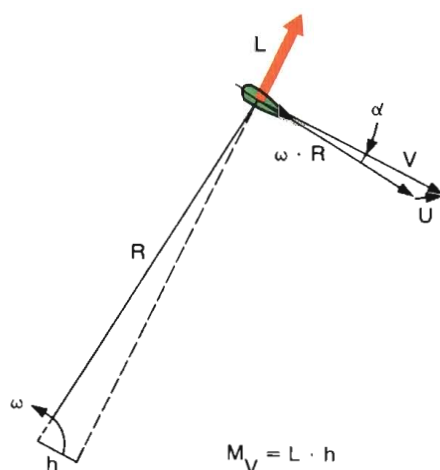


Fig. 3
Darrieusturbinens funktionssätt
På vingprofilen verkar en luftström med hastighetsvektorn V . Den är resultant till vindhastigheten U och tangentialhastigheten $\omega \cdot R$. V är vindhastighetsvektorn relativt bladet och ligger förskjuten relativt $\omega \cdot R$ med anfallsvinkeln α . Luftströmmen med hastighetsvektorn V alstrar luftkraften L vinkelrätt mot V . Eftersom V har anfallsvinkeln α får L hävarmen h genom turbincentrum. Luftkraften L alstrar med hävarmen h det drivande momentet $M_v = L \cdot h$

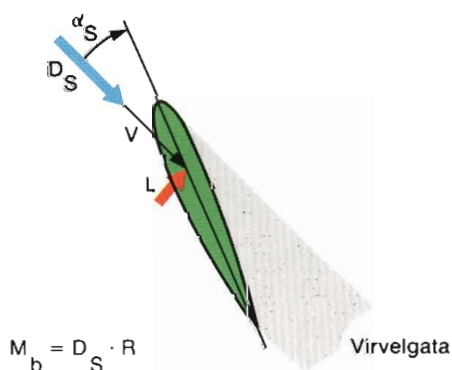


Fig. 4
Vid höga vindhastigheter vrider turbinbladen så att de överstegras. Luftkraften L minskar och motståndskraft D_s ökar. Det bromsande momentet blir $M_b = D_s \cdot R$.

Fig. 2
Vindturbingeneratorn har en beräknad medeleffekt på 150 W vid ca 5 m/s vindstyrka. Toppeffekten är 900 W vid vindstyrkor högre än ca 10 m/s.

① Savoniusurbin
② Darrieusturbin

vindgenerator, som uppfyller dessa höga krav. Den

- är underhållsfri
- kan monteras på toppen av radiolänkmaster och har minst samma mekaniska hållfasthet för höga vindstyrkor som masten och parabolantennerna
- har hög verkningsgrad vid låga vindhastigheter.

Vindturbin

Vindturbinen är av Darrieus typ med raka, vertikala vingprofiler, fig. 2. Den har vertikal axel och är oberoende av vindriktningen. Turbinen startar vid ca 3 m/s vindhastighet. Goda startegenskaper uppnås med en Savoniusurbin på samma axel som Darrieusturbinen.

Mekaniskt och hållfasthetsmässigt är turbinen konstruerad för vindhastigheter på 50 m/s med marginal för att klara orkanbyar överstigande detta värde. Det grova navröret av stål är lagrat i mycket kraftigt dimensionerade kullager. Ekrar och turbinblad är tillverkade av extruderade aluminiumprofiler och Savonius-turbinen av aluminiumplåt.

Av luftströmmen kring vingprofilerna bildas luftkraften L , fig. 3, vinkelrät mot luftströmmen. Rotationshastigheten

tillsammans med vindhastigheten åstadkommer att luftkraften L får hävarmen h genom turbincentrum. Det drivande momentet blir $M_v = L \cdot h$.

För att begränsa varvtalet vid stora vindhastigheter har turbinen försetts med en underhållsfri och mycket säker mekanism, som vrider bladen så att de överstegras och förlorar dragkraften. Konstruktionen är patenterad. När överstegringen inträffar minskar luftkraften L och istället ökar motståndskraften D_s , fig. 4. D_s bildar med ekerradien R som hävarm ett bromsande moment $M_b = D_s \cdot R$, som blir så kraftigt, att turbinen bromsas effektivt till ett maximivarvtal på ca 300 r/min.

Genom att turbinen har vertikal axel kan elgeneratorn monteras under turbinens fästplatta inne i masten. Inga släpningar för överföring av elkraften behövs och lagringen av turbinaxeln är enkel i jämförelse med en konventionell vindgenerator. Den årliga inspektionen kan utföras inifrån radiolänkmasten.

