

(19) **DANMARK**

(10) **DK/EP 4127747 T3**



(12)

Oversættelse af
europæisk patentskrift

Patent- og
Varemærkestyrelsen

-
- (51) Int.Cl.: **G 01 R 31/34 (2020.01)**
- (45) Oversættelsen bekendtgjort den: **2025-03-31**
- (80) Dato for Den Europæiske Patentmyndigheds bekendtgørelse om meddelelse af patentet: **2025-02-19**
- (86) Europæisk ansøgning nr.: **20718536.4**
- (86) Europæisk indleveringsdag: **2020-03-24**
- (87) Den europæiske ansøgnings publiceringsdag: **2023-02-08**
- (86) International ansøgning nr.: **DE2020100230**
- (87) Internationalt publikationsnr.: **WO2021190677**
- (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 RS SE SI SK SM TR**
- (73) Patenthaver: **Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenaurach, Tyskland**
- (72) Opfinder: **REINERS, Harald, Thomashofstr. 50, 52070 Aachen, Tyskland**
- (74) Fuldmægtig i Danmark: **Plougmann Vingtoft A/S, Strandvejen 70, 2900 Hellerup, Danmark**
- (54) Benævnelse: **Fremgangsmåde og anordning til detektering af elektriske strømimpulser, der opstår i et rulleleje som følge af statisk opladning af roterende maskin-/anlægsdele**
- (56) Fremdragne publikationer:
EP-A1- 1 835 598
EP-A1- 3 570 052
EP-B1- 1 835 598
EP-B1- 2 539 680
US-A- 4 814 699

BESKRIVELSE

Opfindelsen angår en fremgangsmåde og en anordning til detektering af elektriske strømimpulser, der opstår som følge af statisk opladning af roterende maskin- eller anlægsdele i et rulleleje mellem lejets yderring, rullelegemer og lejets inderring. Derudover angår opfindelsen også et computerprogramprodukt, der inkorporerer denne fremgangsmåde, og som en særlig anvendelse et vindkraftværk, i hvilket løsningen ifølge opfindelsen er implementeret.

Opfindelsens anvendelsesområde omfatter i princippet alle roterende maskin- eller anlægsdele, som er monteret på en stationær bærende konstruktion ved hjælp af et rulleleje. Som særligt anvendelsesområde skal vindenergiteknologi fremhæves, hvor særligt skadelig strømgennemgang gennem rotorlejerne, der opstår som følge af en statisk opladning af rotorbladene, kan resultere i lejeskader. Undersøgelser har vist, at en sådan strømgennemgang, der forårsages af statisk ladning, er en væsentlig faktor i dannelsen af såkaldte WEC'er (White Etching Cracks). Ved WEC forstås sædvanligvis revner i mikrostrukturen i lejestålet, som har lokale hvidt ætsende områder bestående af meget fin, nanokrystallinsk, carbidfri ferrit eller ferrit med en meget fin fordeling af carbider. De hvidt ætsende områder omkring revnerne er i den forbindelse hårdere end den omgivende, upåvirkede mikrostruktur i lejestålet og fører med tiden til lejeskader. Derfor er en pålidelig detektering af elektricitetsstrømme, der opstår som følge af statisk ladning i lejet, en forudsætning for at kunne overvåge lejets tilstand og om nødvendigt træffe vedligeholdelsesforanstaltninger i god tid.

EP 3 570 052 A1 beskriver en fremgangsmåde til måling af et pulseret højfrekvent hændessignal, særligt en delvis afladning, i en elektrisk roterende maskine, hvor hændessignalet afkobles fra et højfrekvent elektromagnetisk felt ved hjælp af en sensor under driften.

EP 1 835 598 A1 beskriver en fremgangsmåde til påvisning af en forekomst af elektrisk afladning i et smøremiddel mellem et rullelegeme og en løbebane i et leje i et elektrisk drivsystem.

US 4 814 699 A beskriver en fremgangsmåde til detektering af delvis afladning og måling af intermitterende gnister i dynamoelektriske højspændingsmaskiner til

driftsovervågning af statorviklingens isoleringstilstand og de tilsluttede elektriske udladninger i turbogeneratorer.

