

(19) **DANMARK**

(10) **DK/EP 2449258 T3**



(12)

Oversættelse af
europæisk patentskrift

Patent- og
Varemærkestyrelsen

-
- (51) Int.Cl.: **F 03 D 7/04 (2006.01)** **F 03 D 9/00 (2006.01)** **F 03 D 11/02 (2006.01)**
F 16 H 3/72 (2006.01)
- (45) Oversættelsen bekendtgjort den: **2015-10-26**
- (80) Dato for Den Europæiske Patentmyndigheds bekendtgørelse om meddelelse af patentet: **2015-08-26**
- (86) Europæisk ansøgning nr.: **10732248.9**
- (86) Europæisk indleveringsdag: **2010-06-17**
- (87) Den europæiske ansøgnings publiceringsdag: **2012-05-09**
- (86) International ansøgning nr.: **AT2010000225**
- (87) Internationalt publikationsnr.: **WO2011000008**
- (30) Prioritet: **2009-07-02 AT 10352009**
- (84) Designerede stater: **AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR**
- (73) Patenthaver: **Hehenberger, Gerald, Kinkstrasse 30, 9020 Klagenfurth, Østrig**
- (72) Opfinder: **Hehenberger, Gerald, Kinkstrasse 30, 9020 Klagenfurt, Østrig**
- (74) Fuldmægtig i Danmark: **Budde Schou A/S, Hausergade 3, 1128 København K, Danmark**
- (54) Benævnelse: **Differentialgear til et energigenereringsanlæg og driftsfremgangsmåde**
- (56) Fremdragne publikationer:
WO-A1-2006/010190
WO-A2-2009/016508
JP-A- 2004 339 953
JP-A- 2007 040 239
US-A1- 2008 054 643

Beskrivelse

Nærværende opfindelse angår et differentialgear til et energigenereringsanlæg, især til et vindkraftanlæg, med tre indgange hhv. udgange, hvor en første indgang er forbundet
5 med en drivaksel for energigenereringsanlægget, en udgang er forbundet med en generator, som kan forbindes med et net, og en anden indgang er forbundet med elektrisk maskine som differentialdrev.

Opfindelsen angår desuden en fremgangsmåde til drift af et differentialgear til et
10 energigenereringsanlæg, især til et vindkraftanlæg, med tre indgange hhv. udgange, idet en første indgang er forbundet med en drivaksel for energigenereringsanlægget, en udgang er forbundet med en generator, som kan forbindes med et net, og en anden indgang er forbundet med en elektrisk maskine som differentialdrev.

15 Et sådant differentialgear og en sådan fremgangsmåde er kendt fra WO 2006/010190 A1, US 2008/054643 A1 og WO 2009/016508 A2.

Vindkraftanlæg vinder stigende betydning som elektricitetsgenereringsanlæg. I den forbindelse forøges kontinuert den procentuelle andel af strømgenereringen ved
20 hjælp af vind. Dette betinger i sin tur på den ene side nye standarder med hensyn til strøm kvalitet og på den anden side en tendens til stadigt større vindkraftanlæg. Samtidigt er en tendens i retning mod offshorevindkraftanlæg synlig, som kræver anlægsstørrelser på i det mindste 5 MW installeret effekt. På grund af de høje omkostninger til infrastruktur og vedligeholdelse hhv. istandholdelse af vindkraft-
25 anlæggene i offshoreområdet, opnår her såvel virkningsgrad som også til rådighed af anlæggene en særlig betydning.

Fælles for alle anlæg er nødvendigheden af et variabelt rotoromdrejningstal, på den ene side for forøgelse af den aerodynamiske virkningsgrad i delastområdet og på den anden
30 side til regulering af drejningsmomentet i drivstrengen for vindkraftanlægget. Sidstnævnte med henblik på omdrejningstalsregulering for rotoren i kombination med rotorvingejusteringen. Hidtil er store vindkraftanlæg i brug, som opfylder disse krav ved anvendelse af omdrejningstalsvariable generatorløsninger, i form af såkaldte dobbeltfødede vekselstrømsmaskiner hhv. synkrongeneratorer i kombination med
35 frekvensomformere. Disse løsninger har imidlertid den ulempe, at (a) de elektriske forhold for vindkraftanlæggene i tilfælde af en netforstyrrelse kun betinget opfylder

kravene fra elektricitetsforsyningselskaberne, (b) vindkraftanlæggene kun kan tilsluttes mellemspændingsnettet ved hjælp af transformatorstationer, og (c) de for det variable omdrejningstal nødvendige frekvensomformere er meget effektkræftige og følgelig en kilde til virkningsgradstab.

5

Disse problemer kan løses ved anvendelse af fremmedmagnetiserede mellemspændingssynkrongeneratorer. I den forbindelse kræves imidlertid alternative løsninger, med henblik på at opfylde kravene til variabelt rotoromdrejningstal hhv. drejningsmomentregulering i drivstrengen for vindkraftanlægget. En mulighed er
10 anvendelsen af differentialgear, som ved ændring af omsætningsforholdet ved konstant generatoromdrejningstal, tillader et variabelt omdrejningstal for rotoren i vindkraftanlægget.

WO 2004/109157 A1 viser et komplekst, hydrostatisk "flervejs"-koncept med adskillige
15 parallelle differentialtrin og adskillige omskiftelige koblinger, hvorved der kan kobles imellem de enkelte veje. Med den viste tekniske løsning kan effekten, og således tabene i hydrostatikken reduceres. En væsentlig ulempe er imidlertid den komplicerede opbygning af hele enheden. Desuden giver koblingen imellem de enkelte trin et problem ved reguleringen af vindkraftanlægget.

20

EP 1283359 A1 viser et étrins differentialgear med elektrisk differentialdrev, med en omkring indgangsakslen koaksialt placeret speciel vekselstrømsmaskine med lavt nominelt omdrejningstal, og en stor nominel effekt – i forhold til det realiserede omdrejningstalsområde.