Elgenerator

Elgeneratorn är av ny typ och speciellt konstruerad för vindkraft. Den är gjord mångpolig för att kunna anslutas direkt, utan växellåda, till den långsamt roterande

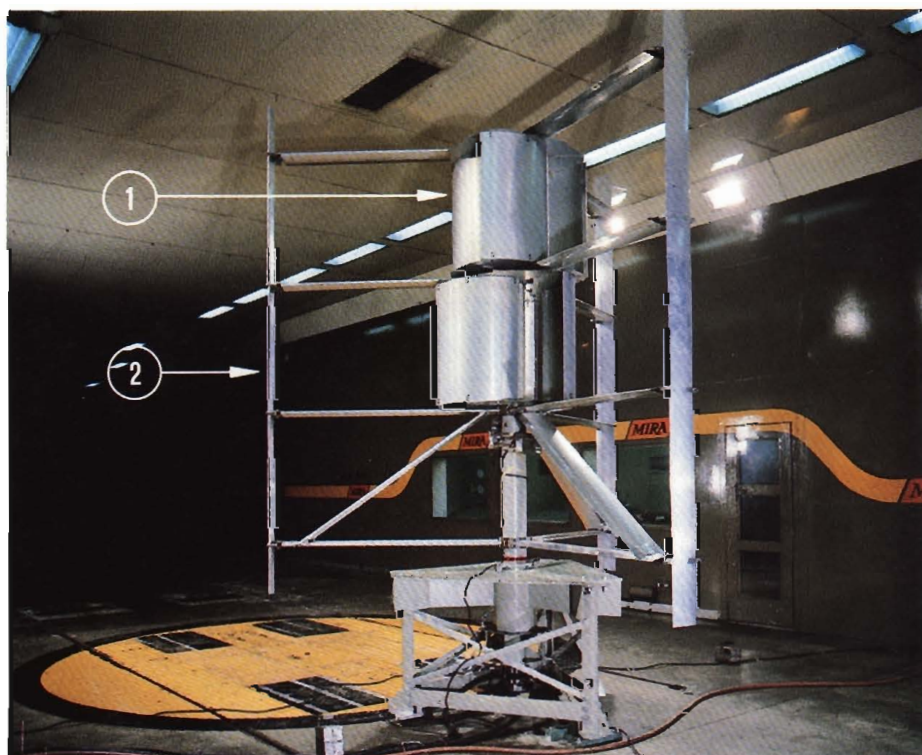
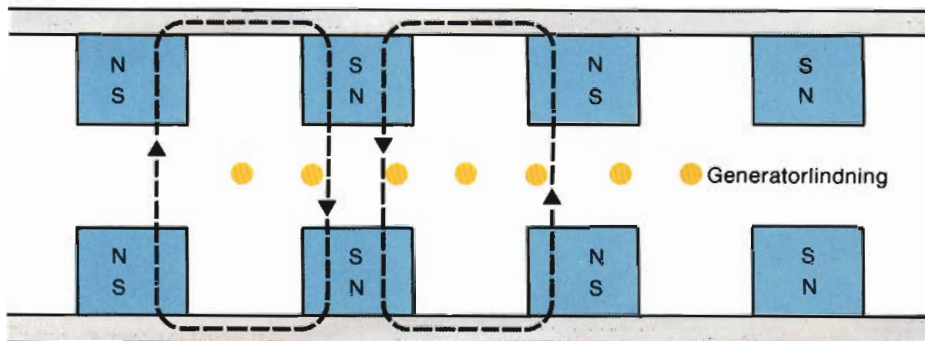


Fig. 5
Generatoren är av "pannkakstyp" med 56 permanentmagnetpar utplacerade på rotorsklivorna. Statorlindningen är ingjuten i en tredje skiva av kompositmaterial placerad mellan de två rotorsklivorna, som drivs runt av turbinaxeln.



rande turbinen. Det är en borstlös trefas permanentmagnetiserad generator, som alltså inte har några magnetiseringsförluster. Dess lindningar är upplagda i en självbärande stator av kompositmaterial utan järn. Eftersom lindningarna inte har järnkärnor kan permanentmagneterna inte låsa vindturbinen vid start. Detta är av stor vikt, då vindgeneratoren måste fungera vid de oftast förekommande låga vindhastigheterna för att producera största möjliga energimängd. Endast lagerfriktionen i turbinen och generatoren behöver övervinnas vid start. Principen för generatoren framgår av fig. 5.

Solceller

Ericsson granskar de solceller som finns att tillgå på marknaden. Provnings utförs på liknande sätt som vanlig komponentprovning och med tyngdpunkten lagd på provning av kapslingarnas täthet. Dessutom genomförs långvariga systemprov med solceller, elektronik och batterier. En väsentlig kunskap om solceller har därmed byggts upp inom företaget. Systemkunskap om de i sol- och vindsystem ingående delarna är viktig för att kunna kombinera dessa på ett optimalt sätt.

Resultaten från solcellproven ligger till grund för val av leverantör och garante-

rar att de av Ericsson levererade solcellpanelerna håller hög kvalitet.

Solcellpanelerna kan i ERICSSON SUNWIND anslutas antingen direkt eller via DC/DC-omriktare i reglerutrustningen till batteriet, fig. 10. Motivet för att ansluta solcellpanelerna via DC/DC-omriktarna är att solpanelernas utspänning då kan regleras och effekttuttaget maximeras. Dessutom undviker man spänningshöjning över batteriet. Solcellerna har egenskapen att spänning och toppeffekt ökar med sjunkande temperatur. Solcellpanelerna dimensioneras med ett så stort antal celler i serie att spänningen vid högsta paneltemperatur, ca 80°C, blir lika med laddningsspänningen för batteriet, fig. 6. Vid en medeltemperatur på 0°C under vinterhalvåret kommer det då att bli möjligt att med DC/DC-omriktare öka medeleffektuttaget minst 25%, fig. 7.