EP 2 539 680 B1 beskriver en teknisk løsning til detektering af skader på rullelejer, imidlertid i en kontekst af den ikke indledningsvist angivne art, med elektriske maskiner, der forsynes af omformere. Til dette formål er en elektrisk maskine sluttet til en omformer. Til registrering af en afladningshændelse, der passerer gennem rullelejet, udføres en måling i to forskellige frekvensbånd, hvor energien af afladningshændelsen bestemmes i det en- til flercifrede megahertzområde af et frekvensbånd, og en sammenfaldende hændelse søges i et andet frekvensbånd over én gigahertz, hvor en sammenfaldende hændelse indikerer en skadelig lejeestrømshændelse. Denne tekniske løsning til detektering af lejeestrømme er således i høj grad anvendelsesspecifik og kan derfor vanskeligt overføre til andre anvendelsesområder.

Formålet med den foreliggende opfindelse er at tilvejebringe en fremgangsmåde og en anordning til detektering af strømimpulser, som særligt som følge af statisk opladning af roterende maskin- eller anlægsdele strømmer gennem et rulle- eller glideleje, og som pålideligt kan detekteres og vurderes ved hjælp af simple tekniske midler.

Dette formål opnås ved hjælp af fremgangsmåden ifølge patentkrav 1. Med hensyn til en dertil svarende anordning henvises til patentkrav 4. Det specifikke anvendestilfælde i forbindelse med et vindkraftværk er angivet i patentkrav 7, og patentkrav 8 angår et computerprogramprodukt, der inkorporerer fremgangsmåden. Afhængige patentkrav angiver fordelagtige videreudviklinger af opfindelsen.

Opfindelsen omfatter den procestekniske lære, ifølge hvilken der udføres følgende trin for at detektere de karakteristiske elektriske strømimpulser:

- 25 - modtagelse af elektromagnetiske radiobølger, der udsendes som følge af de karakteristiske elektriske strømimpulser i frekvensområdet over 50 MHz;
- behandling af det modtagne signal ved hjælp af en signalbehandling for at udtrække strømimpulshændelserne, der er indeholdt heri, omfattende filtrering;
- analyse af det tidsmæssige forløb af strømimpulshændelserne til
- 30 overvågning af tilstanden af rullelejet eller glidelejet.

Løsningen ifølge opfindelsen er baseret på viden om, at de karakteristiske

elektriske strømimpulser, der særligt genereres som følge af statisk opladning af roterende maskin- eller anlægsdele, genererer radiobølger i et hertil typisk frekvensområde, der bliver synlige i signalforløbet som en impuls med en forholdsvis hurtig svækkelsesfase. Disse strømimpulshændelser gør det muligt at identificere de relevante strømimpulshændelser i frekvensspektret.

5 Fortrinsvis anvendes der til udtrækning af strømimpulshændelserne, dvs. behandlingen af det modtagne signal, en dannelse af en indhyllingskurve, der ifølge en foretrukket udførelsesform omfatter en højpasfiltrering af det modtagne signal efterfulgt af ensretning og efterfølgende lavpasfiltrering. Dette er en forudsætning for at kunne analysere det behandlede signal ved simpel integration, ud fra en bestemmelse af arealet pr. sekund som målestørrelse, for at kvantificere de opståede strømimpulshændelser, det vil sige at tillade en vurdering af dem.

Alternativt er det også muligt at udføre analysen ved at registrere antallet af strømimpulshændelser i det behandlede signal pr. tidsenhed for at kvantificere de forekommende strømimpulshændelser. Antallet pr. sekund anvendes her således som en målestørrelse for den efterfølgende vurdering.

20 Fremgangsmåden ifølge opfindelsen, der især omfatter en speciel signalbehandling, kan implementeres i en elektronisk anordning, der fortrinsvis består af en modtageenhed, en signalbehandlingsenhed og en analyseenhed. Disse komponenter kan f.eks. anbringes i en detekteringsanordning, der er forsynet med en grænseflade til tilslutning til et overvågningssystem for anlægstilstand eller en anlægsstyring. Herved kan de opnåede målestørrelser overføres, eksempelvis i form af et analogt signal, til et tilstandsovervågningssystem (condition monitoring system) med henblik på yderligere behandling og evaluering. Alternativt eller udover dette er det også muligt at tilvejebringe en separat detekteringsanordning i form af et separat apparat fortrinsvis medintegreret alarmerhed. Alarmerheden kunne i den forbindelse eksempelvis udsende optiske eller akustiske signaler for at signalere, at en kritisk tilstand for lejet er nået. Naturligvis kan overførslen af målestørrelsen til en overordnet instans også integreres i et sådant lokalt apparat. Det lokale apparat kan eksempelvis også monteres i området inden i lejehuset eller i et drev og er dermed beskyttet mod ekstern elektromagnetisk stråling.