25

Ulemperne ved de kendte udførelsesformer er på den ene side høje tab i differentialdrevet hhv. på den anden side ved koncepter, som løser dette problem, kompleks mekanik hhv. specialelektrisk maskinkonstruktion og dermed høje omkostninger. I forbindelse med hydrostatiske løsninger er desuden levetiden for de anvendte
30 pumper et problem hhv. en høj omkostning ved tilpasning til ekstreme omgivelsesbetingelser nødvendig. Generelt kan det fastslås, at de valgte nominelle omdrejningstalsområder enten er for små til udreguleringen af ekstremlastninger eller er for store til et optimalt energibidrag fra vindkraftanlæggene.

Hensigten med opfindelsen er så vidt muligt at undgå de ovennævnte ulemper og stille et differentialdrev til rådighed, som udover mindst mulige omkostninger sikrer såvel et maksimalt energibidrag som også optimal regulering af vindkraftanlægget.

- 5 Dette opnås med et differentialgear med de i krav 1 angivne træk.

Dette opnås desuden med en fremgangsmåde med de i kravene 14 og/eller 15 angivne træk.

- 10 Foretrukne udførelsesformer for opfindelsen er genstand for underkravene.

Ved fastlæggelsen af et omsætningsforhold for differentialgearet bliver, for lave strømningshastigheder, omdrejningstalsområdet for rotoren i energigenereringsanlægget udvidet væsentligt nedad, eftersom differentialdrevet som eneste generator
15 forbliver tilsluttet til nettet (hovedgeneratoren er adskilt fra nettet), således at lavere rotoromdrejningstal tillades og derved forøges årsenergibidraget fra energigenereringsanlægget tilsvarende.

I det følgende beskrives detaljeret foretrukne udførelsesformer ifølge opfindelsen under
20 henvisning til de vedhæftede tegninger.

- fig. 1 viser for et 5 MW vindkraftanlæg i overensstemmelse med den kendte teknik
effektkurven, rotoromdrejningstallet og de deraf resulterende karakteristiske
værdier såsom hurtigløbstal og effektkoefficient,
25
- fig. 2 viser princippet for et differentialgear med et elektrisk differentialdrev i
overensstemmelse med den kendte teknik,
- fig. 3 viser princippet for en koaksialt med indgangsakslen for differentialtrinnet
30 placeret vekselstrømsmaskine,
- fig. 4 viser omdrejningstalsforholdene ved rotoren for vindkraftanlægget og det deraf
resulterende maksimale indgangsdrejningsmoment M_{\max} for differentialdrevet,
- 35 fig. 5 viser eksempelvis omdrejningstals- og effektforholdene for et elektrisk
differentialdrev som funktion af vindhastigheden,

- fig. 6 viser differensen for bruttoenergidraget for forskellige nominelle omdrejningstalsområder ved forskellige gennemsnitlige årsvindhastigheder for et elektrisk differentialdrev med 80% feltsvækkelsesområde,
- 5
- fig. 7 viser en mulig løsning i overensstemmelse med opfindelsen med en bremse imellem differentialdrev og rotoraksel for synkrongeneratoren,
- fig. 8 viser omdrejningstalskarakteristikken for differentialdrev og drivaksel for udførelsesformen af et differentialgear i overensstemmelse med opfindelsen,
- 10
- fig. 9 viser en alternativ udførelsesform for et differentialgear med en bremse imellem et med drivakslen for energigenereringsanlægget forbundet første drev og differentialdrevet.

15

Effekten fra rotoren i et vindkraftanlæg beregnes af formlen

$$\text{rotoreffekt} = \text{rotorflade} * \text{effektkoefficient} * \text{luftvægtfylde}/2 * \text{vindhastighed}^3$$

- 20 hvor effektkoefficienten er afhængig af hurtigløbstallet (= forholdet imellem vingespids-hastighed og vindhastighed) for rotoren i vindkraftanlægget. Rotoren i et vindkraftanlæg er dimensioneret til en maksimal effektkoefficient baseret på et hurtigløbstal, som skal fastlægges under udviklingen (for det meste en værdi imellem 7 og 9). Af denne grund indstilles der, ved drift af vindkraftanlægget i dellastområdet, et tilsvarende lille
- 25 omdrejningstal, med henblik på at sikre en optimal aerodynamisk virkningsgrad.

- Fig. 1 viser forholdene for rotoreffekt, rotoromdrejningstal, hurtigløbstal og effektkoefficient for et forudbestemt maksimalt omdrejningstalsområde for rotoren hhv. et optimalt hurtigløbstal på 8,0-8,5. Ud fra diagrammet kan det ses, at så snart
- 30 hurtigløbstallet afviger fra sin optimale værdi på 8,0-8,5, falder effektkoefficienten, og dermed reduceres, i overensstemmelse med den ovennævnte formel, rotoreffekten i overensstemmelse med den aerodynamiske karakteristikk for rotoren.

- Fig. 2 viser et muligt princip for et differentialsystem til et vindkraftanlæg bestående af
- 35 differentialtrin 3 hhv. 11 til 13, et tilpasningsgeartrin 4 og et differentialdrev 6. Rotoren 1 i vindkraftanlægget, som sidder på drivakslen 9 for hovedgearret, driver hovedgearret 2.

Hovedgearet 2 er et tretrinsgear med to planettrin og et cylindrisk tandhjulstrin. Imellem hovedgearet 2 og generatoren 8 befinder sig differentialtrinnet 3, som drives af hovedgearet 2 via planetbærer 12 i differentialtrinnet 3. Generatoren 8 - fortrinsvis en fremmedmagnetiseret synkron-generator, som efter behov også kan have en nominel spænding, som er større end 20 kV - er forbundet med ringhjulet 13 i differentialtrinnet 3 og bliver drevet af dette. Solhjulet 11 i differentialtrinnet 3 er forbundet med differentialdrevet 6. Omdrejningstallet for differentialdrevet 6 reguleres, med henblik på, på den ene side, ved variabelt omdrejningstal for rotoren 1 at sikre et konstant omdrejningstal for generatoren 8, og, på den anden side, at regulere drejningsmomentet i hele drivstrengen for vindkraftanlægget. Med henblik på at forøge indgangs- omdrejningstallet for differentialdrevet 6, bliver der i det viste tilfælde valgt et 2-trinsdifferentialgear, som tilvejebringer et tilpasningsgeartrin 4 i form af et cylindrisk tandhjulstrin imellem differentialtrinnet 3 og differentialdrevet 6. Differentialtrinnet 3 og tilpasningsgeartrinnet 4 danner således det 2-trinsdifferentialgear. Differentialdrevet er en vekselstrømsmaskine, som via frekvensomformer 7 og transformator 5 tilsluttes nettet 10.