Solcellpanelerna har vanligen 12 V nominell utspänning och ca 30 W nominell toppeffekt. I strömförsörjningssystem med 48 V systemspänning seriekopplas fyra 12 V paneler. Anläggningens önskade toppeffekt får man genom att parallellkoppla ett antal sådana panelgrupper.

Under det mörka och kalla vinterhalvåret ökar alltså solcellpanelens toppeffekt

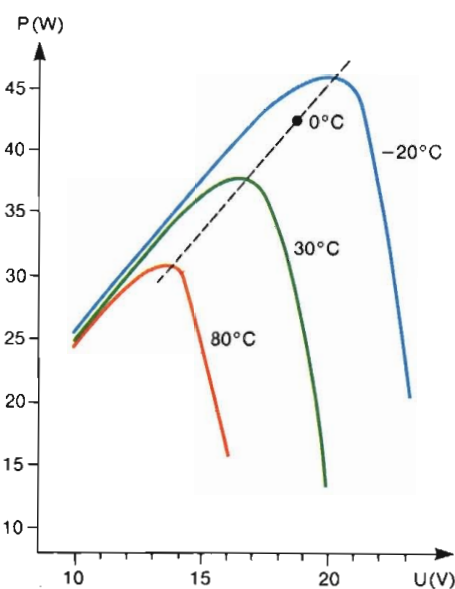


Fig. 7
Uteffekt från 12 V solcellpanel vid konstant solinstrålning om 1000 W/m² vid olika paneltemperaturer

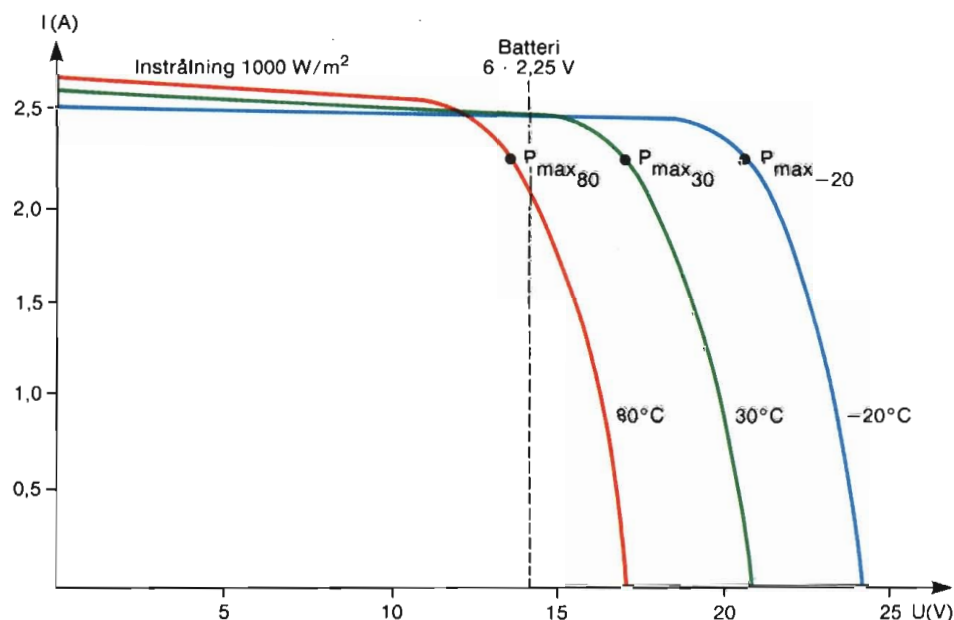


Fig. 6
Figuren visar ström-spänningskarakteristiken för en 12 V solcellpanel vid olika temperaturer. Den vertikala linjen markerar erforderlig spänning för att ladda ett batteri med 6 celler till 2,25 V per cell.

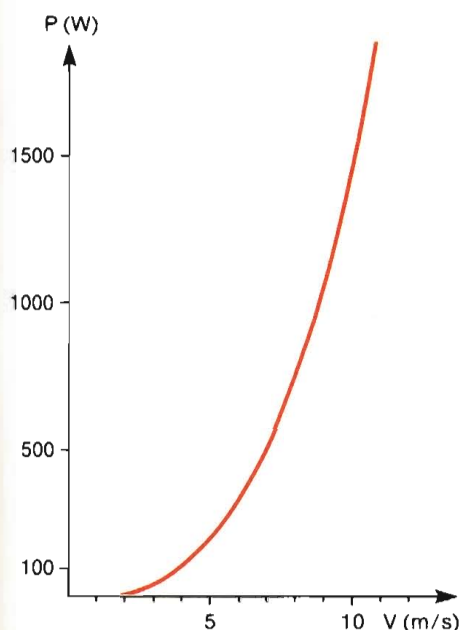


Fig. 8
Vindens energiflöde ökar med tredje potensen av vindhastigheten.