Ifølge et foretrukket udførelseseksempel kan anordningen ifølge opfindelsen til detektering af karakteristiske elektricitetsstrømme, der opstår som følge af statisk ladning i et leje, integreres i et vindkraftværk. Rotorbladene i et vindkraftværk er nemlig særligt på grund af vejrpåvirkninger udsat for en betydelig statisk ladning, der afledes
5 via det roterende leje. De karakteristiske elektricitetsstrømme, der i den forbindelse opstår, kan resultere i elektrisk gennemslag og lynudladninger i lejeområdet.

Endvidere skal det bemærkes, at løsningen ifølge opfindelsen også kan realiseres ved hjælp af et computerprogramprodukt, programkodemidlet til gennemførelse af fremgangsmåden afvikles på en kombineret mikroprocessorstyret
10 signalbehandlingsenhed med analyseenhed eller kan lagres på et computerlæsbart datamedium.

Yderligere foranstaltninger til forbedring af opfindelsen er i det følgende forklaret nærmere ved hjælp af figurerne sammen med beskrivelsen af et foretrukket udførelseseksempel på opfindelsen. I den forbindelse viser:

15 figur 1 et skematisk blokdiagram af en anordning, der er implementeret i et vindkraftværk, til detektering af elektriske strømimpulser, der strømmer gennem et rulleleje som følge af statisk opladning af rotoren, og

figur 2 en skematisk visning af en dannelse af en indhyllingskurve til behandling af det modtagne signal som forudsætning for signalanalysen.

20 Ifølge fig. 1 indeholder et vindkraftværk, der her kun er vist skematisk, en rotor 1, der via et rotor-rulleleje 2, der er udformet som et rotorakselleje, er drejeligt monteret på en bærende konstruktion 3 i en - ikke nærmere beskrevet - kabine på et tårn i vindkraftværket.

Under driften udsættes rotoren 1's rotorblade for en statisk ladning, der strømmer
25 gennem rullelejet 2, i dette tilfælde fra lejets inderring 4 via rullelegemerne 5 til lejets yderring 6 og ind i den jordforbundne bærende konstruktion 3. Som følge heraf udsendes afladninger i rullelejet 2 i form af elektromagnetiske radiobølger, der ligger i et typisk frekvensområde over 50 MHz.

En modtageenhed 10, der er installeret i modtageområdet, dvs. tæt på rullelejet
30 2, anvendes til modtagelse 100 af de elektromagnetiske radiobølger via en herpå anbragt antenne 11. En nedstrøms signalbehandlingsenhed 20 anvendes til behandling 200 af det

modtagne signal ved hjælp af en signalbehandling for at udtrække de heri indeholdte strømimpulshændelser, der i dette udførelseseksempel særligt omfatter en dannelse af en indhyllingskurve. En efterfølgende analyseenhed 30 anvendes til analyse 300 af det tidsmæssige forløb af strømimpulshændelserne til overvågning af tilstanden af rullelejet

5 2.

Modtageenheden 10 er sammen med signalbehandlingsenheden 20 og analyseenheden 30 anbragt i en fælles detekteringsanordning 40, der via en datatransmissionsgrænseflade 50 er sluttet til et - ikke nærmere beskrevet - overvågningssystem for anlægstilstand. Desuden er der også integreret en alarmerhed 10 60 i detekteringsanordningen 50, der tjener som lokal optisk visning af en kritisk tilstand.

Fig. 2 illustrerer dannelsen af indhyllingskurven, der fortrinsvis udføres i forbindelse med signalbehandlingen af de modtagne elektromagnetiske radiobølger. I henhold hertil udføres der med udgangspunkt i det modtagne signal først en 15 højpasfiltrering 400 for at eliminere irrelevante signalkomponenter. Ved hjælp af en efterfølgende ensretning 500 fjernes signalets underbølger. Endelig sørger en lavpasfiltrering 600 for dannelsen af arealer mellem kurven og abscisseaksen. Dette udgør en forudsætning for en fortrinsvis senere integration med henblik på at bruge arealet pr. tidsenhed som målestørrelse for de opståede strømimpulshændelser.