Fig. 3 viser en yderligere mulig udførelsesform for differentialgearet. Rotoren 1 driver hovedgearet 2 og dette driver via planetbærere 12 differentialtrinnet 11 til 13. Generatoren 8 er forbundet med ringhjulet 13 og solhjulet 11 er forbundet med differentialdrevet 6. Differentialgearet 3 er étrins, og differentialdrevet 6 er anbragt i koaksial placering såvel i forhold til drivakslen for hovedgearet 2 som også i forhold til drivakslen for generatoren 8. I forbindelse med generatoren er en hul aksel tilvejebragt, som tillader at differentialdrevet 6 placeres på den bort fra de differentialgearet vendende side af generatoren 8. Derved er differentialtrinnet fortrinsvis en separat til generatoren 8 forbundet konstruktion, som så fortrinsvis via en kobling 14 og en hovedbremse 15 er forbundet med hovedgearet 2. Forbindelsesakslen 16 imellem solhjul 11 og differentialdrev 6 kan fortrinsvis være udformet i en rotationsstiv udførelsesvariant med særligt lavt masseinertimoment, som eksempelvis fiberkompositrøraksel med glasfibre og/eller kulfibre.

Omdrejningstalsligningen for differentialgearet lyder:

$$\text{omdrejningstal}_{\text{generator}} = x * \text{omdrejningstal}_{\text{rotor}} + y * \text{omdrejningstal}_{\text{differentialdrev}},$$

hvor generatoromdrejningstallet er konstant, og faktorerne x og y kan afledes af de valgte gearomsætninger for hovedgear og differentialgear. Drejningsmomentet på rotoren bliver bestemt af den til rådighed stående vind og den aerodynamiske virkningsgrad for rotoren. Forholdet imellem drejningsmomentet på rotorakslen og
 5 drejningsmomentet på differentialdrevet er konstant, således at drejningsmomentet i drivstrengen kan reguleres ved hjælp af differentialdrevet. Drejningsmomentligningen for differentialdrevet lyder:

$$\text{drejningsmoment}_{\text{differentialdrev}} = \text{drejningsmoment}_{\text{rotor}} * y/x,$$

10

hvor størrelsesfaktoren y/x er et mål for det nødvendige dimensioneringsdrejningsmoment for differentialdrevet.

Effekten for differentialdrevet er i det væsentlige proportional med produktet af den procentuelle afvigelse imellem rotoromdrejningstallet og dets grundomdrejningstal (rotoromdrejningstal, ved hvilket differentialdrevet har omdrejningstallet 0) gange rotoreffekt. I overensstemmelse hermed kræver et stor omdrejningstalsområde grundlæggende en tilsvarende stor dimensionering af differentialdrevet.

20 Fig. 4 viser dette eksempelvis for forskellige omdrejningstalsområder. Det viste +/-nominelt omdrejningstalsområde for rotoren definerer dets procentuelle omdrejningstalsafvigelse fra grundomdrejningstallet for rotoren, som kan realiseres med det nominelle omdrejningstal for differentialdrevet (- motormæssigt hhv. + generatormæssigt) uden feltsvækkelse. Det nominelle omdrejningstal (n) for
 25 differentialdrevet definerer i tilfælde af en elektrisk vekselstrømsmaskine det maksimale omdrejningstal, ved hvilket denne varigt kan tilvejebringe det nominelle drejningsmoment (M_n) hhv. den nominelle effekt (P_n).

I det nominelle effektområde drejer rotoren i vindkraftanlægget med det gennemsnitlige
 30 omdrejningstal n_{rated} imellem grænserne n_{max} og $n_{\text{min-maxP}}$, i dellastområdet imellem n_{rated} og n_{min} , i dette eksempel opnåeligt med et feltsvækkelsesområde på 80% (det svarer til et maksimalt omdrejningstal for differentialdrevet på 1,8 gange det nominelle omdrejningstal). Reguleringsomdrejningstalsområdet imellem n_{max} og $n_{\text{min-maxP}}$, som kan realiseres uden lastreduktion, vælges passende stort, med henblik på at kunne
 35 udregulere vindstød. Størrelsen af dette omdrejningstalsområde afhænger af stødmæssigheden for vinden hhv. masseinertimomentet for rotoren i vindkraftanlægget

og dynamikken for det såkaldte pitchsystem (rotorvingejusteringssystem), og ligger sædvanligvis på omkring +/-5%. I det viste eksempel blev der valgt et reguleringsomdrejningstalsområde på +/-6% med henblik på at have passende reserver til udregulering af ekstreme vindstød ved hjælp af differentialdrev. I dette reguleringsomdrejningstalsområde skal vindkraftanlægget producere nominel effekt, hvilket betyder, at differentialdrevet i den forbindelse belastes med maksimalt drejningsmoment. Dette vil sige at det +/- nominelle omdrejningstalsområdet for rotoren i det mindste skal være omtrent lige så stort, eftersom differentialdrevet kun i dette område kan yde sit nominelle drejningsmoment.

10

I forbindelse med elektriske og hydrostatiske differentialdrev med et differentialtrin bliver rotoromdrejningstallet, ved hvilket differentialdrevet har omdrejningstallet 0, benævnt grundomdrejningstallet. Da nu grundomdrejningstallet ved små rotoromdrejningstalsområder ligger over $n_{\min-\max P}$, skal differentialdrevet kunne tilvejebringe det nominelle drejningsmoment ved omdrejningstallet lig med 0. Differentialdrev, det være sig elektriske eller hydrauliske, kan imidlertid ved omdrejningstal lig med nul kun tilvejebringe et drejningsmoment, som er væsentligt lavere end det nominelle moment, hvilket kun kan kompenseres ved en tilsvarende overdimensionering ved planlægningen. I overensstemmelse hermed fås der for dette udførelseseksempel, et i

20 denne henseende optimalt minimalt nominelt omdrejningstal på omkring +/-14%.

