

(19) **DANMARK**

(10) **DK/EP 2063111 T3**



(12)

Oversættelse af europæisk patentskrift

Patent- og
Varemærkestyrelsen

-
- (51) Int.Cl.: **F 03 D 7/02 (2006.01)** **F 03 D 7/04 (2006.01)**
- (45) Oversættelsen bekendtgjort den: **2014-03-10**
- (80) Dato for Den Europæiske Patentmyndigheds bekendtgørelse om meddelelse af patentet: **2013-12-25**
- (86) Europæisk ansøgning nr.: **09003468.7**
- (86) Europæisk indleveringsdag: **2005-09-20**
- (87) Den europæiske ansøgnings publiceringsdag: **2009-05-27**
- (30) Prioritet: **2004-09-21 DE 102004046036** **2004-11-11 DE 102004054608**
- (62) Stamansøgningsnr: **05790045.8**
- (84) Designerede stater: **AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
- (73) Patenthaver: **REpower Systems SE, Überseering 10, 22297 Hamburg, Tyskland**
- (72) Opfinder: **SCHUBERT, Matthias, Wilhelmstr. 10, 24768 Rendsburg, Tyskland**
- (74) Fuldmægtig i Danmark: **Budde Schou A/S, Hausergade 3, 1128 København K, Danmark**
- (54) Benævnelse: **Fremgangsmåde til regulering af et vindenergianlæg**
- (56) Fremdragne publikationer:
EP-A- 0 847 496
EP-A- 1 230 479
DE-A1- 19 844 258
DE-B3- 10 300 733
US-A- 4 161 658
LEITHEAD W E ET AL: "ROLE AND OBJECTIVES OF CONTROL FOR WIND TURBINES" IEE PROCEEDINGS C. GENERATION, TRANSMISSION, DISTRIBUTION, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS. STEVENAGE, GB, Bd. 138, Nr. 2 PART C, 1. März 1991 (1991-03-01), Seiten 135-148, XP000219783 ISSN: 0143-7046

Opfindelsen angår en fremgangsmåde til regulering af et vindenergianlæg ifølge den indledende del af krav 1 samt et vindenergianlæg ifølge den indledende del af krav 17.

5 Kendte fremgangsmåder anvendes i vindenergianlæg, der har en rotor med i det mindste et rotorblad, hvor rotorbladet er anbragt i en indstillelig rotorbladvinkel til rotoren. Ved de kendte fremgangsmåder reguleres rotoromdrejningstallet inden for et fastsat vindhastighedsområde ved forandring af rotorbladvinklen til indstilling af en fastsat effekt.

10 Med henblik på en bedre forståelse forklares i det følgende reguleringen af et vindenergianlæg ved hjælp af den i fig. 1 viste effekt- eller omdrejningstal-karakteristik som funktion af vindhastigheden.

15 Normale effekt- og omdrejningstal-karakteristikker, som de nu faktisk overvejende gennemkøres i vindenergianlæg, har to områder.

Det første område af effekt- eller omdrejningstal-karakteristikken er det nederste delbelastningsområde UB. Dette begynder ved den såkaldte indkoblingshastighed v_E og ender ved den nominelle vindhastighed v_N . Indkoblingsvindhastigheden er den 20 vindhastighed, ved hvilken et vindenergianlæg effektivt begynder at afgive effekt. Ved vindhastigheder, der ligger under indkoblingshastigheden v_E , dækker den ved hjælp af rotoren frembragte effekt kun den behøvede tabseffekt for drivstrengen samt eget forbrug.

25 I det nederste delbelastningsområde tiltager effekten eller omdrejningstallet med tiltagende vindhastighed indtil opnåelse af den nominelle vindhastighed v_N . Derved holdes rotorbladvinklen i det væsentlige konstant, og omdrejningstallet reguleres eller styres via det omdrejningstalafhængige drejningsmoment. Effekten indstiller sig afhængig af den af rotoren vindhastighedsafhængige optagne vindenergi. I det 30 nederste delbelastningsområde har omdrejningstal-karakteristikken to afsnit a og b, hvor afsnittet a er dannet som et plateau langs med den nederste omdrejningstalgrænse Ω_U . I det andet afsnit b øges omdrejningstallet lineært i afhængighed af vindhastigheden (drift med det optimale hurtigløbetal), indtil den øverste omdrejningstalgrænse med det nominelle omdrejningstal er nået. Opnåelsen af det nominelle 35 omdrejningstal kan foregå ved den nominelle vindhastighed, men for det meste opnås det nominelle omdrejningstal allerede tidligere.

Den nominelle vandhastighed v_N er den vindhastighed, ved hvilken effekten af vindenergianlægget for første gang svarer til den såkaldte nominelle effekt.

Det andet område af effekt- eller omdrejningstal-karakteristikken er det såkaldte nominelle effektområde, N_V . Det nominelle effektområde begynder ved den nominelle vindhastighed v_N og ender ved afkoblingsvindhastigheden V_A , hvor rotoromdrejningstallet inden for det nominelle effektområde styres ved forandring af rotorbladvinklen til indstilling af den nominelle effekt. Afkoblingsvindhastigheden V_A er den højeste vindhastighed, ved hvilken anlægget må drives ved effektafgivelse. Den normale drift af et vindenergianlæg, ved hvilken den nominelle effekt reguleres ved forandring af rotorbladet, er ikke mulig ved højere vindhastigheder end afkoblingsvindhastigheden, da der i så tilfælde ville ske en beskadigelse eller endog en ødelæggelse af anlægget på grund af den yderligere virkende kraftige mekaniske belastning. Det er derfor standard momentant at afkoble vindenergianlæg ved opnåelse af en afkoblingsvindhastighed.

I almindelighed tilføres effekten fra vindenergianlæg til det offentlige lysnet. Den pludselige afkobling af vindenergianlæg ved afkoblingsvindhastigheder kan imidlertid medføre spændings- eller frekvenssænkninger i det offentlige lysnet især i områder med mange energianlæg. Det tilstræbes derfor, at afkoblingen af anlægget ikke foregår pludseligt men ved en langsom reduktion af effekten.

Med en reduktion af effekten kan foruden en forenelighed med lysnettet endvidere opnås, at anlægget til trods for en overskridelse af afkoblingsvindhastigheden kan drives videre, uden at anlægget beskadiges på grund af de med tiltagende vindhastighed stigende mekaniske belastninger.

En fremgangsmåde, ved hvilken effekten og driftsomdrejningstallet reguleres efter opnåelse af en afkoblingsvindhastighed i afhængighed af vindhastigheden, kendes f.eks. fra EP 0 847 496 B1.

I fig. 2 er der eksempelvis vist en effekt- eller omdrejningstal-karakteristik ifølge denne kendte fremgangsmåde, der sammenlignet med de ovenfor diskuterede karakteristikker desuden har et tredje område, det øvre delbelastningsområde OB. Dette begynder med opnåelsen af en grænsevindhastighed $V_{\text{Grænse}}$, som i det væsentlige svarer til den hidtidige afkoblingsvindhastighed.

Også fra DE 198 44 258 A1 kendes en fremgangsmåde, ved hjælp af hvilken effekten ved opnåelse af en fastsat vindhastighed reduceres. Imidlertid indledes effekt-reduktionen allerede ved opnåelse af en vindhastighed, der ligger under afkoblings-vindhastigheden.

5

Det er fælles for de to fra den kendte teknik kendte fremgangsmåder, at reguleringen af effekten foregår i det øverste delbelastningsområde fra opnåelsen af en fastsat grænsevindhastighed i afhængighed af den målte stigende vindhastighed. I praksis er omsætningen af reguleringen af anlægget i det øverste delbelastningsområde i

10 afhængighed af målte vindhastigheder imidlertid at betragte som yderst problematisk.

Driften af et vindenergianlæg i det øverste delbelastningsområde betyder, at vindenergianlægget på grund af højere vindhastigheder er udsat for høje belastninger. Dette skyldes bl.a., at luftstrømningen ikke er stationær men turbulent. Turbulens

15 betyder, at den hastighed, med hvilken vinden rammer rotorfladen ikke er den samme på hvert sted af rotoren, men at vindenergien er fordelt forskelligt over hele rotorfladen. Dette betyder, at der i ét eller flere områder af rotoren kan angribe ekstremt høje vindkræfter. Samtidig kan der i et andet område eller flere andre områder af rotoren på den anden side kun angribe meget små eller endog slet ingen

20 vindkræfter, så at anlægget ved høj turbulens udsættes for meget kraftige skiftende belastninger, der straks eller på længere sigt kan beskadige anlægget. Energisvingningerne og dermed også de vekslende belastninger er særlig stor ved store vindhastigheder.