Opfindelsen er ikke begrænset til det ovenfor beskrevne foretrukne udførelseseksempel. Tværtimod er der også mulighed for variationer af dette, der også er omfattet af de følgende patentkravs beskyttelsesomfang. Løsningen ifølge opfindelsen kan særligt ikke kun anvendes til vindkraftværker, men generelt til ikke-ledningsbundne scenarier med elektrisk afladning. Desuden skal det bemærkes, at 25 signalbehandlingen til opnåelse af målestørrelsen ikke udelukkende er begrænset til dannelsen af en indhyllingskurve for det modtagne radiosignal. Alternativt kan der anvendes prøvetagningsmetoder eller andre egnede analyser dette formål.

Henvisningsliste

	1	Rotor
	2	Rulleleje
5	3	Bærende konstruktion
	4	Lejets inderring
	5	Rullelegeme
	6	Lejets yderring
	10	Modtageenhed
10	11	Antenne
	20	Signalbehandlingsenhed
	30	Analyseenhed
	40	Detekteringsanordning
	50	Datatransmissionsgrænseflade
15	60	Alarmenhed
	100	Modtagelse af elektromagnetiske radiobølger
	200	Behandling af det modtagne signal
	300	Analyse af strømimpulshændelser
	400	Højpasfiltrering
20	500	Ensretning
	600	Lavpasfiltrering
	I	Elektricitetsstrøm
	A	Amplitude
	T	Tid
25		

PATENTKRAV

1. Fremgangsmåde til detektering af karakteristiske elektriske strømimpulser, der strømmer gennem et rulleleje (2) eller et glideleje som følge af statisk opladning af roterende maskin- eller anlægsdele, hvilken fremgangsmåde omfatter følgende trin:

5 - modtagelse (100) af elektromagnetiske radiobølger, der udsendes som følge af de karakteristiske elektriske strømimpulser i frekvensområdet over 50 MHz;

kendetegnet ved:

10 - behandling (200) af det modtagne signal ved hjælp af en signalbehandling for at udtrække de heri indeholdte strømimpulshændelser, omfattende filtrering, hvor behandlingen (200) af det modtagne signal udføres ved hjælp af en dannelse af en indhyllingskurve, der omfatter en højpasfiltrering (400) af det modtagne signal efterfulgt af ensretning (500) og efterfølgende lavpasfiltrering (600),

15 - analyse (300) af det tidsmæssige forløb af strømimpulshændelserne til overvågning af tilstanden af rullelejet (2) eller glidelejet, hvor analysen (300) bestemmer en svækkelsesfase i et signalforløb for radiobølgerne.

2. Fremgangsmåde ifølge patentkrav 1,

20 **kendetegnet ved, at** analysen (300) omfatter en integration af det behandlede signal, der opnås ved hjælp af lavpasfiltreringen, for at kvantificere de opståede strømimpulshændelser.

3. Fremgangsmåde ifølge patentkrav 1,

kendetegnet ved, at analysen (300) omfatter tælling af antallet af strømimpulshændelser i det behandlede signal pr. tidsenhed for at kvantificere de opståede strømimpulshændelser.

25 4. Anordning til detektering af karakteristiske elektriske strømimpulser, der strømmer gennem et rulleleje (2) eller et glideleje som følge af statisk opladning af roterende maskin- eller anlægsdele, hvilken anordning omfatter:

30 - en modtageenhed (10) til at modtage elektromagnetiske radiobølger, der udsendes som følge af de karakteristiske elektriske strømimpulser i frekvensområdet over 50 MHz;

kendetegnet ved:

- en signalbehandlingsenhed (20) til at behandle det modtagne signal ved hjælp af en signalbehandling for at udtrække de heri indeholdte strømpulshændelser, omfattende filtrering, hvor behandlingen (200) af det modtagne signal udføres ved hjælp af en dannelse af en indhyllingskurve, der omfatter en højpasfiltrering (400) af det modtagne signal efterfulgt af ensretning (500) og efterfølgende lavpasfiltrering (600);

- en analyseenhed (30) til at analysere det tidsmæssige forløb af strømpulshændelserne til overvågning af tilstanden af rullelejet (2) eller glidelejet, hvor analysen (300) bestemmer en svækkelsesfase i et signalforløb for radiobølgerne.