P $k A \eta_T v^3$
 P Turbinens axeleffekt vid olika vindhastighet
 k Konstant som bland annat beror av luftens täthet
 A Turbinens frontyta mot vinden
 η_T Turbinverkningsgrad
 v Vindhastighet

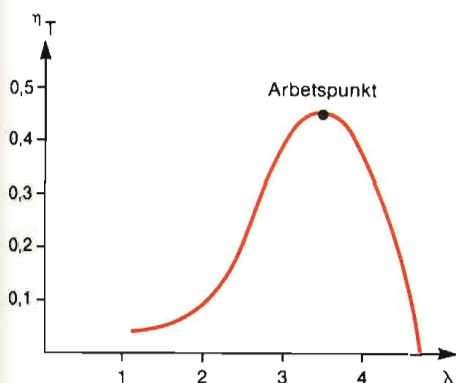


Fig. 9
Verkningsgraden för en trebladig Darrieusturbin.

$\lambda = \frac{R \omega}{v}$
 λ Förhållandet mellan bladshastighet och vindhastighet
 R Turbinradie
 ω Rotationshastighet
 v Vindhastighet (vinkelhastighet)
 η_T Turbinverkningsgrad

fekt då det bäst behövs och kompenserar för den minskade solinstrålningen. En effektmaximerande reglerutrustning utjämnar årstidsvariationerna och gör att det räcker med färre solcellpaneler och lägre batterikapacitet.

I små system och i varma klimat kan solcellerna anslutas direkt till batteriet. En effektmaximerande reglerutrustning är befogad i större system och i kalla klimat, genom de besparingar man kan göra vid val av antal solcellpaneler och vid dimensionering av batteriet.

Reglerutrustning

Reglerutrustningen med sitt styrsystem är avsedd att maximera effektuttaget och reglera laddningsspänningen från vindelverket. Den används även för att maximera effektuttaget och reglera laddningsspänningen från solcellerna, som tidigare beskrivits.

Vindens energiflöde varierar mycket starkt med vindhastigheten, fig. 8. Det är därför viktigt att effektuttaget från vindelverket nogga följer dessa variationer, så att maximal effekt alltid erhålls.

Vindturbinens aerodynamiska verkningsgrad är dessutom beroende av turbinvarvtalets förhållande till vindhastig-

heten, fig. 9. Turbinen har bäst verkningsgrad, då förhållandet mellan turbinbladshastighet och vindhastighet är ca 3,5.

Styrsystemets uppgift är att reglera effektuttaget från turbinen, så att denna relation bibehålls oberoende av vindstyrkans variationer. Detta är särskilt viktigt vid de låga vindhastigheter som oftast förekommer.

Reglerutrustningen, fig. 10 och 11, består av en likriktare, ett antal DC/DC-omriktare och en mikrodator med gränssnittskretsar. Figuren visar dessutom en dieselstyrutrustning. Denna utgör en självständig enhet, men kan kopplas till huvudsystemet för informationssamband.

Likriktaren är trefasig. Den är oreglerad och likspänningen på utgången kan variera mellan 0–375 V. I likriktaren finns dessutom en spänningsvakt och en frekvensgivare. Spänningsvakten mäter generatorns tomgångsspänning och används för att avgöra, när det ur energisynpunkt är lönande att starta systemet. Generatorns tomgångsspänning är ett direkt mått på vindhastigheten och vindenergitillgången. Frekvensgivaren ger växelspanningens frekvens, som i mikrodatorn används för att analysera vindenergins variationer.