I fig. 5 ser man eksempelvis omdrejningstal hhv. effektforholdene for et differentialtrin med et nominelt omdrejningstalsområde på +/-14%. Omdrejningstallet for generatoren, fortrinsvis en fremmedmagnetiseret mellemspændingssynkrongenerator, er ved hjælp af tilslutningen til det frekvensfaste strømnet konstant. Med henblik på at kunne udnytte differentialdrevet passende godt, bliver dette drev i området under grundomdrejningstallet drevet motormæssigt og i området over grundomdrejningstallet drevet generatormæssigt. Dette fører til, at i det motormæssige område fødes effekt ind i differentialtrinnet og i det generatormæssige område udtages effekt fra differentialtrinnet. Denne effekt bliver i forbindelse med et elektrisk differentialdrev fortrinsvis udtaget fra hhv. indført i nettet. I tilfælde af et hydraulisk differentialdrev bliver effekten fortrinsvis udtaget fra generator drivakslen hhv. tilført denne. Summen af generatoreffekt og effekt fra differentialdrevet giver den for et elektrisk differentialdrev til nettet afgivne totaleffekt.

35

Fig. 6 viser differensen for bruttoenergidraget for vindkraftanlægget med elektrisk differentialdrev ved forskellige gennemsnitlige årsvindhastigheder, afhængigt af det nominelle omdrejningstal for rotoren for vindkraftanlægget. I den forbindelse baserer bruttoenergidraget sig på den afgivne effekt fra rotoren for vindkraftanlægget minus tabene i differentialdrev (inklusive frekvensomformer) og differentialgear.

Den gennemsnitlige årsvindhastighed er i den forbindelse den årlige middelværdi af den i navhøjde (svarer til rotormidtpunktet) målte vindhastighed. Den maksimale gennemsnitlige årsvindhastighed på 10,0 m/s, 8,6 m/s, 7,5 m/s og 6,0 m/s svarer til de såkaldte IEC typeklasser 1, 2, 3 og 4. Som statistisk hyppighedsfordeling antages standardmæssigt en Rayleighfordeling.

Et nominelt omdrejningstalsområde på +/-6% er den basis, som ligger til grund for eksemplet, som med det minimalt krævede reguleringsomdrejningstalsområde i nominellastområdet kræves af vindkraftanlæg med differential drev, idet det nominelle omdrejningstalsområde betyder det rotoromdrejningstalsområde, som man med nominelt omdrejningstal for differentialdrevet kan realisere. Desuden antages et feltsvækkelsesområde på op til 80% over det nominelle omdrejningstal for differentialdrevet. Ud fra grafikken erkendes nu uden problemer, at for lave gennemsnitlige årsvindhastigheder opnås optimum ved et nominelt omdrejningstalsområde på omtrent +/-20%, og at en udvidelse af det nominelle omdrejningstalsområde derudover ikke medfører nogen fordele, eftersom de højere virkningsgradstab på grund af de større differentialdrev, ophæver, hhv. skyder over, virkningsgradsgevinsterne på grund af det større omdrejningstalsområde. Dette optimum forskydes for højere gennemsnitlige årsvindhastigheder i retning mod +/-15% nominelt omdrejningstalsområde.

Fig. 7 viser en udførelsesform for et differentialgear i overensstemmelse med opfindelsen. Systemet, som grundlæggende beskrevet i fig. 3, bliver tilføjet en roterende bremse 17, som, så snart denne er aktiveret, forbinder forbindelsesakslen 16 for differentialdrevet 6 rotationsfast med rotorakslen 18 for synkrogeneratoren 8. Bremsen 17 består i den viste udførelsesform af én eller flere bremsebakker, som er forbundet med rotorakslen 18 på synkrogeneratoren 8, og én eller flere med forbindelsesakslen 16 forbundne bremseskiver. Ligeledes kunne imidlertid også bremsebakkerne være forbundet med forbindelsesakslen 16 hhv. bremseskiven(skiverne) være forbundet med rotorakslen 18.

Rotoren på vindkraftanlægget har eksempelvis et +/- nominelt omdrejningstal på 14%, hvorved der ved en standardomsætning i differentialgearet 3 på omtrent 5, for det viste differentialdrev fås et nominelt omdrejningstal på 1075 opm. Dette tillader ved klassisk drift af vindkraftanlægget - dvs. ved ikke aktiveret bremse 17 - og driften af differentialdrevet 6 med op til 80% feltsvækkelsesområde, et minimalt omdrejningstal for rotoren på vindkraftanlægget på 8,3 rpm (se fig. 4). Ved en indkoblingsvindhastighed på 3 m/s fås derved et hurtigløbstal for rotoren på omkring 19 med en effektkoefficient på omkring 0,12. Dette betyder imidlertid en massiv forringelse af energibidraget - i sammenligning med en maksimal mulig effektkoefficient på omkring 0,49.

10

Når man nu nøje betragter fig. 5, så kan man se, at under en vindhastighed på 7 m/s nås omdrejningstallet på drivaksen 16 maksimalt omkring 1000 rpm, dvs. ca. det nominelle omdrejningstal for differentialdrevet. Dvs., ved rotationsfast forbindelse mellem drivaksel 16 og rotoraksel 18 for synkrongeneratoren 8 via den aktiverede bremse 17, kan man anvende differentialdrevet 6 som generator, som ved hjælp af vekselretter 7 og transformator 5 forbindes med nettet 10, med samtidig adskillelse af synkrongeneratoren 8 fra nettet - ved hjælp af eksempelvis afbryder 19.

Differentialdrevet er fortrinsvis en vekselstrømsmaskine (eksempelvis klassisk asynkron maskine eller en permanent magnetiseret synkronmaskine med særligt lavt masseinertimoment), som i forbindelse med en frekvensomformer 7 muliggør et anvendelsesspecifikt stort omdrejningstalsområde (dvs. fra omdrejningstal lig med nul til i det maksimale feltsvækkelsesområde – eksempelvis 1,8 gange det nominelle omdrejningstal). Dermed bliver omdrejningstallet for differentialdrevet indstillet således, at det optimale hurtigløbstal kan realiseres for rotoren i vindkraftanlægget.