25 For en effekt- eller omdrejningstalregulering i det øverste delbelastningsområde er det derfor ønskeligt, at der foruden hensyntagen til vindkraften også tages hensyn til de ovenfor beskrevne skiftende belastninger i disse vindhastighedsområder på grund af turbulensen.

30 Ved anvendelse af de kendte fremgangsmåder er det derfor nødvendigt, at den målte vindhastighed, der ligger til grund for reguleringen, afspejler de faktisk fremherskende vindforhold. Der har dog ikke hidtil fandtes nogen praksisorienteret fremgangsmåde, med hvilken en sådan vindhastighed kan bestemmes på pålidelig måde.

35 Det er kendt at gennemføre målingen af vindhastigheden ved hjælp af et Gondel-anemometer. Herved drejer det sig imidlertid om en som bekendt forholdsvis unøjagtig

målemetode, da målingen kraftigt forfalskes på grund af vindroteren. Indflydelsesområdet for roteren ligger i det mindste en rotordiameter foran og 3 rotordiametre bagved roteren. På grund af dette er det ikke muligt med en uforstyrret måling. For det andet er det med denne målemetode kun muligt at vurdere måleforholdene for et punktformigt område af vindfeltet. Det er med denne kendte metode imidlertid ikke muligt at gengive den faktiske over hele roteren fremherskende turbulente vindhastighed.

Fra flere offentliggørelser, f.eks. fra WO 2004/077068 A1 eller DE 101 37 272 A1 er det kendt til den tredimensionelle måling af vindforholdene foran vindenergianlægget at anvende såkaldte LIDAR- eller SODAR-systemer. Dette beskrives som fornuftigt, især i sammenhæng med vindparker.

Disse systemer har hidtil i praksis kun været anvendt i forenklet form, da de endnu ikke er tilstrækkeligt afprøvet. Endvidere er LIDAR- og SODAR-systemer meget dyre, og det har derfor af prismæssige grunde hidtil ikke været muligt at udruste hvert energianlæg med en sådant system, så at en anvendelse af disse systemer til bedømmelse af de faktiske vindforhold hidtil ikke har kunnet gennemføres.

Fra EP 1 230 479 B1 kendes endvidere en fremgangsmåde, ved hvilken den mekaniske belastning af rotorbladene bestemmes ved hjælp af sensorer anbragt i rotorbladene, og de bestemte belastningsværdier kan f.eks. tillige udnyttes til regulering af anlægget. Fig. 2 i EP 1 230 479 B1 viser et diagram, hvor effekten er vist som funktion af vindhastigheden, og fig. 3 i EP 1 230 479 B1 viser et diagram, hvor de målte bladbelastninger er vist som funktion af vindhastigheden.

Som det fremgår af fig. 2 og fig. 3 i EP 1 230 479 B1 har bladbelastningen i det vindhastighedsområde, i hvilket der ifølge fig. 2 i EP 1 230 479 B1 måtte begyndes med en reduktion af effekten, et plateauformet forløb. Det betyder, at de mekaniske belastninger af rotorbladene på grund af en forandring af rotorbladvinklen og den dermed forbundne reduktion af vindangrebsfladen for rotorbladene i gennemsnit forbliver i det væsentlige konstante. På grund af dette kan bladbelastningen ikke udnyttes som driftsparameter til styring af reguleringen af effekt- eller omdrejningstallarakteristikken i det øverste delbelastningsområde, da en sådan regulering kun fungerer med en tydelig ændring af den gennemsnitlige bladbelastning, og at dette ifølge fig. 3 ikke er tilfældet. Kortvarige belastningsspidser kan ganske vist udnyttes til

regulering af vindmøllen, for at man f.eks. kan sikre sig, at bladspidserne for rotorbladene ikke kolliderer med tårnet. En regulering af effekten eller omdrejningstallet ved hjælp af belastningsspidser er imidlertid ikke fordelagtigt, da effekten som følge af forenelighed med lysnettet og omdrejningstallet på grund af den store masse træghed
5 for en vindrotor kun kan ændres langsomt, hvorved belastningsspidserne imidlertid allerede er klinget af.

På grund af dette har denne fremgangsmåde kun en mulighed for at registrere den mekaniske belastning af rotorbladene i det øverste delbelastningsområde og at tage
10 hensyn til de bestemte data ved reguleringen i det øverste delbelastningsområde. En udførlig regulering af anlægget i det øverste delbelastningsområde på grundlag af de bestemte belastningsværdier er imidlertid ikke åbenlys, så at reguleringen tillige ved fremgangsmåden i EP 1 230 479 i det øverste delbelastningsområde kun kan foregå i afhængighed af vindhastigheden.

15 En sammenfatning af den ovenfor beskrevne fremgangsmåde viser, at det hidtil har været kendt at regulere effekten eller omdrejningstallet i det øverste delbelastningsområde i afhængighed af vindhastigheden. Da det imidlertid ikke har været muligt uden høje produktionsomkostninger at bestemme en vindhastighed, som afspejler de
20 faktiske vindforhold, har de ovenfor beskrevne fremgangsmåder den ulempe, at de i praksis kun er vanskeligt realiserbare.

DE 103 00 733 B3 angiver et driftsføringssystem til et vindenergianlæg, via hvilket en effektafgivelse for anlægget reguleres, idet vindenergianlægget har en rotor med i det
25 mindste et rotorblad, som er anbragt i en justerbar rotorbladvinkel i forhold til rotoren, og driftsføringssystemet inden for et forudbestemt vindhastighedsområde regulerer rotoromdrejningstallet under justering af rotorbladvinklen for indstilling af en nominel effekt, og fra en defineret vindhastighedsafhængig grænseværdi reducerer effekten, idet grænseværdien er en defineret rotorbladgrænsevinkel.

30 US 4 161 658 A angiver et vindenergianlæg, som drives via en variabel pitchvinkel, idet der som indgangsstørrelse til en regulator for rotoromdrejningstallet tjener et drejningsmoment, et generatoromdrejningstal og en generatoreffekt samt en pitchvinkel og desuden en vindhastighed. Vindhastigheden kan være en gennemsnitsvindhastig-
35 hed.

Det er med den kendte teknik hidtil ikke lykkedes at finde en fremgangsmåde, der især til et multimegawattanlæg muliggør en effektreduceret anlægsdrift i et vindhastighedsområde mellem f.eks. 25 og 35 m/s eller 25 og 40 m/s, uden at der virksomt kan udelukkes en forøgelse af belastningerne af vindenergianlægget. Især ved høje vindhastigheder, ved hvilke svingningerne af vindhastigheden er forbundet med store svingninger af den indfaldene energi er de fra teknikkens stadi kendte styringsalgoritmer desuden meget svingningsmodtagelige. Af denne grund er de ovenfor nævnte fremgangsmåder hidtil knap nok blevet anvendt i praksis.

- 10 Effekt- eller omdrejningstalreduktionen skulle derfor ikke foregå på grundlag af den målte vindhastighed men på grundlag af en indgangsparameter, der dels fysisk og styringsteknisk er lettere at bedømme og dels udgør et bedre signal til anlæggets belastning.
- 15 Formålet med den foreliggende opfindelse er at tilvejebringe en forbedret og mere pålidelig fremgangsmåde til regulering af et vindenergianlæg, efter at en bestemt grænseværdi er nået, samt til forbedring af foreneligheden med lysnettet.

- Formålet opnås ved en fremgangsmåde til regulering af et vindenergianlæg, som har
- 20 de karakteristiske træk ifølge krav 1.

- Ved den foreslåede fremgangsmåde til regulering af et vindenergianlæg drives rotoren med ét i det væsentlige konstant holdt nominelt effektomdrejningstal i et nominelt effektområde, der følger efter et nederste delbelastningsområde, indtil en bestemt grænseværdi er nået. Ved overskridelse af grænseværdien drives rotoren i det øverste delbelastningsområde ved en reduktion af rotoromdrejningstallet til ned under det nominelle effektomdrejningstal.
- 25

- Under begrebet nominelt omdrejningstal skal der forstås det omdrejningstal, ved hvilket vindenergianlægget når sin nominelle effekt ved en nominel vindhastighed. Over for dette betegnes et rotoromdrejningstal med det nominelle effektomdrejningstal, ved hvilket vindenergianlægget kan levere en nominel effekt. Det nominelle effektomdrejningstal er ikke nødvendigvis identisk med det nominelle omdrejningstal, men kan have en værdi, der ligger i omegnen af det nominelle omdrejningstal. Dette område omfatter sædvanligvis, men ikke begrænsende, omkring +/- 10% af det nominelle omdrejningstal.
- 30
 - 35

Ifølge opfindelsen er det forudset, at rotoromdrejningstallet, når grænseværdien er nået, justeres i afhængighed af rotorbladvinklen.