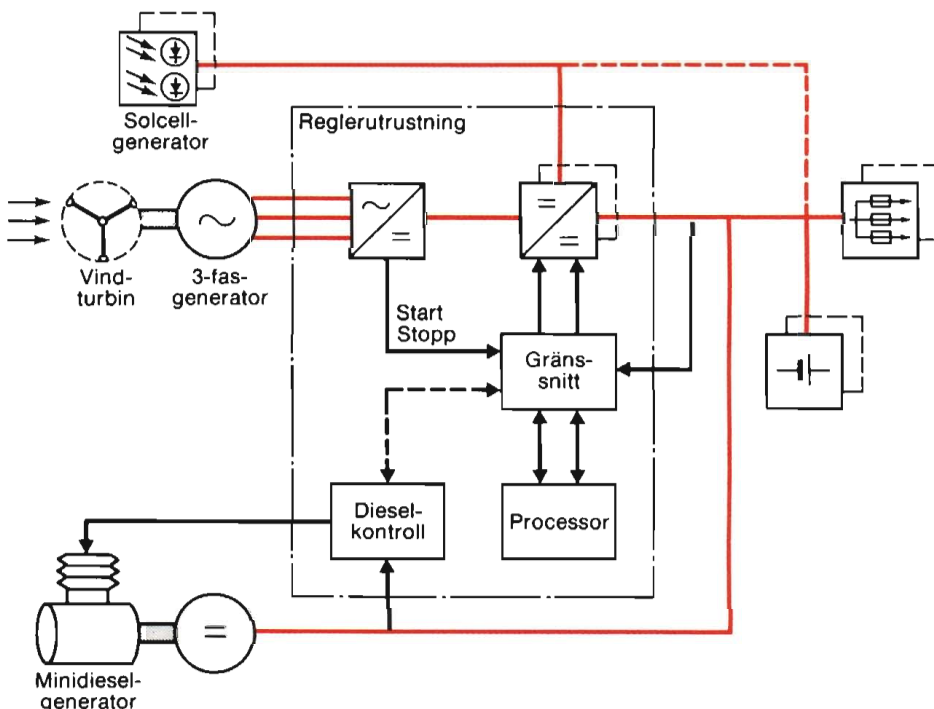


Fig. 10
Blockschema över ERICSSON SUNWIND

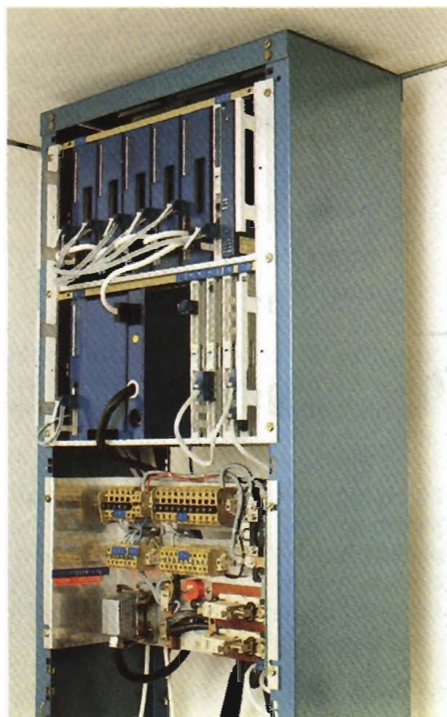


Fig. 11
Reglerutrustning för vindgeneratoren

DC/DC-omriktarna är av hackartyp. De omsätter den mycket varierande spänningen från likriktaren till konstant likspänning för laddning av systemets batteri. Mikrodatoren beräknar kontinuerligt maximal tillgänglig energimängd ur de varierande energiflöden som vinden och solen ger och styr DC/DC-omriktarna. Detta kan ske på två sätt, spänningsstyrning eller effekstyrning.

Spänningsstyrning används då systemets batteri är fulladdat. Batterispänningen hålls då konstant, laddningsströmmen är obetydlig och energikällorna belastas endast med den effekt som lasten förbrukar.

Effektstyrning är den tidmässigt dominerande. Den används då vindturbinen och solcellerna laddar systemets batteri, men även då lasten tar effekt från såväl batteri som vindturbin och solceller. Effektstyrvärdet beräknas kontinuerligt av mikrodatoren. Uppgift om det för ögonblicket maximalt tillgängliga effektvärdet sänds löpande till DC/DC-omriktarna. Dessa reglerar då effektut-

tagen från vind- och solenergifångarna så att de arbetar i sina bästa arbetspunkter.

Mikrodatorns kapacitet utnyttjas inte till 100% för styrning av reglerutrustningen. Den kan även användas för andra arbetsuppgifter såsom drift- och underhållsrutiner, t.ex. driftstatistik, för insamling och bearbetning av t.ex. meteorologiska mätvärden eller för övervakning och styrning av annan i anläggningen installerad utrustning.

Batterier

I sol- och vindanläggningar arbetar batterierna under speciella driftförhållanden. Dagliga små urladdningar och laddningar är kombinerade med långsammare, månadslånga och säsongbundna större urladdningar och laddningar. Batteriströmmarna blir mycket små i förhållande till batteriets kapacitet. Risken för sulfatering och därav följande nedgång i kapaciteten ökar om batteriet får stå delvis urladdat under långa tider.

De egenskaper hos batterierna som värderas högst vid användning i sol- och vindanläggningar är

- hög laddningsverkningsgrad
- låg självurladdning
- låg vattenförbrukning
- transporttålighet
- låg inköpskostnad
- lång livslängd.