Fig. 8 viser eksempelvis karakteristikker for begge driftsmåder, som mellem en gennemsnitlig vindhastighed på 4,5 m/s og 5,5 m/s er overlappende (området kendetegnet ved to vertikale linjer). På grund af den stokastiske fordeling af vindhastigheden er denne hysteresis nødvendig, med henblik på at undgå en stadig frem- og tilbagekobling imellem de to driftsmåder. Dvs. jo større denne hysteresis er, jo mindre ofte skal der kobles fra én driftsmåde til den anden. I den forbindelse er driftsmåden med "differentialdrev 6 som generator" begrænset af den nominelle effekt for differentialdrevet 6. Ved driftsmåden "synkrongenerator 8 på nettet", er omdrejningstalsområdet begrænset af det valgte +/- nominelle omdrejningsområde hhv. af det valgte feltsvækkelsesområde for differentialdrevet 6. En yderligere fordel er, at i området med

mindre effektafgivelse er virkningsgraden for differentialdrevet 6 væsentlig bedre end for den adskillige gange større synkrongenerator 8.

Ved denne udvidelse af omdrejningstalsområdet for rotoren i vindkraftanlægget kan
5 årsenergibidraget fra vindkraftanlægget forøges med op til 1,5%. Desuden kan +/-
nominelt omdrejningstalsområdet for rotoren i vindkraftanlægget reduceres til et
reguleringsteknisk nødvendigt minimum, eftersom ved driftsmåden "differentialdrev 6
som generator", ved lave vindhastigheder kan omdrejningstallet for differentialdrevet 6
uden væsentlige indskrænkninger sænkes vilkårligt. Dermed bliver størrelsen af
10 differentialdrevet reduceret til et omkostningsoptimum.

Koblingsprocessen imellem de to driftsmåder kan ske som følgende. Befinder man sig
i driftsmåden "differentialdrev 6 som generator" og vil – på grund af stigende
gennemsnitlig vindhastighed – skifte til den anden driftsmåde "synkrongenerator 8 på
15 nettet", så bliver først effekten fra vindkraftanlægget ved hjælp af rotorvingejustering
reguleret til nul, og i det næste trin løsnes bremsen 17. Efterfølgende bliver
synkrongeneratoren 8 ved hjælp af differentialdrevet 6 synkroniseret med nettet. Så
snart dette er sket, kan afbryderen 19 slutes, hvormed synkrongeneratoren 8 er på
nettet, og efterfølgende kan vindkraftanlægget atter gå i produktionsdrift. Denne proces
20 varer kun nogle sekunder, og bevirker derved ikke nogen nævneværdige tab med
hensyn til energibidraget fra vindkraftanlægget.

Befinder man sig i driftsmåden "synkrongenerator 8 på nettet" og vil – på grund af
faldende gennemsnitlig vindhastighed – koble til den anden driftsmåde "differentialdrev
25 6 som generator", så bliver først ligeledes effekten for vindkraftanlægget ved hjælp af
rotorvingejustering reguleret til ca. 0. Efterfølgende bliver synkrongeneratoren 8 ved
åbning af afbryderen 19 enkelt adskilt fra nettet, derefter bliver omdrejningstallet for
differentialdrevet 6 bragt omtrent til omdrejningstallet for rotorakslen 18 for
synkrongeneratoren 8 og efterfølgende bliver bremsen 17 aktiveret. Efterfølgende kan
30 vindkraftanlægget atter gå i produktionsdrift. En simpel nedbremsning af differential-
drevet 6 er alternativt ligeledes mulig, forårsager imidlertid en højere belastning af
bremsen 17.

Fig. 9 viser en alternativ udførelsesform for et differentialdrev med en udløselig,
35 rotationsfast forbindelse. Systemet, som grundlæggende beskrevet i fig. 2,
implementerer en bremse 20 imellem solhjulsakslen 21 og den med planetbæreren 12

i differentialgearet 3 forbundne tandhjul 22 i det cylindriske tandhjulstrin for hovedgearet 2. Bremsen 20 består i det viste udførelseseksempel af én eller flere bremsebakker, som er forbundet med tandhjulet 22, og én eller flere med solhjulsakslen 21 forbundne bremseskiver. Der fås derved den samme effekt, som beskrevet i forbindelse med fig. 7
5 for en bremse 17 imellem drivakslen 16 og rotorakslen 18 for synkrongeneratoren 8.

Dvs. dette princip fungerer så snart to vilkårlige aksler blandt de tre indgange hhv. udgange til et differentialgear forbindes rotationsfast med hinanden, og dermed omsætningen i differentialgearet 3 er lig med 1. Naturligvis er også sådanne andre
10 løsninger tænkelige, hvormed differentialgearet 3 kan spærres, således at dettes omsætning kan fastlægges til 1, som eksempelvis med i det mindste ét blokeret planethjul i planetbæreren 12.

I stedet for den beskrevne bremse til rotationsfast forbindelse af to vilkårlige aksler
15 blandt de to indgange hhv. udgange i differentialgearet, kan eksempelvis også enhver type kobling (eksempelvis lamel- eller klokobling) anvendes, hvor, ved eksempelvis anvendelse af en klokobling, synkroniseringen af de aksler, som skal forbindes rotationsfast, er forholdsvis mere kompliceret, end med eksempelvis en bremse eller en lamelkobling.

20

Ved dimensioneringen af differentialdrev skal desuden yderligere vigtige særtilfælde betragtes. Således kan eksempelvis, på grund af det konstante forhold mellem rotoromdrejningstal og omdrejningstal på differentialdrevet, et udfald af differentialdrevet medføre tungtvejende skader. Et eksempel er udfaldet af differentialdrevet ved
25 nominel drift af vindkraftanlægget. Derved går samtidigt det overførbare drejningsmoment på drivstrengen imod nul. Omdrejningstallet for rotoren i vindkraftanlægget bliver i dette tilfælde, eksempelvis ved hjælp af en hurtig justering af rotorvingejusteringen, momentant reduceret og generatoren adskilt fra nettet. På grund af det relativt høje masseinertimoment for generatoren, vil denne kun langsomt ændre
30 sit omdrejningstal. Derved er, såfremt differentialdrevet ikke uden forsinkelse i det mindste delvis kan opnå sit drejningsmoment, et overomdrejningstal for differentialdrevet uundgåeligt.