Den foreliggende opfindelse giver den fordel, at reguleringen efter overskridelse af en grænseværdi som indgangsparameter for reguleringen af rotoromdrejningstallet ikke, som det kendes fra teknikens stade, benytter den målte vindhastighed, hvis målinger som allerede forklaret er underkastet betydelige vanskeligheder, men rotorbladvinklen, der kan bestemmes på en enkel måde. I stedet for rotoromdrejningstallet kan der til fremgangsmåden ifølge opfindelsen fuldstændig ækvivalent benyttes generatorens omdrejningstal.

Opfindelsen er endvidere baseret på den erkendelse, at den indstillede rotorbladvinkel giver en betydeligt bedre information vedrørende anlæggets belastningstilstand end den målte vindhastighed. Dette skyldes, at indstillingen af en bladvinkel foretages i afhængighed af rotoreffekten og rotoromdrejningstallet, og derfor afspejles ikke alene vindhastigheden via en indstillet bladvinkel, men at også andre faktorer tages med i betragtningen, som f.eks. den aktuelle vindretning, lufttætheden, de lodrette og vandrette vindgradienter, vindturbulensen, maskindynamikken, etc..

Den indstillede rotorbladvinkel afspejler derfor den over hele rotorfladen integreret optagne vindenergi, hvorimod den med et anemometer målte vindhastighed kun videregiver energitilbuddet for et punkt i vindfeltet i området for anemometeret.

Tilsvarende kan der på grund af de komplekse fysiske forhold imod den i lang tid almindelig anerkendte opfattelse heller ikke gives nogen entydig sammenhæng mellem en målt vindhastighed og rotorbladvinklen. Dette er også blevet bekræftet ved hjælp af målinger.

For at tydeliggøre det ovennævnte skal der på dette sted henvises til fig. 4. Fig. 4 viser optegnelsen af et stort antal rotorbladvinkler i afhængighed af vindhastighederne, som de måles ved normal drift af et vindenergianlæg ved turbulent vind.

Som det fremgår af denne gengivelse, kan en bladvinkel på f.eks. 15° både høre sammen med en vindhastighed på 13 m/s og en vindhastighed på 26 m/s eller også en vilkårlig værdi mellem disse to vindhastigheder. Den store spredning i måleværdierne skyldes foruden de ovenfor opremsede faktorer tillige, at det ved regulering

af et vindenergianlæg drejer sig om kraftigt dynamiske processer, som imidlertid har stor betydning for den aktuelle belastningstilstand.

Fig. 4 bekræfter dermed, at der faktisk ikke er nogen entydig sammenhæng mellem vindhastighed og bladvinkel men kun en sammenhæng med en grov korrelation, som ikke er tilstrækkelig til en nøjagtig regulering, som imidlertid er nødvendig til effektafgivelse fra et stort vindenergianlæg i det øverste delbelastningsområde.

Endvidere fremgår det tydeligt af fig. 4, at bladvinklen af denne grund udgør en betydeligt bedre indgangsparameter end vindhastigheden, da det herved drejer sig om en parameter, hvis værdi kan bestemmes på en enkel måde, hvorimod vindhastigheden kan have kraftige svingninger over rotorfladen.

Da formålet med en regulering af anlægget i det øverste delbelastningsområde består i, at en drift af anlægget også er mulig ved høje vindhastigheder uden at udsætte anlægget for fare ved overbelastning, er det ubetinget nødvendigt at tage hensyn til de ovennævnte parametre, såsom vindretning, vindturbulens, etc.. Dette muliggøres ved hjælp af den foreliggende opfindelse på en forbløffende enkel måde ved en bladvinkelafhængig regulering i det øverste delbelastningsområde.

En del af de ovennævnte påvirkninger kan sikkert elimineres ved en tilstrækkeligt længe midling af vindhastigheden. Som det i det følgende er vist endnu mere udførligt, reducerer en 15 sekunders middelværdidannelse imidlertid kun svingningerne uvæsentligt og flere minutters midlingstider, som det ville være nødvendigt til etablering af en halvvejs acceptabel korrelation, ville kun gøre reguleringen uønsket træg.

Påvirkninger, som f.eks. lufttæthedseffekten, fører til årstidsmæssige svingninger. Det er således f.eks. kendt, at der på steder med kraftige temperatursvingninger mellem vinter og sommer også kan forekomme betydelige lufttæthedssvingninger, der direkte indgår i belastningen af vindenergianlægget. Ved en effektreduktion i afhængighed af bladvinklen tages der fuldstændig hensyn til denne effekt. Desuden undgås fordelagtigt den erfaringsmæssigt fejlgivende tilpasning af den pågældende reguleringsparameter til den højdeafhængige gennemsnitlige lufttæthed på stedet, som det f.eks. er nødvendigt på ståsteder i bjerge.

For at forstå de nævnte effekter endnu bedre reguleres bladvinklen i moderne vind-energianlæg hyppigt ikke kun i afhængighed af rotoreffekten og rotoromdrejningstallet, altså af fysiske størrelser, som i videre forstand udgør integrationen af den fra vinden over hele rotorfladen optagne energi, men bladvinklen kan også reguleres i afhængig-
5 hed af de målte eller ved beregning bestemte (skønnede) belastninger.

Frengangsmåden ifølge opfindelsen forudser, at driften af rotorbladvinklen overvåges permanent. Under grænseværdien regulerer driftscomputeren omdrejningstallet således, at der opnås et optimalt energiudbytte, dvs. at rotoren drives med den mest
10 gunstige beregnede omdrejningstalværdi for driftsområdet. Overholdelsen af det beregnede omdrejningstal foregår sædvanligvis ved en kombination af bladindstilling og generatormoment- eller effektregulering og er tilstrækkelig præcist beskrevet i den kendte teknik. Efter opnåelse af grænseværdien sænkes ved hjælp af en fastsat beregningsfunktion den beregnede værdi for rotoromdrejningstallet i afhængighed af
15 rotorbladvinklen, dvs. at det nominelle effektomdrejningstal forlades. I forbindelse med den hidtil beskrevne omdrejningstalregulering drejer det sig altid om fastsættelse af en beregnet omdrejningstalværdi, der f.eks. udnyttes som reguleringsindgang til reguleringen af bladindstillingen. Vindstød eller negative vindstød fører imidlertid som ved normal drift under grænseværdien endvidere til dynamiske svingninger omkring det
20 beregnede omdrejningstal, som derpå skal korrigeres ved en dynamisk ændring af bladvinklen og eventuelt af generatormomentet.

Som det er kendt inden for teknikens stadi ved en drift af anlægget i det nominelle effektområde, foregår reguleringen af omdrejningstallet endvidere i det væsentlige ved
25 indstilling af bladvinklen, dvs. at bladvinklen ændres afhængig af omdrejningstalafvigelsen (beregnet omdrejningstal - det faktiske omdrejningstal) for at overholde det beregnede omdrejningstal. Det drejer sig altså her om en klassisk reguleringskreds med en enkel signaltilbageføring.

30 Ved drift i det øverste delbelastningsområde foregår ifølge den foreliggende opfindelse ligeledes reguleringen af omdrejningstallet ved indstilling af bladvinklen. Desuden styres imidlertid det beregnede omdrejningstal afhængig af bladvinklen, dvs. at ikke alene bladvinklen ændres afhængig af omdrejningstalafvigelsen, men hver ændring af bladvinklen fører samtidig til en ændring af omdrejningstalafvigelsen (ved ændring af
35 det beregnede omdrejningstal) da omdrejningstalafvigelsen anvendes til regulering af bladvinklen, fører ændringen af det beregnede omdrejningstal også til en efterfølgende

ændring af bladvinklen. Billedlig talt svarer ændringen af det beregnede omdrejningstal til en ændring af reguleringsmålet. For så vidt drejer det sig her om en dobbelt signaltilbageførsel. Simuleringer og målinger på prototyper viser, at denne reguleringskreds kan drives stabilt, og at fremgangsmåden ifølge opfindelsen arbejder problem-

5 løst ved egnet valg af parametre.

Reduktion af rotoromdrejningstallet foregår ved hjælp af en beregningsfunktion (omdrejningstallet som funktion af bladvinklen) f.eks. i form af en tabel eller en matematisk funktion, der bestemmes under hensyntagen til de aerodynamiske rotorforhold og

10 belastninger. For at opnå optimale resultater er det derfor nødvendigt, at beregningsfunktionen bestemmes iterativt for hver bladtype og for hver anlægsversion enten ved computer-simulationsberegninger eller ved feltforsøg, som ganske vist er meget langsomme.

15 En særlig fordelagtig udførelsesform af opfindelsen forudser derfor, at beregningsfunktionen for omdrejningstallet som funktion af bladvinklen bestemmes og/eller optimeres ved simulationsberegninger under hensyntagen til anlægsbelastningerne ved turbulente vindforhold.