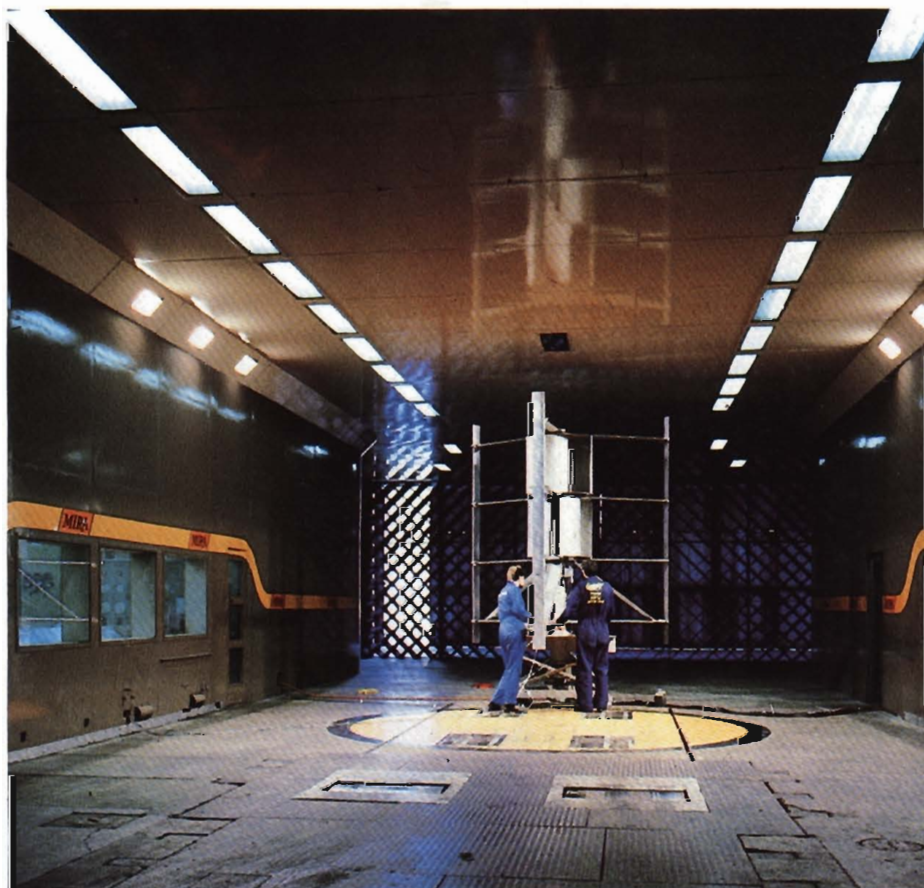
Egenskaperna hög laddningsverkningsgrad och låg självurladdning är viktiga med hänsyn till hela systemets energiekonomi.

Bland blybatterier kan man välja mellan lågantimonlegerade, kalciumlegerade och sådana med rent bly. Lågantimonlegerade batterier kan levereras torrladdade, vilket underlättar transporten.

Nickelkadmiumbatterier har goda värden utom på laddningsverkningsgraden. De är mycket köldtåliga och denna batterityp är den enda som det är möjligt att använda i stark kyla. De är emellertid tre till fyra gånger så dyra som blybatterier och kan av ekonomiska skäl inte användas i stora sol- och vindanläggningar.

Då laddningsströmmarna är små i för-

Fig. 12
Turbinen under prov i vindtunnel



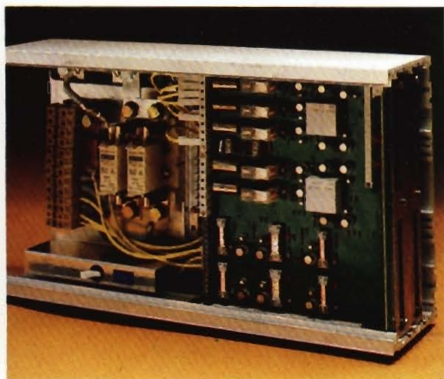


Fig. 13
Utrustning för kontroll av dieselgeneratorm

hållande till batteristorleken, kommer batteriet mycket sällan att nå upp till gasningsspänning och vattenförbrukningen blir liten. Syranivån behöver inte kontrolleras oftare än en gång per år.

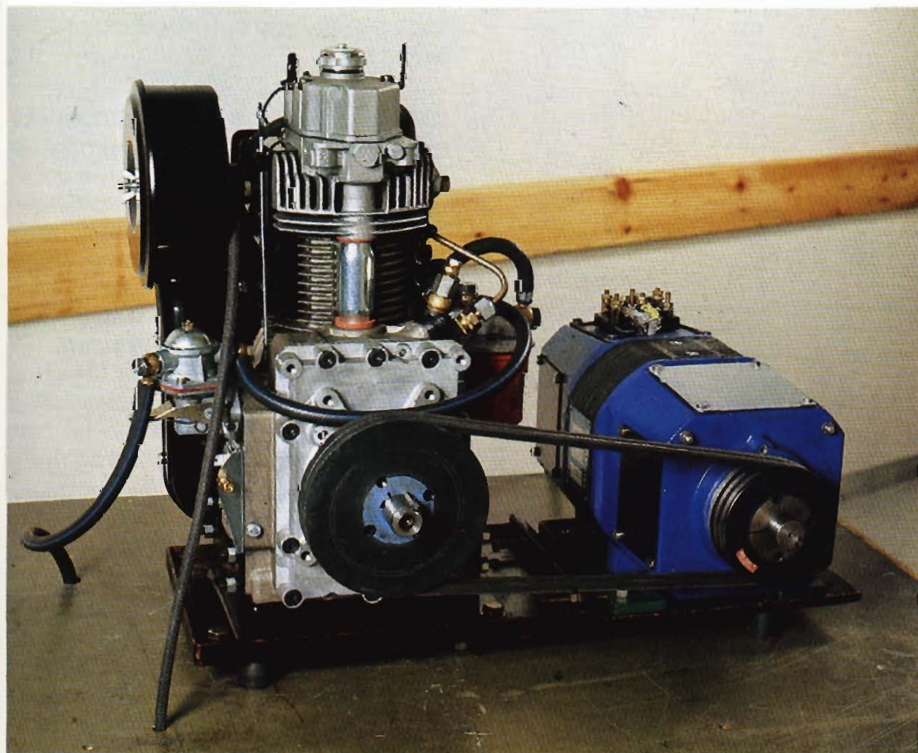
En regelmässigt återkommande uppladdning flera gånger per år rekommenderas för att förhindra sulfatering av batteriet. I system med minidiesel sker sådana laddningar regelbundet. Man får säker fulladdning av alla celler och ökad livslängd.