Af denne grund er eksempelvis ved anvendelsen af hydrostatisk differentialdrev en
35 mekanisk bremse tilvejebragt, som ved udfald af differentialdrevet forhindrer for drivstrengen skadelige overomdrejningstal. WO 2004/109157 A1 viser med dette formål

en mekanisk bremse med i forhold til huset faste bremsebakker, som virker direkte på generatorakslen og dermed kan nedbremse generatoren passende.

Tilsvarende kan man imidlertid også anvende bremsen 17 hhv. 20, med henblik på at
5 undgå et skadeligt overomdrejningstal. De derved opstående maksimale omdrejningstal for differentialdrevet svarer så til det maksimale omdrejningstal for rotoren i vindkraftanlægget multipliceret med omsætningsforholdet for hovedgearet 2 - det er eksempelvis i det beskrevne eksempel i overensstemmelse med fig. 7 omkring 1500 rpm. Bremsen 17 hhv. 20 kan af sikkerhedsmæssige årsager være udformet som
10 såkaldt sikkerhedsbremse (såkaldt fail-safe bremse), hvilket betyder at den åbnes imod en fjederkraft, og dermed ved udfald af forsyningsenergien automatisk aktiveres.

Udførelsesvarianterne i overensstemmelse med fig. 7 og fig. 9 adskiller sig imidlertid væsentligt med hensyn til virkningen af en såkaldt nødbremning af vindkraftanlægget
15 ved hjælp af hovedbremsen 15. Går man ud fra, at der ved aktivering af hovedbremsen 15 sædvanligvis virker et bremsemoment på op til 2,5 gange det nominelle moment, så virker dette opdelt på rotoren, generatoren og differentialdrevet tilsvarende på disses reducerede masseinertimomenter. Disse er naturligvis afhængige af masseforholdene for det udformede vindkraftanlæg. Som realistisk eksempel kan man ved nominel drift
20 af et 5 MW vindkraftanlæg med hensyn til hovedbremsen 15 antage omtrent 1900 kgm² for rotoren 1, omtrent 200 kgm² for synkrogeneratoren 8 og omtrent 10 kgm² for differentialdrevet 6. Dvs. en størstedel (omtrent 90% hhv. 2,2 gange rotorens nominelle moment) af bremsemomentet virker på rotorakslen for vindkraftanlægget. Da nu ved udførelsesvarianten i overensstemmelse med fig. 9, differentialdrevet 6 ligger i
25 drejningsmomentflowet imellem hovedbremse 15 og rotor 1, skal dette, i overensstemmelse med det konstante drejningsmomentforhold imellem rotor 1 og differentialdrev 6, ligeledes fastholde det omtrent 2,2 gange nominelle moment. Det samme gælder imidlertid også for dimensioneringsmomentet for bremsen 20.

30 En væsentlig fordel ved udførelsesvarianten i overensstemmelse med fig. 7 er, at ved indkobling af hovedbremsen 15 virker dennes bremsemoment ikke via differentialgearet 3 på den masseinertimomentbestemmende rotor 1. I dette tilfælde virker kun omkring 9,5% af bremsemomentet på generatoren 8 hhv. 0,5% på differentialdrevet 6. Ved den i overensstemmelse med fig. 7 viste anbringelse af hovedbremse 15, rotor 1 og
35 differentialdrev 3, er følgelig et dimensioneringsmoment for bremsen 17 over det under drift foreliggende drejningsmoment for differentialdrevet 6 ikke nødvendigt.

Eftersom en indretning til begrænsning af det maksimalt optrædende omdrejningstal for differentialdrevet 6 er uomgængelig, opnår man ved den beskrevne indretning en væsentlig udvidelse af omdrejningstalsområdet og dermed en væsentlig forøgelse af 5 årsenergidraget, uden at forårsage meromkostninger.

De ovenfor beskrevne udførelsesformer kan ligeledes implementeres ved teknisk tilsvarende anvendelser. Det gælder fremfor alt vandkraftanlæg til udnyttelse af flod- og havstrømninger. For denne anvendelse gælder de samme grundforudsætninger som 10 for vindkraftanlæg, nemlig variabel strømningshastighed. Drivakslen bliver i disse tilfælde direkte eller indirekte drevet af de af strømningsmediet, eksempelvis vand, drevne indretninger. Efterfølgende driver drivakslen direkte eller indirekte differentialgearet.

PATENTKRAV

1. Differentialgear til et energigenereringsanlæg, især til et vindkraftanlæg, med tre indgange hhv. udgange, hvor en første indgang er forbundet med en drivaksel for energigenereringsanlægget, en udgang er forbundet med en generator (8), som kan forbindes med et net (10), og en anden indgang er forbundet med en elektrisk maskine som differentialdrev (6), idet generatoren (8) kan adskilles fra nettet (10), **kendetegnet ved, at** omsætningsforholdet for differentialgearet (3) kan fastlægges til 1, idet en indgang kan forbindes rotationsfast med den anden indgang eller med udgangen.
2. Differentialgear ifølge krav 1, **kendetegnet ved, at** et solhjul (11) kan forbindes rotationsfast med en planetbærer (12).
3. Differentialgear ifølge krav 1, **kendetegnet ved, at** et solhjul (11) kan forbindes rotationsfast med et ringhjul (13).
4. Differentialgear ifølge krav 1, **kendetegnet ved, at** et ringhjul (13) kan forbindes rotationsfast med en planetbærer (12).
5. Differentialgear ifølge ethvert af kravene 1 til 4, **kendetegnet ved, at** den rotationsfaste forbindelse omfatter en bremse (17, 20) eller kobling.
6. Differentialgear ifølge ethvert af kravene 1 til 5, **kendetegnet ved, at** den rotationsfaste forbindelse er en indretning til at forhindre et overomdrejningstal for differentialdrevet (6) og/eller differentialgearet (3).
7. Differentialgear ifølge krav 1, **kendetegnet ved, at** et planethjul i en planetbærer (12) kan blokeres ved hjælp af en blokeringsindretning.
8. Differentialgear ifølge krav 7, **kendetegnet ved, at** blokeringsindretningen er en bremse eller en kobling.
9. Differentialgear ifølge krav 7 eller 8, **kendetegnet ved, at** blokeringsindretningen er udformet som en indretning til at forhindre et overomdrejningstal for differentialdrevet (6) og/eller differentialgearet (3).