20 En fremgangsmåde til bestemmelse eller optimering af omdrejningstal-bladvinkel-karakteristikken ved reguleringen ifølge opfindelsen for et vindenergianlæg forudser herved, at reguleringens opførsel undersøges, især med turbulente vindperioder, der indeholder positive vindhastighedsspring, dvs. at den gennemsnitlige vindhastighed på f.eks. 26 m/s pludselig stiger til 35 m/s. I disse tilfælde er faren for overbelastning af

25 vindturbinen særlig stor.

Hvis de herved forekommende belastninger overstiger de tilladelige belastninger, så skal omdrejningstal-bladvinkel-karakteristikken, reguleringsparameteren og/eller reguleringsalgoritmen ændres. Alternativt kan det naturligvis også påvises, at alle kom-

30 ponenter i maskinen holder stand mod de øgede belastninger.

I simulationsberegninger for et 5 megawatt-anlæg har det herved vist sig, at rotoromdrejningstallet i området for grænseværdien skal reduceres forholdsvis hurtigt for at holde belastningerne i det tilladelige område. For at man ligeledes ikke lader effekten

35 falde kraftigt skal desuden generatorens drejningsmoment hæves sammenlignet med den fra den nederste delbelastningsdrift kendte omdrejningstalafhængige opførsel.

Denne først og fremmest mere kostbare fremgangsmåde har imidlertid i sluteffekten den fordel, at reguleringen kan udføres således, at forekommende belastninger ikke bliver højere end, når anlægget afkobles ved opnåelse af grænseværdien, eller at de bedre kan udjævnes, og derfor kan f.eks. anlæggets driftssikkerhed øges, og til trods
5 for dette kan der realiseres et ønskeligt langsomt fald i effekten på grund af foreneligheden med lysnettet.

Som grænseværdi kan der f.eks., som det er kendt fra teknikens stadi, anvendes en bestemt afkoblingshastighed. Som diskussionen inden for teknikens stadi forklarer
10 udførligt, udgør registreringen af den faktisk fremherskende afkoblingshastighed et stort problem.

Ifølge en fordelagtig udførelsesform af opfindelsen kan der også anvendes en bestemt rotorbladgrænsevinkel som grænseværdi, som det f.eks. beskrives i
15 DE 103 00 733 B3.

Ifølge opfindelsen beregnes rotorbladvinklen som en tidsvægtet middelværdi af flere rotorbladvinkler, hvorved man ved valget af midlingstid kraftigt kan påvirke reguleringskvaliteten. Den optimale midlingstid er afhængig af energifordelingen for
20 den turbulente vind og skulle ved sædvanlige europæiske ståsteder fortrinsvis ligge mellem 2-120 s, særlig fordelagtigt mellem 10 og 60 sekunder.

Ved et multimegawattanlæg med en 5 MW effekt har anvendelsen af en glidende 15 sek.-middelværdi vist sig at være særlig fordelagtig både med hensyn til den ønskede
25 reguleringsstabilitet og med hensyn til overholdelse af de tilladelige anlægsbelastninger. Til optimering af reguleringsalgoritmen kan den glidende midling tilnærmes i den interne styring ved hjælp af et PT₁-led med en tidskonstant på ca. 7,7 sek.

Da rotorbladene i moderne vindturbiner kan indstilles enkeltvis, skal bladvinklen ikke
30 alene bestemmes tidsmæssigt men også stedligt, dvs. at der også beregnes en middelværdi af den enkelte rotorbladvinkel. Herved er der både for den tidsmæssige og for den stedlige midling ikke alene forudset aritmetriske middelværdier men enhver anden matematisk middelværdidannelse, f.eks. geometriske middelværdier.

35 Den i det ovennævnte EP 1 230 479 forslåede fremgangsmåde til bladregulering med målte belastninger samt tillige en regulering med såkaldte belastningsskøn (load

estimator) fører i forbindelse med fremgangsmåden ifølge opfindelsen til særlig fordelagtige synergieffekter. Begrebet anlægsbelastning omfatter her både belastninger og deformationer.

- 5 Ifølge en yderligere fordelagtig udførelsesform af opfindelsen kan generatormomentet for den i vindenergianlægget anbragte generator indstilles oven for grænsebladvinklen i afhængighed af rotoromdrejningstallet, hvorved generatormomentet ifølge en yderligere fordelagtig udførelsesform af opfindelsen kan reduceres med aftagende rotoromdrejningstal.

10

Kendte vindenergianlæg har en konverter, der er udformet således, at anlægget kan drives med varierende omdrejningstal. Hvis rotoromdrejningstallet (eller generatoromdrejningstallet) sænkes, er konverteren i reglen ikke i stand til at opretholde generatormomentet i størrelsen for det nominelle moment. Afhængig af konverterens ydeevne skal man derfor ligeledes sænke generatormomentet i afhængighed af omdrejningstallet. Dette kan ligeledes opnås ved forlæg af en tabelfunktion eller en matematisk funktion, og således som det allerede er normalt for den nederste delbelastningsdrift i området for det optimale hurtigløbetal.

15

- 20 Det er i den forbindelse nærliggende som en begyndelse at anvende den til det nederste delbelastningsområde anvendte sammenhæng, der hyppigt er fastholdt i form af en tabelfunktion, den såkaldte "look-up table", i styringen.

25

Den af belastningsgrunde nødvendige omdrejningstal-karakteristik ville dog i forbindelse med delbelastnings-drejningsmoment-karakteristikken føre til en uønsket kraftig effektreduktion i området for grænsebladvinklen. Derfor er det af væsentlig betydning for den ønskede bløde og jævne effektreduktion, at generatormomentet indstilles med betydeligt højere værdier, end det kendes fra det nederste delbelastningsområde.

30

Derfor forudser en særlig fordelagtig udførelsesform af opfindelsen, at man foretager indstillingen af generatormomentet ligeledes i afhængighed af bladvinklen.

35

Særlig enkel er herved den begyndelse at lægge den til delbelastningsområdet bestemte funktion, f.eks. en tabel eller matematisk sammenhæng, også at lægge reguleringen ovenover rotorbladgrænsevinklen til grund, men denne tilpasses i af-

hængighed af rotorbladvinklen ved hjælp af en korrektionsværdi således, at den ønskede bløde og jævne effektreduktion opnås.

Anvendelsen af et korrigeret drejningsmoment har den fordel, at der lægges en universel regulator til grund for begge delbelastningsområder. Da bladvinklerne i det nederste delbelastningsområde altid er nær ved nul grader, bliver den bladvinkelafhængige korrektion ikke indført her. Den efterfølgende tabel 1 viser eksempelvis korrektionen af drejningsmomentet for et 5 MW-anlæg med et nominelt omdrejningstal på 1170 rpm og et nominelt moment på ca. 44.900 Nm.

10

Rotorbladvinkel (grader)	23	25	30	30,5	33	40	50
Øverste beregnede omdrejningstalgrænse (rpm)	1180	1160	1060	1050	1000	880	760
Korrigeret drejningsmoment (Nm)	0	0	15.000	14.500	10.000	5000	5000

Tabel 1: Omdrejningstalafhængig korrektion af drejningsmomentet for et 5 MW-anlæg

Som det fremgår af tabellen, sker der ikke nogen korrektion af drejningsmomentet førend opnåelse af rotorbladgrænsevinklen, der her ligger ved 25 grader. Ved overskridelse af rotorbladgrænsevinklen, f.eks. fra en rotorbladvinkel på 30 grader, foregår der derpå en tilsvarende tilpasning ved hjælp af korrektionsværdier for drejningsmomentet.

Den anden tabellinie viser det bladvinkelafhængige beregnede omdrejningstal, der foretages i form af en øvre begrænsning af det beregnede omdrejningstal. Herved har det vist sig som særlig fordelagtigt at udføre omdrejningstalbegrænserens indgreb særlig blødt, idet der ved en bladvinkel på 23 grader fastsættes en omdrejningstalgrænse, der ligger lige over det nominelle omdrejningstal for anlægseksemplet. Der interpoleres mellem støttestederne, mest enkelt lineært, men fortrinsvis med interpolationer af højere orden. En interpolation kan selvfølgelig foretages ved alle tabelværdier.

Det er særlig fordelagtigt at indgive den ovenfor viste tabel i styringen i relative værdier i stedet for de viste absolutte værdier, da deres egenskaber så i det væsentlige kan overføres til anlæg med en anden størrelse.