Batteriet dimensioneras vanligen för en reservtid av en till två veckor.

Minidieselgenerator

Med en minidieselgenerator i ett sol- och vindenergisystem kan energifångarnas och batteriets storlek kraftigt reduceras. Systemets dimensionering förenklas; dåliga år ur sol- och vindsynpunkt och oförutsebara lastvariationer medför inga driftstörningar. Batteriet uppladdas regelbundet, vilket motverkar sulfatering. Dessutom kan batteriet laddas i samband med installationen och vid den årliga batterikontrollen. Vid service- och installationsarbeten kan minidieselgeneratorm användas som energikälla.

Fig. 14
Dieselgeneratorenheten.
Märkeeffekt 1,5 kW eller 3 kW
Systemspänning 48 V (eller 24 V)
Motoreffekt 2,1 kW eller 4,2 kW vid 3600 rpm



De viktigaste argumenten mot konventionella dieselgeneratorer på avlägsna platser är tillförlitlighetsproblem samt höga drift- och underhållskostnader. Dessa problem kan reduceras avsevärt genom att använda ett enkelt styrsystem och genom att begränsa gångtiden.

En dieselgenerator måste vara utomordentligt startsäker för att kunna användas i sol- och vindsystem. Den måste med mycket hög tillförlitlighet kunna gå in som yttersta reservenergikälla, om sol- och vindenergin under en längre tidsperiod inte räcker till för att ladda stationsbatteriet. Analyser av missade starter i konventionella dieselgeneratoranläggningar har givit vid handen, att orsaken vanligen är fel i kringssystemet. Missad startmotorinkuggning, fel på startmotorn, dåligt underhållet eller felaktigt startbatteri, fel på startbatteriladdaren eller fel i motorns skyddskretsar är de vanligaste felen.

För att eliminera de flesta av dessa orsaker och för att få en mycket startsäker minidieselgenerator har separat startmotor och motorövervakning uteslutits.

Dieselgeneratorenheten består av en luftkyld, encylindrig dieselmotor och en likströmsgenerator, som också är startmotor, fig. 14. Dieselmotor och generator är remdriftkopplade för att underlätta service. I och med att generatorm är försedd med en startlindning och även används som startmotor, fordras inte någon separat startmotor med startbatteri och laddningsutrustning. Stationsbatteriet används även som startbatteri.

En särskild utrustning har utvecklats för styrning av minidieselgeneratorm i sol- och vindenergisystem, fig. 13. Målsättningen har främst varit att begränsa dieselgeneratorns gångtid. Styrutrustningen är uppbyggd kring en mikroprocessor och i dess programvara finns följande funktioner:

- övervakning av batteriets laddningstillstånd
- klocka
- spänningsvakter
- start
- stopp.

Övervakningen av batteriets laddningstillstånd går till så att strömmen till och från batteriet kontinuerligt registreras i digital form. På detta sätt kontrolleras

laddningstillståndet mycket noggrant och minidieseln kan startas vid en förutbestämd minsta kvarvarande laddning. Detta för att dieseln inte skall startas onödigt många gånger.

Klockfunktionerna finns för att möjliggöra periodisk start av minidieseln så att motorns oljefilm behålls intakt och för att möjliggöra olika gångtider.

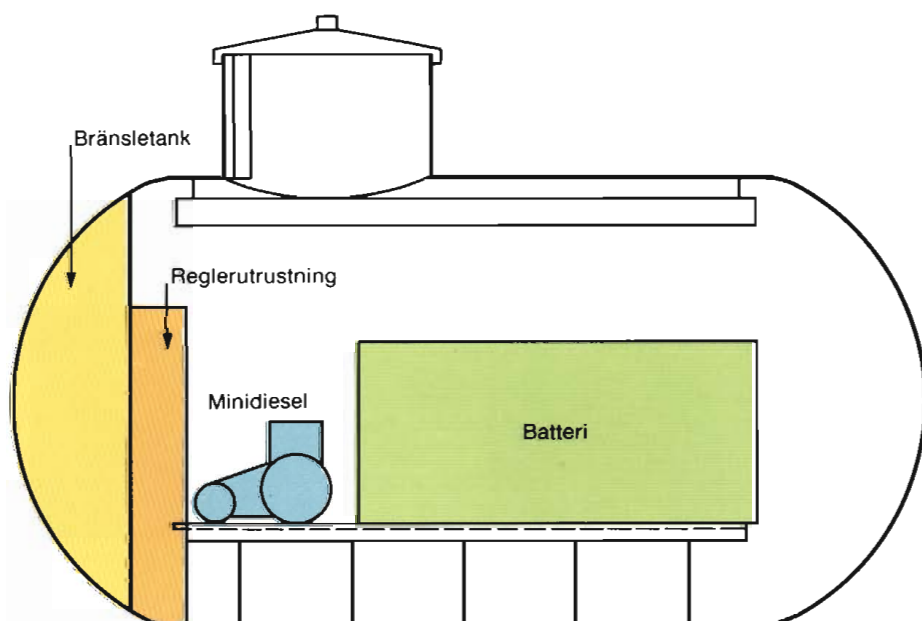
Spänningsvakter finns för över- och underspänning samt för laddningsspänningsnivå.