10. Differentialgear ifølge ethvert af kravene 1 til 9, **kendetegnet ved, at** differentialgearet (3) er et étrinsplanetgear.
11. Differentialgear ifølge ethvert af kravene 1 til 10, **kendetegnet ved, at** en hoved-
5 bremse (15) virker på den første indgang.
12. Differentialgear ifølge ethvert af kravene 1 til 11, **kendetegnet ved, at** differentialdrevet (6) drives som generator, medens generatoren (8) er adskilt fra nettet (10).
- 10 13. Fremgangsmåde til drift af et differentialgear til et energigenereringsanlæg, især til et vindkraftanlæg, med tre indgange hhv. udgange, hvor en første indgang er forbundet med en drivaksel for energigenereringsanlægget, en udgang er forbundet med en generator (8), som kan forbindes med et net (10), og en anden indgang er forbundet med en elektrisk maskine (6) som differentialdrev, **kendetegnet ved, at** fra én
15 driftsmåde, ved hvilken såvel generatoren (8) som også differentialdrevet (6) er forbundet med nettet (10), omkobles der således til en anden driftsmåde, ved hvilken generatoren (8) er adskilt fra nettet (10) og differentialdrevet (6) er forbundet med nettet (10), at først reguleres effekten for energigenereringsanlægget til nul, efterfølgende adskilles generatoren (8) fra nettet, derefter bringes omdrejningstallet for differential-
20 drevet (6) til omdrejningstallet for rotorakslen (18) på generatoren (8), efterfølgende fastlægges omsætningsforholdet for differentialgearet til 1, og til slut forøges atter effekten for energigenereringsanlægget.
14. Fremgangsmåde til drift af et differentialgear til et energigenereringsanlæg, især til
25 et vindkraftanlæg, med tre indgange hhv. udgange, hvor en første indgang er forbundet med en drivaksel for energigenereringsanlægget, en udgang er forbundet med en generator (8), som kan forbindes med et net (10), og en anden indgang er forbundet med en elektrisk maskine (6) som differentialdrev, **kendetegnet ved, at** fra én driftsmåde, ved hvilken generatoren (8) er adskilt fra nettet, differentialdrevet (6) er
30 forbundet med nettet, og omsætningsforholdet for differentialgearet (3) fastlagt til 1, omkobles der til en anden driftsmåde, ved hvilken såvel generatoren (8) som også differentialdrevet (6) er forbundet med nettet således, at først reguleres effekten for energigenereringsanlægget til nul, efterfølgende ophæves fastlæggelsen af omsætningsforholdet for differentialgearet (3) til 1, derefter synkroniseres generatoren (8) ved
35 hjælp af differentialdrevet (6) med nettet, efterfølgende forbindes generatoren (8) med nettet, og til slut forøges effekten for energigenereringsanlægget atter.