- 5 I forbindelse med højere udviklet styringssystemer styres generatormomentet hyppigt dynamisk, hvorved rotoromdrejningstallet udnyttes som indgangssignal f.eks. for en PID-regulator. Den til det nederste delbelastningsområde nødvendige optimale omdrejningstal-karakteristik realiseres ofte ved begrænsninger af PID- eller også PI-regulatoren. Reguleringen ifølge opfindelsen forudser tillige i dette tilfælde en blad-
- 10 vinkelafhængig begrænsning af regulatoren for at realisere den ønskede opførsel af drejningsmomentet.

- Alt efter de til rådighed stående indstillingsparametre kan der ifølge en yderligere fordelagtig udførelsesform af opfindelsen i stedet for generatormomentet tillige for-
- 15 delagtigt indstilles effektafgivelsen i afhængighed af rotoromdrejningstallet, hvorved effektafgivelsen ifølge en yderligere fordelagtig udførelsesform af opfindelsen kan reduceres med aftagende rotoromdrejningstal.

- Som det i diskussionen af teknikens stade allerede er nævnt, er de fra teknikens
- 20 stade kendte reguleringsalgoritmer, der regulerer i afhængighed af vindhastigheden, især ved høje vindhastigheder meget svingningsfølsom. Ifølge en fordelagtig udførelsesform af opfindelsen er det derfor forudset, at over rotorbladgrænsevinklen ændres reguleringsparametre sammenlignet med normaldriften af anlægget ved en bladvinkelafhængig tilpasning således, at reguleringsstabiliteten opretholdes i det
- 25 øverste delbelastningsområde.

- Denne tilpasning skyldes den erfaring, at kravene til regulatoren ændres ved høje vindhastigheder. Hvis man f.eks. betragter et retningslinjekonformt ekstremt drifts-
- vindstød, som lader vindhastigheden stige med omkring 9 m/s, så indeholder denne
- 30 ligeså store vindhastighedsændring en 24% højere ændring af energiindholdet, når den finder sted ved en gennemsnitlig vind på 32 m/s i forhold til 25 m/s. Disse øgede energisvingninger forårsager f.eks. kraftigere omdrejningstalsvingninger, end de forekommer ved normaldrift. Hvis man ville reagere på disse kraftige omdrejningstal-svingninger med en ligeså stor bladvinkelændring som ved drift med normal effekt,
- 35 ville maskinen blive påvirket til svingninger på grund af overreaktionen. Endvidere har det længe været kendt, at afhængigheden af ændringen af rotoromdrejningsmomentet

af ændringen af bladvinklen (sensitiviteten) øges med tiltagende bladvinkel. Begge effekter forstærker hinanden og fører til det krav at reducere pitchforstærkningen bladvinkelafhængig over det fra den normale drift kendte mål.

- 5 Således kan det ifølge en yderligere fordelagtig udførelsesform af opfindelsen forudses, at man reducerer den såkaldte pitchforstærkning ved bladvinkler over 30 grader til under 20% af den nominelle forstærkning, dvs. pitchforstærkningen ved normal vind. Pitchforstærkningen er en reguleringsparameter, som skales i afhængigheden af den bladvinkelændring, der skal gennemføres af den aktuelle omdrejningstalafvigelse.
- 10 Ved en enkel proportionalregulator drejer det sig om proportionalfaktoren mellem reguleringsafvigelse og ændring af den indstillede værdi, dvs. at i det konkrete tilfælde om omdrejningstalregulering ved hjælp af bladvinkelændring beregnes bladvinkelændringen ved multiplikation af omdrejningstalafvigelsen med pitchforstærkningen. (Reelt er forholdene noget mere kompliceret, da det ikke drejer sig om en ren P-
- 15 regulator men om en PID-regulator, men også forstærkningerne af integral- og differentielandelen skales ved hjælp af pitchforstærkningen).

- Det foreslås altså, at pitchforstærkningen ved de store bladvinkler udgør mindre end en femtedel af pitchforstærkningen ved normal vind, da det ved simulationsberegninger har vist sig, at de nævnte reguleringsustabiliteter, såsom svingninger, kan elimineres.
- 20

- Af de ovenfor nævnte grunde er det afhængig af ståsted og anlæg en fordel foruden pitchforstærkningen at reducere eller forøge også andre reguleringsparametre i afhængighed af bladvinklen, som f.eks. tilladelige grænseværdier for det tilladelige omdrejningstalområde eller for pitchraterne.
- 25

- Endvidere angår den foreliggende opfindelse også et vindenergianlæg med et rotorblad, der er anbragt i en indstillelig rotorbladvinkel i forhold til rotoren, hvorved vindenergianlægget ifølge opfindelsen kan drives ved en fremgangsmåde ifølge kravene 1 til 15.
- 30

I det følgende skal opfindelsen forklares nærmere ved hjælp af flere afbildninger. På afbildningerne viser:

- fig. 1: en skematisk gengivelse af en effekt- og en omdrejningstal-karakteristik med et nederste delbelastningsområde UB og et nominelt effektområde NB,
- fig. 2: en skematisk gengivelse af en effekt- og en omdrejningstal-karakteristik med et nederste delbelastningsområde UB, et nominelt effektområde NB og et øverste delbelastningsområde OB,
- fig. 3: en skematisk gengivelse af en effekt-, en drejningsmoment- og en omdrejningstal-karakteristik i afhængighed af rotorbladvinklen,
- fig. 4: diagram med aftegnede rotorbladvinkler i afhængighed af vindhastigheden,
- fig. 5: diagram med simulerede måledata for generatoromdrejningstallet i afhængighed af rotorbladvinklen og i afhængighed af vindhastigheden,
- fig. 6: en omdrejningstal-bladvinkel-karakteristik for et vindenergianlæg,
- fig. 7: en konverterkarakteristik,
- fig. 8: diagram: optegnelse af drejningsmomentet/omdrejningstallet i afhængighed af rotorbladvinklen.
- Fig. 1 er allerede blevet forklaret i diskussionen af den kendte teknik og skal derfor ikke på dette sted diskuteres endnu engang.
- Også fig. 2 er allerede forklaret i den kendte teknik, så at der på dette sted kun skal foretages nogle supplerende bemærkninger.
- Fig. 2 viser i det yderste delbelastningsområde UB en fuldt optrukket linje en omdrejningstal-karakteristik, der fører til et optimalt energiudbytte ved et begrænset fastsat omdrejningstalområde mellem Ω_U og Ω_N . Reguleringen af omdrejningstallet foregår sædvanligvis ved hjælp af en på generatoromdrejningsmomentet virkende PI- eller PID-regulator, for hvilken drejningsmomentet til opnåelse af omdrejningstallampen for driften ved et optimalt hurtigløbetal begrænses i afhængighed af omdrejningstallet. Alternativt kan der som nævnt ovenfor til opnåelse af en særlig enkel reguleringsalgoritme også fastsættes en enkel omdrejningstal-omdrejningsmoment-afhængighed, f.eks. i form af en tabelfunktion. En sådan fast omdrejningstal-omdrej-

ningsmoment-karakteristik ville eksempelvis føre til det med punkteret linje indsatte omdrejningstalforløb. Det vandrette plateau skal erstattes af flade ramper, da der ellers ikke forefindes nogen entydig og omvendelig sammenhæng for en tabelfunktion. Den stejle rampe, der kan ses helt i begyndelsen af omdrejningstal-karakteristikken, tjener eksempelvis til undgåelse af en tårnresonans og ligger i det viste eksempel under indkoblingshastigheden v_E . En sådan stejl rampe kan imidlertid også fuldstændig være forudset ved normaldrift.

Da effekten ifølge de fysiske grundligninger kan bestemmes ud fra produktet af omdrejningstallet og drejningsmomentet, fremgår det allerede af fig. 2, at den for det nederste delbelastningsområde UB gældende omdrejningstal-drejningsmoment-sammenhæng skal modificeres i det øverste delbelastningsområde OB, da der ved samme omdrejningstal opnås en højere effekt. Ved diskussionen af fig. 8 går man mere ind på denne sammenhæng.

Fig. 3 viser en effekt- og en omdrejningstal- og moment-karakteristik i afhængig af rotorbladvinklen ψ . Som det allerede er blevet forklaret i diskussionen af teknikens stade, holdes rotorpladevinklen i det nederste delbelastningsområde i det væsentlige konstant ved næsten 0 grader. Ved opnåelse af den nominelle effekt begynder det nominelle effektområde OB, og rotorbladvinklen ændres således, at anlægget drives ved nominel effekt, nominelt moment og nominelt effektomdrejningstal. Ved opnåelse af en rotorbladgrænsevinkel $\psi_{\text{Græns}}$ begynder der en blød reduktion af omdrejningstallet Ω , drejningsmomentet M og dermed også effekten P , hvorved omdrejningstallet og momentet eller effekten fastsættes ifølge opfindelsen afhængig af forøgelsen af bladvinklen. Omdrejningstallet, drejningsmoment og effekten er vist relativt og kan derfor også lægges i denne form i en tabel i styringen.