Start av minidieseln sker periodiskt med programmerat intervall och om en minsta batterikapacitet har underskridits eller om underspänningsvakten har larmat.

Stopp initieras dels då den inprogrammerade laddningsspänningsnivån är uppnådd och batteriet är fulladdat och dels om överspänningsvakten har löst ut.

Genom att gångtiden för minidieseln kraftigt begränsats med hjälp av laddningsövervakningen, begränsas också bränsleförbrukning och reparationsbehov. Tankar för bränsle och smörjolja har dimensionerats för 5 års drift vid en gångtid upp till 200 timmar per år.

Fig. 15
Plasttank för placering under jord av markutrustningen till ERICSSON SUNWIND



Installation, drift och underhåll

Vindturbinen är konstruerad för att installeras på toppen av en mast eftersom medelvindhastigheten ökar starkt med höjden över marken. Om en radiolänkstation skall strömförsörjas är det naturligt att utnyttja den mast som också bär mikrovågspareolerna, fig. 16. Genom att masten höjer sig över terrängen är den emellertid ofta utsatt för åsknedslag. För att förhindra skador på vindturbin, generator och reglerutrustning är dessa utrustade med särskilda skyddsanordningar, som avleder åskströmmarna till den jordade masten.

Solcellpanelerna kan monteras på själva masten. I länder där pannellutningen bör vara mindre än vad mastmontering tillåter, använder man särskilda ställningar.

Mycket viktigt är att markutrustningen, dvs. reglerutrustningen, batterierna och dieselgeneratoren är placerade i tempererad miljö. I varma länder är det med hänsyn till batteriernas och elektronikens livslängd viktigt att medeltemperaturen ej är för hög. Särskilt i kalla länder är det å andra sidan viktigt att utrustningen ej utsätts för temperaturer under 0°C med risk för att batteriernas kapacitet sjunker och dieselmotorn blir svårstartad.

Eftersom priset på energi från en sol- och vindanläggning är mycket högt, är det inte ekonomiskt rimligt att anordna en tempererad miljö för utrustningen genom energikrävande kylning eller uppvärmning. Istället används antingen en passivt kyld container eller en nedgrävd tank av plast, i vilken utrustningen placeras, fig. 15. Ett särskilt utrymme i plasttanken har avbalkats för förvaring av bränsle till dieselgeneratoren. Med dessa skydd för utrustningen får man tempererad miljö i både varma och kalla klimat.

För installationer på avsevärt belägna platser är det viktigt med hänsyn till driftkostnaderna att underhållsbehovet är så lågt som möjligt. Sol- och vindsystemet fordrar endast ett inspektionsbesök om året. Vid detta besök skall syrenivån hos batterierna kontrolleras, vindturbinen inspekteras och solcellpane-



Fig. 16
Montering av vindturbin

lerna tvättas. Minidieseln skall funktionsprovas och dess bränsletank fyllas, om den inte är fylld för flera års drift.

Sammanfattning

Sol- och vindenergi är evigt flödande energiformer. De är emellertid till sin natur starkt varierande i styrka beroende på vådrets växlingar. Den ena dagen är det mulet och blåsigt och den andra soligt och vindstill. Dessa ständiga väderförändringar utspelar sig både i det korta och långa tidsperspektivet, alltifrån sekundschnabba kast till dygn-, vecko- och säsongvariationer. Under året får solen och vinden en starkt komplementär effekt. Detta ger en sammanlagring, som utjämnar säsongvariationerna och medför att såväl den installerade topp-

effekten i sol- och vindenergifångarna som batteristorleken kan reduceras i jämförelse med icke kombinerade system.

ERICSSON SUNWIND är konstruerad så att det ständigt varierande energiflödet utnyttjas optimalt. Med mikrodator kan man kontinuerligt styra sol- och vindenergiomvandlarna till sina optimala arbetspunkter och i varje ögonblick ta ut maximal effekt. Den vertikalaxlade vindturbinen med patenterad bladvinkelreglering erbjuder säker drift även vid mycket höga vindstyrkor och kännetecknas av underhållsfrihet och hög tillförlitlighet. Med minidiesलगenerator kan man reducera energikällornas och batteriets storlek samt förlänga batteriets liv.