Fig.1

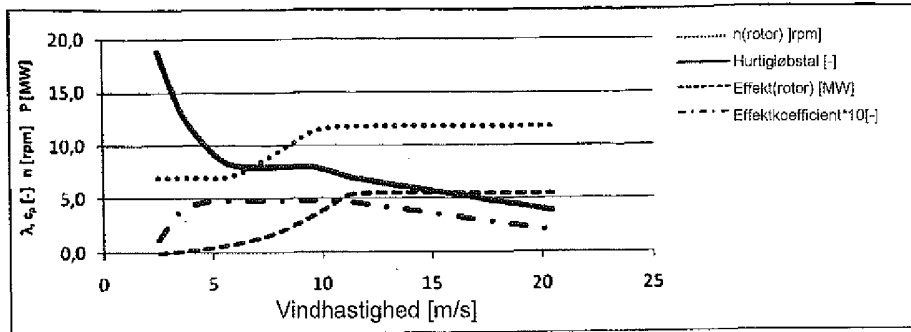


Fig. 2

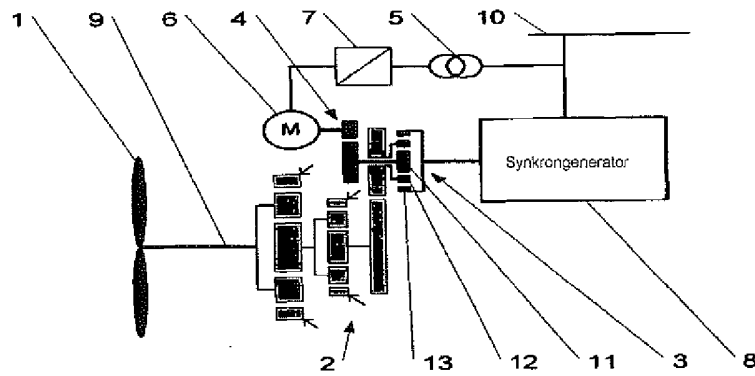


Fig. 3

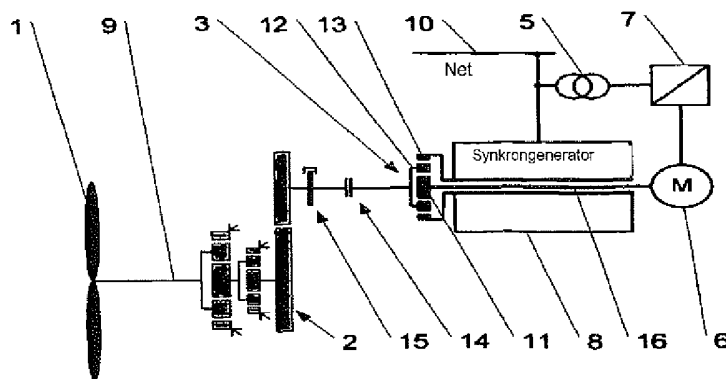


Fig. 4

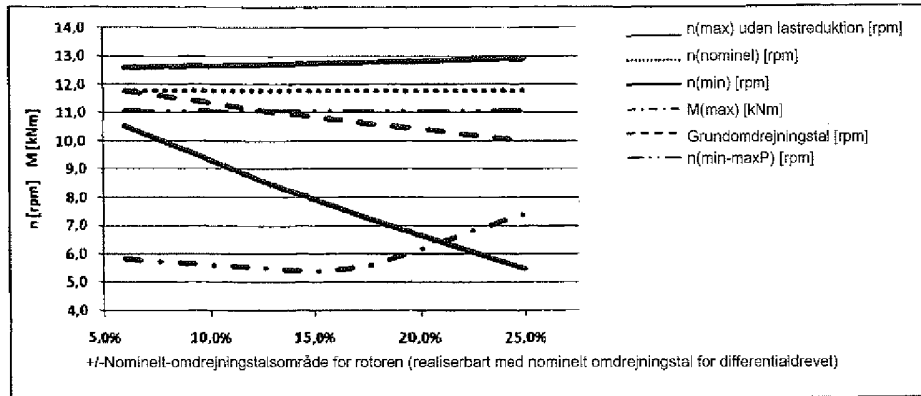


Fig. 5

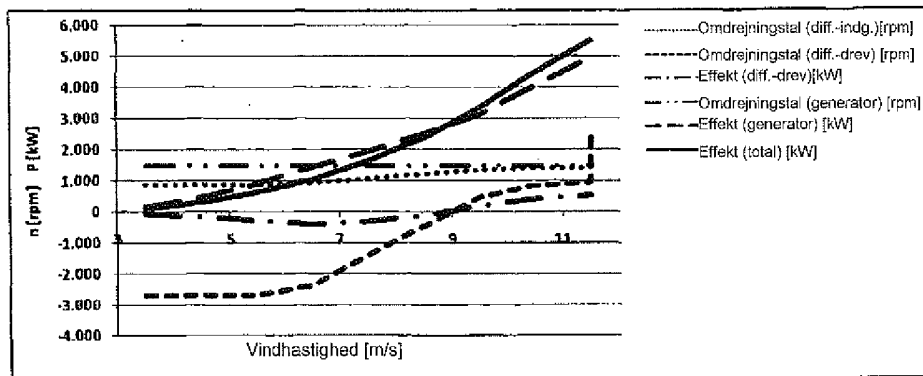


Fig. 6

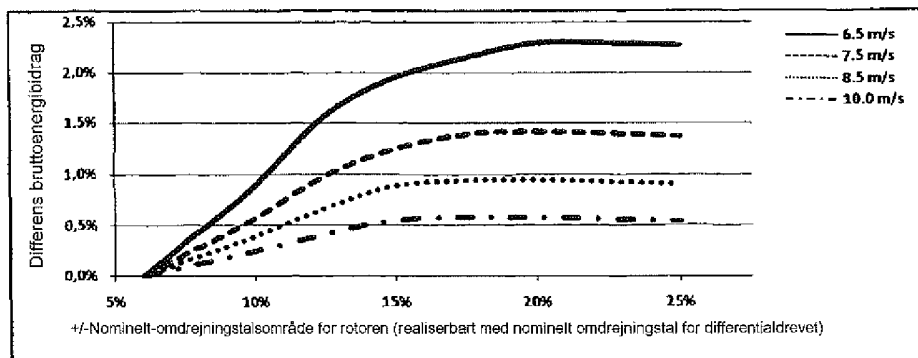


Fig. 7

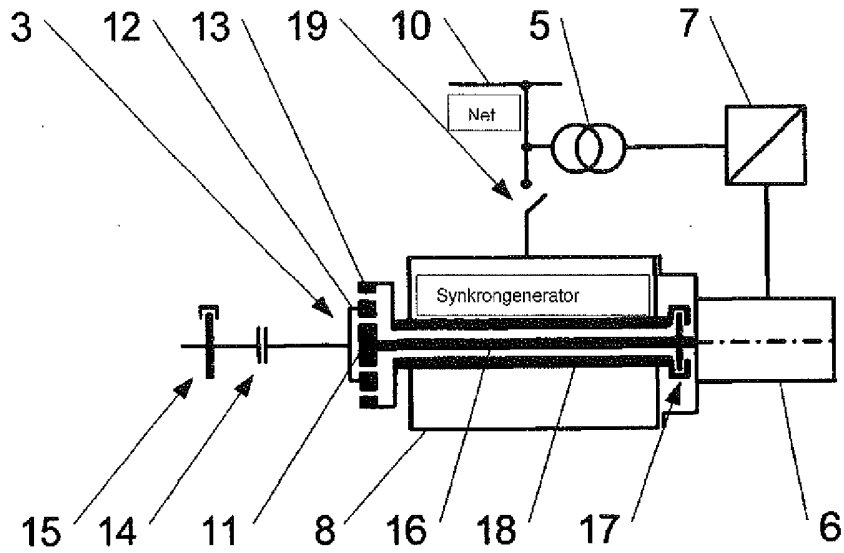


Fig. 8

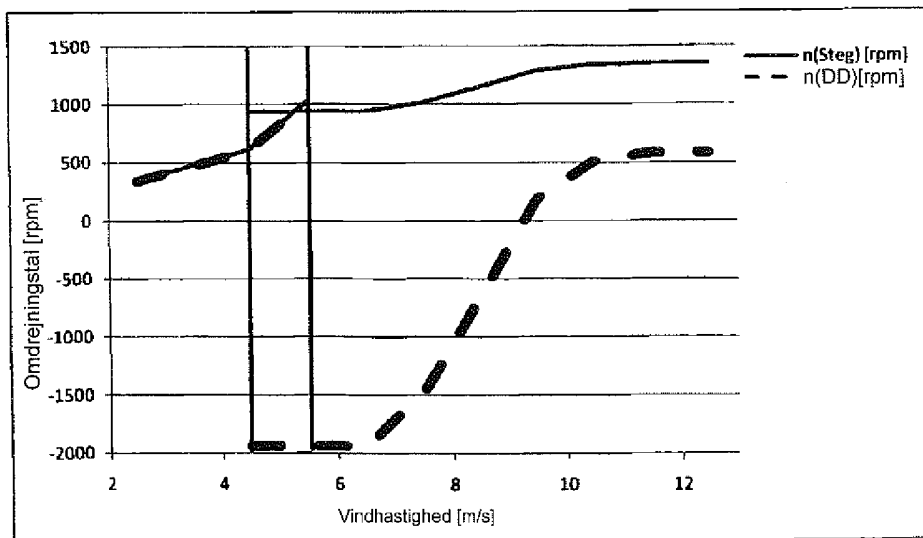


Fig. 9