Fig. 4 er allerede blevet forklaret ved beskrivelsen af fordelene ved opfindelsen og skal derfor på dette sted ligeledes ikke diskuteres endnu engang.

Fig. 5 viser optegnelsen af et stort antal registrerede generatoromdrejningstal Ω , der er blevet bestemt ved simulationsberegninger for et 5 MW-anlæg som funktion af vindhastigheden. Da algoritmen til bestemmelse af omdrejningstallet som beskrevet ovenfor arbejder med den glidende 15 sek.-middelværdi for bladvinklen, blev vindhastigheden også underkastet en glidende 15 sek.-middelværdidannelse til etablering af en sammenlignelighed.

Optegnelsen af omdrejningstallet som funktion af vindhastigheden viser på en meget anskuelig måde, at omdrejningstallet og dermed også effekten ikke reduceres i afhængighed af vindhastigheden men i afhængighed af rotorbladvinklen, der, som allerede vist i fig. 4, ikke har en entydig sammenhæng med vindhastigheden.

5

Fig. 5 viser, at der ved reguleringsfremgangsmåden ifølge opfindelsen til trods for en 15 sekunders middelværdidannelse kan et omdrejningstal på f.eks. 900 rpm være forbundet med en vindhastighed på mellem 23 m/s og 44 m/s, eller omvendt at en vindhastighed på f.eks. 33 m/s kan svare til et omdrejningstal på fra 680 til 1070 rpm, 10 og altså den overvejende del af hele området for omdrejningstallet for eksempelvis et 5 megawatt-anlæg, der ligger mellem 650 og 1660 rpm.

Simulationsberegninger har vist, at netop frigørelsen fra den i teknikens stadi foreslåede afhængighed af vindhastigheden og den ifølge opfindelsen indførelse af 15 bladvinklen som reguleringsindgang til omdrejningstal- og effektreduktion ikke alene forbedrer styreegenskaberne, men som beskrevet først nu gør det muligt på fornuftig vis. Fornuftigt betyder i den forbindelse, at det sikkert også er muligt at gennemføre effektreduktionen i afhængighed af vindhastigheden, men som ville gøre beherskelsen af de nævnte reguleringsustabiliteter og øgede belastninger med denne fremgangs- 20 måde uøkonomisk.

Fig. 6 viser et eksempel på en omdrejningstal-bladvinkel-karakteristik for et anlæg med et nominelt omdrejningstal på 1170 rpm. I det foreliggende tilfælde skal der fra en grænsebladvinkel på omkring 24 grader påbegyndes en reduktion af omdrejningstallet. 25 Ved omkring 50 grader opnås et omdrejningstal på 1000 rpm. I det viste tilfælde er karakteristikken angivet lineært. Alt efter de foreliggende belastninger eller ønskede lysnetegenskaber er det i praksis fordelagtigt at fastsætte ikke-lineære såvel som progressive eller degressive karakteristikker.

30 Fig. 7 viser et eksempel på konverterkarakteristikken. Der er optegnet det tilladelige generatormoment som funktion af generatoromdrejningstallet. Hvis energiudbyttet ved effektreduceret drift skal maksimeres, vil karakteristikken så vidt mulig følge "skarpt" efter. Hvis der først og fremmest ønskes en reduktion af driftsstrengbelastningerne (f.eks. drevmomentet), kan det være fordelagtigt med en betydelig underskridelse af 35 karakteristikken, hvorved der naturligvis tilføres mindre energi til lysnettet. En

overskridelse af konverterkarakteristikken er kun muligt i meget kort tid for ikke at bringe konverteren i fare.

Fig. 8 viser optegnelsen af generatoromdrejningstallet (hastigheden) og generatormomentet afhængig af bladvinklen ved hjælp af de i tabel 1 viste værdier. Det over
5 bladvinklen optegnede forløb for den til det nederste delbelastningsområde anvendte omdrejningstal-drejningsmoment-afhængighed er betegnet med $M_{\text{karakteristik}}$ og den fastsatte beregnede værdi ved reguleringsfremgangsmåden ifølge opfindelsen med bladvinkelafhængig drejningsmomentkorrektion er betegnet med M_{beregnet} . De
10 i tabel 1 angivne drejningsmomentkorrektionsværdier er vist i form af afvigelsen mellem $M_{\text{karakteristik}}$ og M_{beregnet} .

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåde til regulering af et vindenergianlæg med en rotor, der i det mindste har et rotorblad, der er anbragt i en indstillelig rotorbladvinkel til rotoren, der i et
5 nominelt effektområde (NB), der følger efter et nederste delbelastningsområde (UB), indtil opnåelse af en bestemt grænseværdi drives med et i det væsentlige konstant holdt nominelt effektomdrejningstal (Ω_N) og ved overskridelse af grænseværdien i et øverste delbelastningsområde (OB) drives ved en reduktion af rotoromdrejningstal (Ω) under det nominelle effektomdrejningstal (Ω_N), idet rotoromdrejningstallet (Ω), efter
10 opnåelse af grænseværdien, indstilles i afhængighed af rotorbladvinklen, **kendetegnet ved, at** rotorbladvinklen til indstilling af rotoomdrejningstallet (Ω) over grænseværdien beregnes som tidsmæssig og/eller stedlig middelværdi ud fra flere rotorbladvinkler.
2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, **kendetegnet ved, at** grænseværdien er en fastsat
15 rotorbladgrænsevinkel.
3. Fremgangsmåde ifølge krav 1, **kendetegnet ved, at** den tidsmæssige middelværdi svarer til en glidende 10 sek.- til 60 sek.-middelværdi.
- 20 4. Fremgangsmåde ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** den tidsmæssige middelværdi svarer til en glidende 15 sek.-middelværdi.
5. Fremgangsmåde ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** rotorbladvinklen for vindenergianlægget reguleres afhængig af målte eller skønnede
25 anlægsbelastninger.
6. Fremgangsmåde ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** rotoromdrejningstallet (Ω) over grænseværdien reduceres med tiltagende rotorbladvinkel.
- 30 7. Fremgangsmåde ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** generatormomentet (M) for den i vindenergianlægget anbragte generator over grænseværdien indstilles i afhængighed af rotoromdrejningstallet (Ω).
8. Fremgangsmåde ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** generator-
35 momentet (M) reduceres med aftagende rotoromdrejningstal (Ω).

9. Fremgangsmåde ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** generatormomentet (M) reguleres i afhængighed af rotorbladvinklen.
10. Fremgangsmåde ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** indstillingen af generatormomentet (M) i det øverste og eventuelt også i det nederste delbelastningsområde foregår i afhængighed af rotorens omdrejningstal (Ω) og bladvinklen.
11. Fremgangsmåde ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** effektafgivelsen for vindenergianlægget over grænseværdien indstilles i afhængighed af rotoromdrejningstallet (Ω).
12. Fremgangsmåde ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** effektafgivelsen reduceres med tiltagende rotoromdrejningstal (Ω).
13. Fremgangsmåde ifølge ethvert af de foregående krav, **kendetegnet ved, at** over grænseværdien ændres reguleringsparametre sammenlignet med anlæggets normale drift ved en bladvinkelafhængig tilpasning således, at reguleringsstabiliteten bibeholdes i det øverste delbelastningsområde (OB).
14. Fremgangsmåde ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** en reguleringsparameter er pitchforstærkningen.
15. Fremgangsmåde ifølge det foregående krav, **kendetegnet ved, at** pitchforstærkningen ved bladvinkler over 30 grader udgør mindre end 20% af den nominelle forstærkning, og/eller ved bladvinkler over 40 grader udgør mindre end 16% af den nominelle forstærkning.

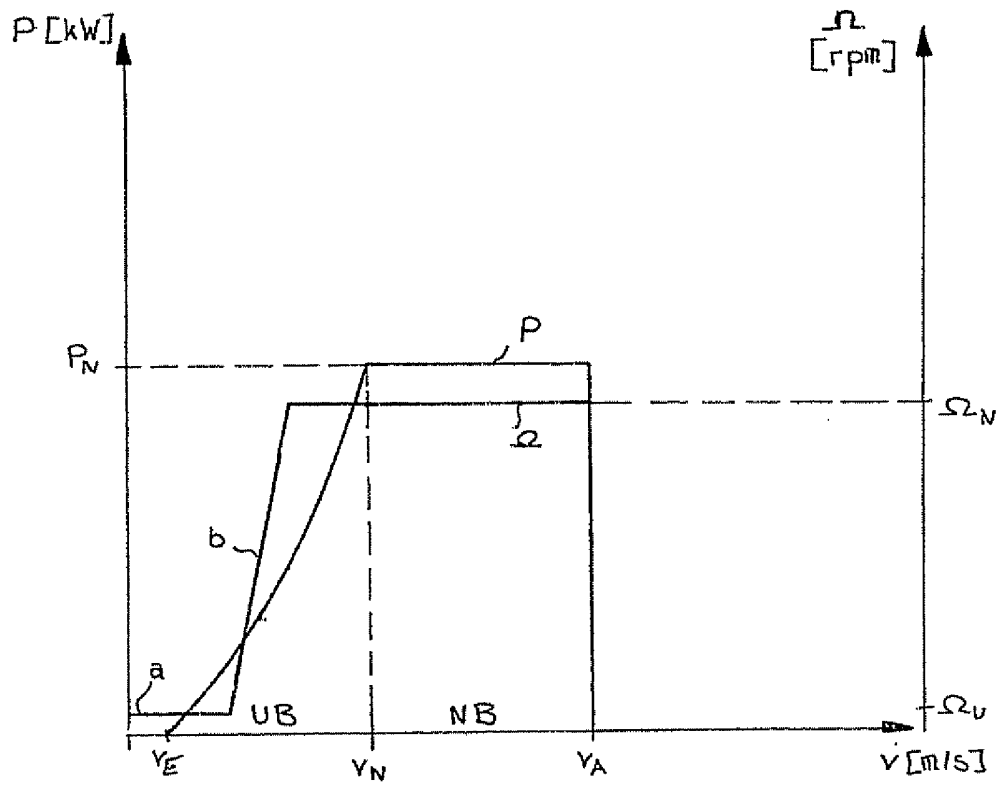


Fig 1

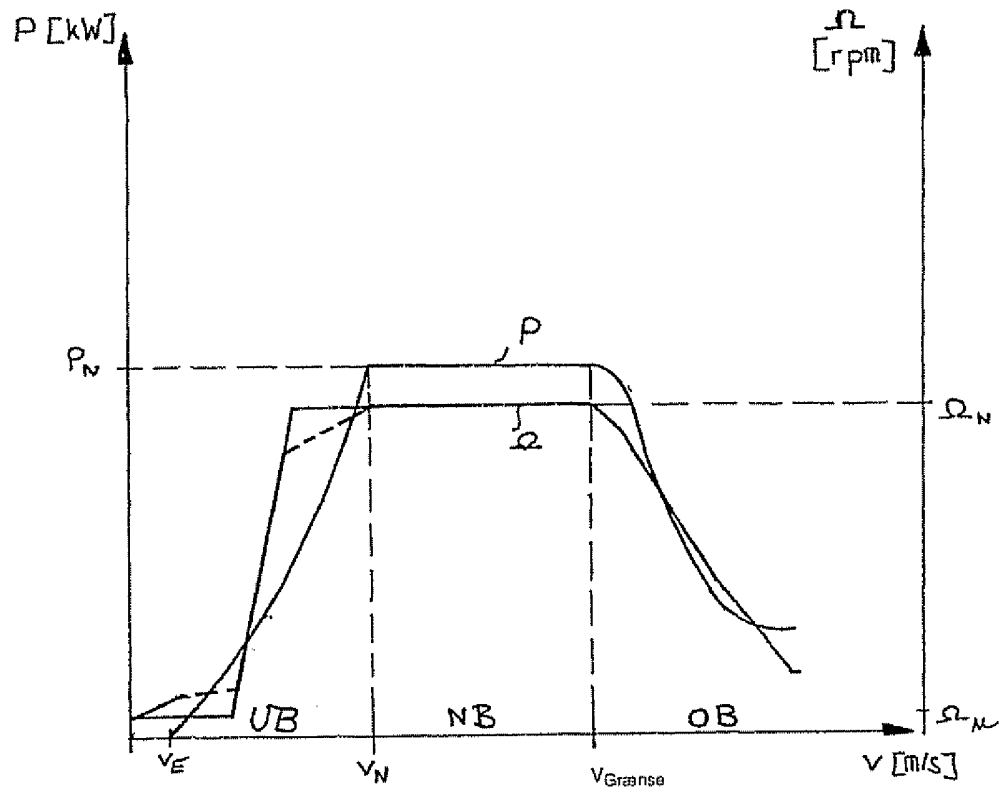


Fig 2

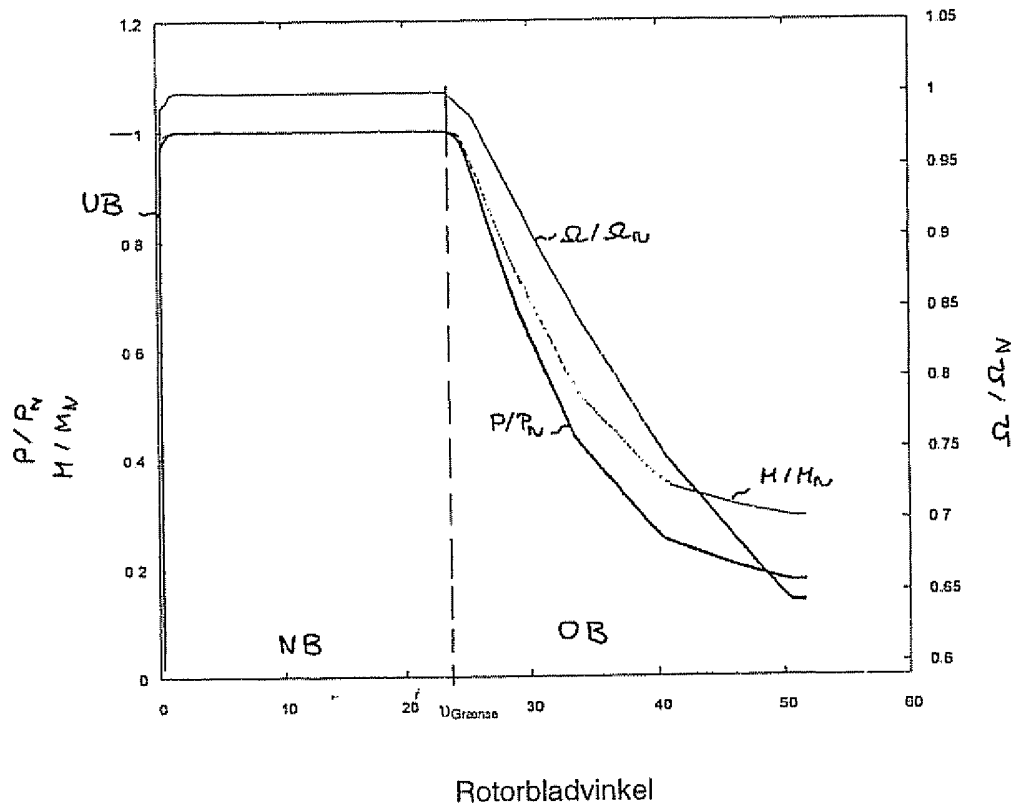


Fig 3

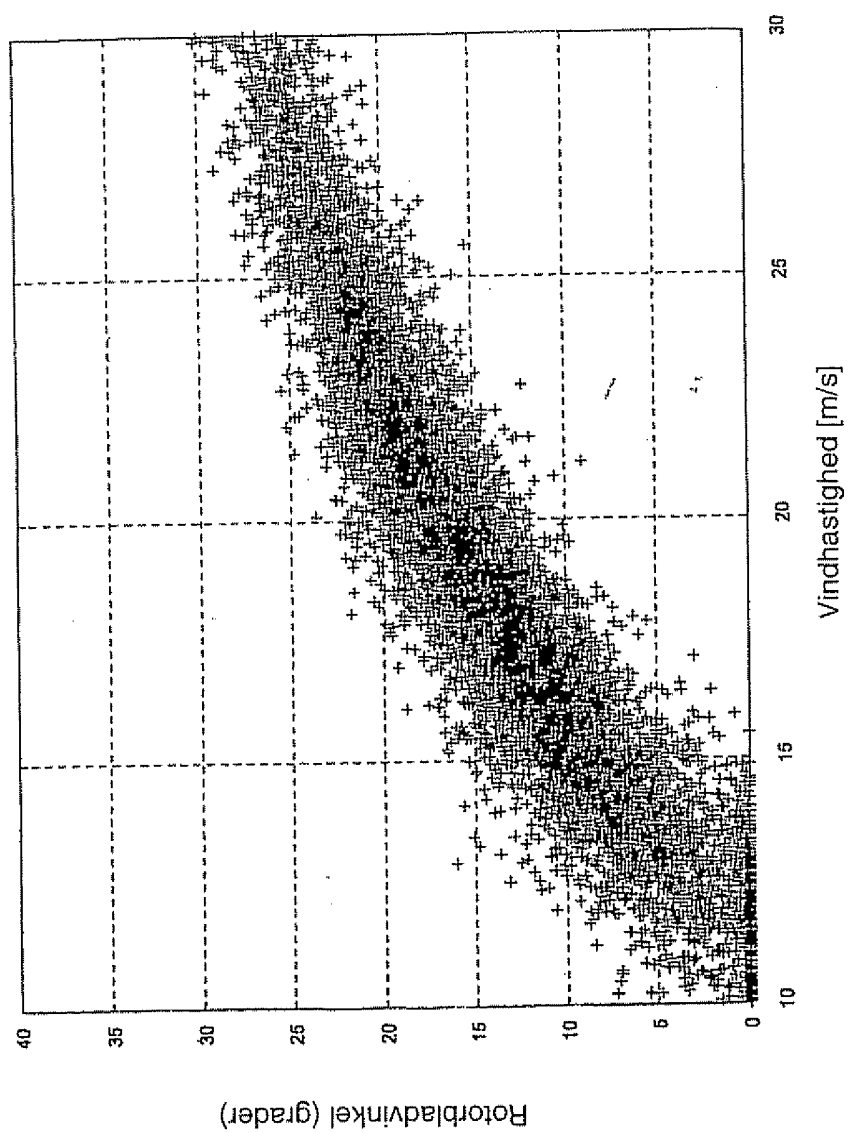


Fig 4

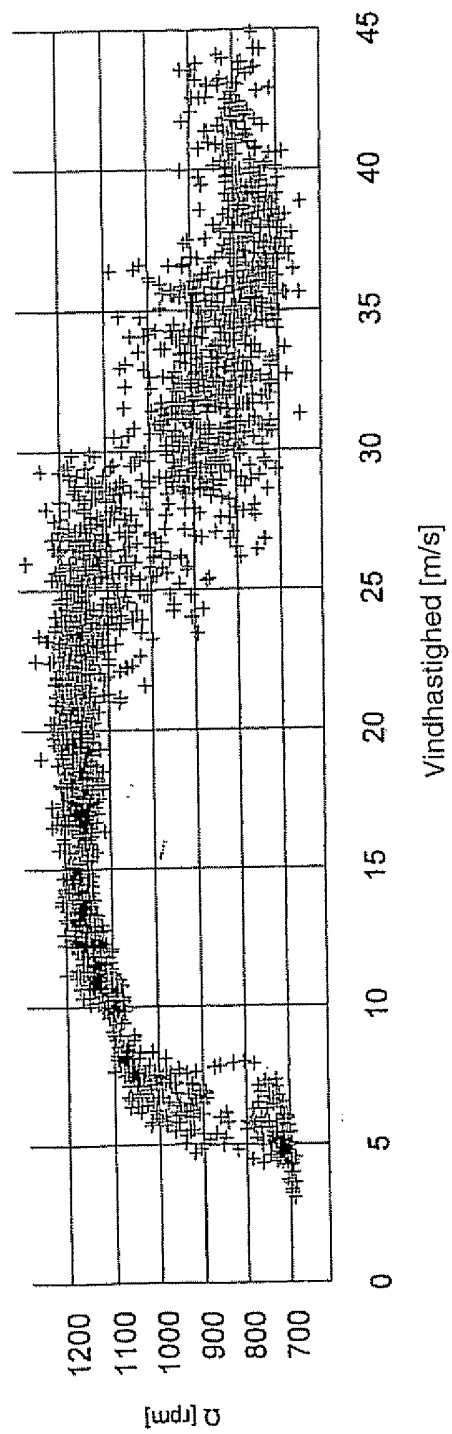
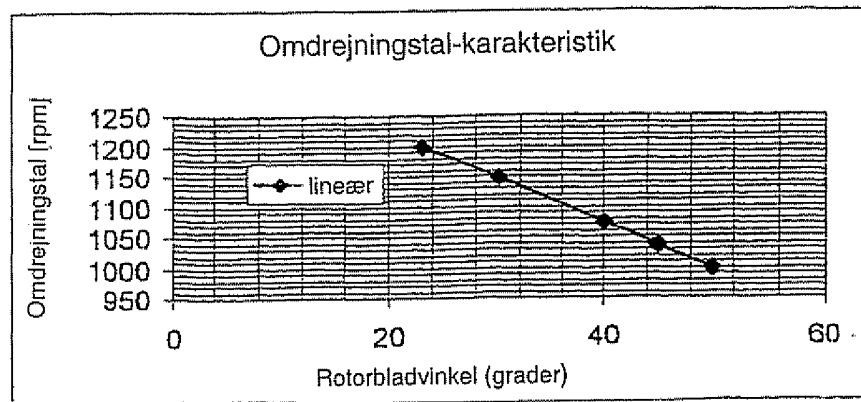
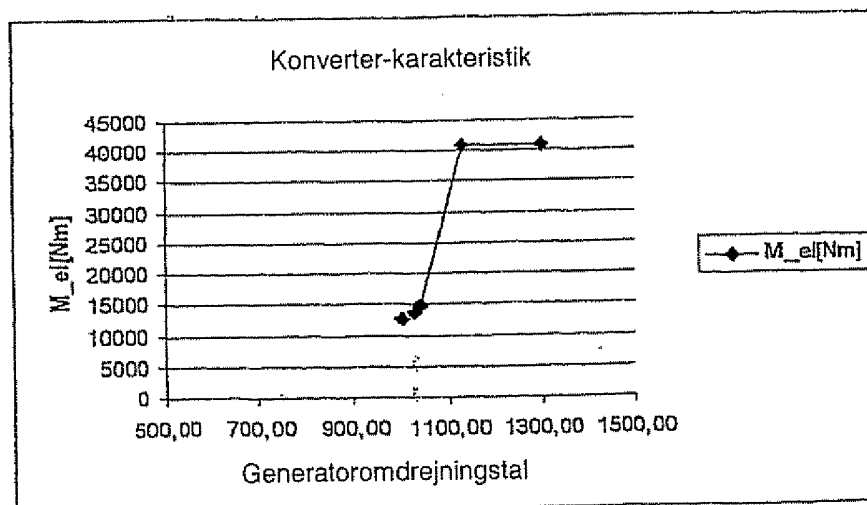


Fig 5



Figur 6



Figur 7

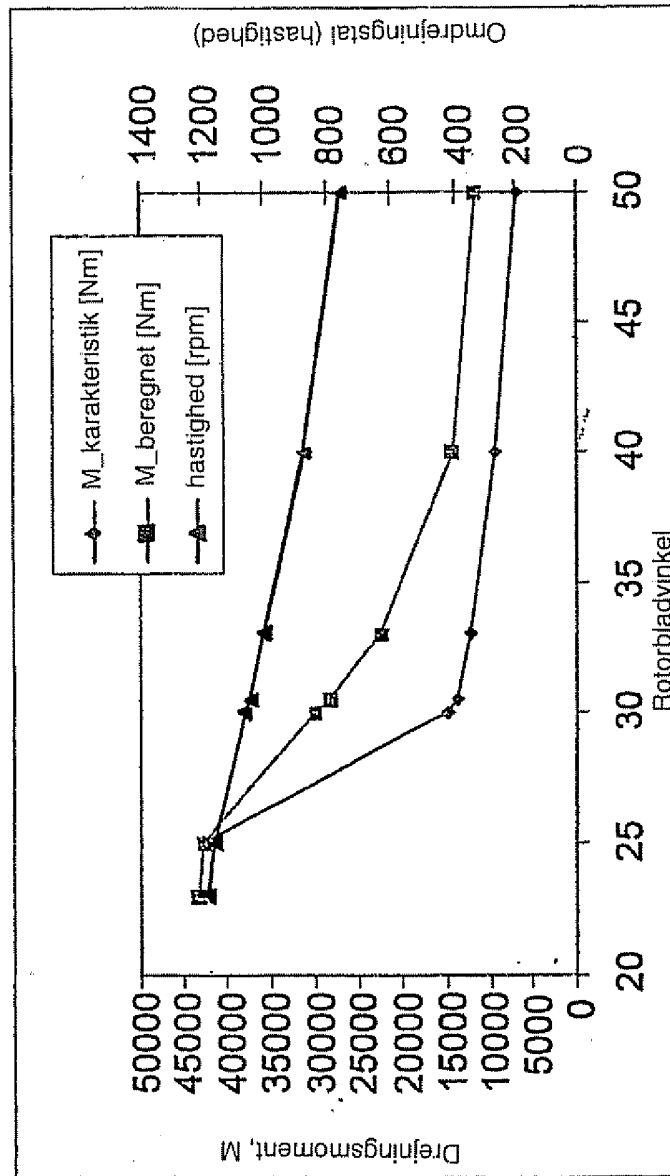


Fig 8