5 **5.** Anordning ifølge patentkrav 4,

10 **kendetegnet ved, at** modtageenheden (10), signalbehandlingsenheden (20) og analyseenheden (30) er anbragt i en detekteringsanordning (40), der er forsynet med en datatransmissionsgrænseflade (50) til tilslutning til et overvågningssystem for anlægstilstand eller en anlægsstyring.

6. Anordning ifølge patentkrav 5,

15 **kendetegnet ved, at** detekteringsanordningen (50) er udformet som et separat apparat med integreret lokal alarmerhed (60).

7. Vindkraftværk med en rotor (1) som roterende maskine eller anlægsdel, der er drejeligt monteret på en bærende konstruktion (3) via mindst et rulleleje (2) eller glideleje, der er udformet som rotorleje, hvor en anordning ifølge et af patentkravene 4 til 6 til detektering af karakteristiske elektricitetsstrømme, der opstår som følge af statiske opladning af rotoren (1) i det i det mindste ene rulleleje (2) eller glideleje mellem lejets yderring (6) og lejets inderring (4), er anbragt tæt på rullelejet (2) eller glidelejet.

8. Computerprogramprodukt med programkodemiddel til gennemførelse af fremgangsmåden ifølge et af patentkravene 1 til 3, når computerprogramproduktet kører på en kombineret signalbehandlingsenhed (200) med analyseenhed (300) i en anordning ifølge et af patentkravene 4 til 6.

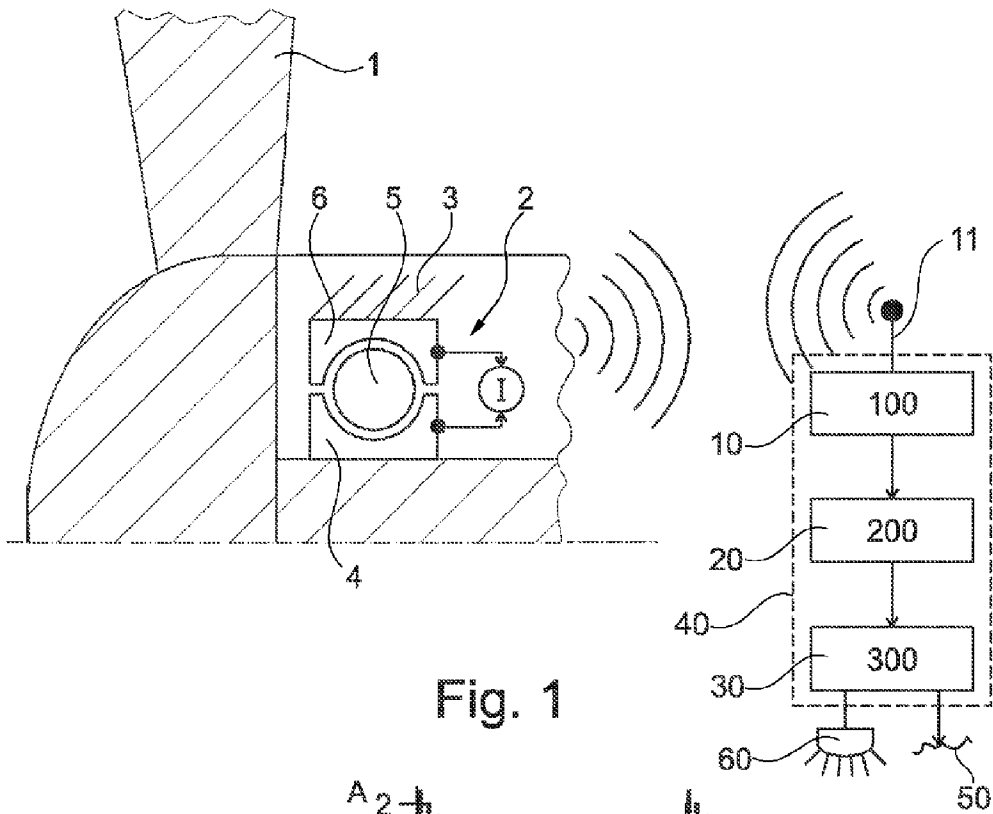


Fig. 1

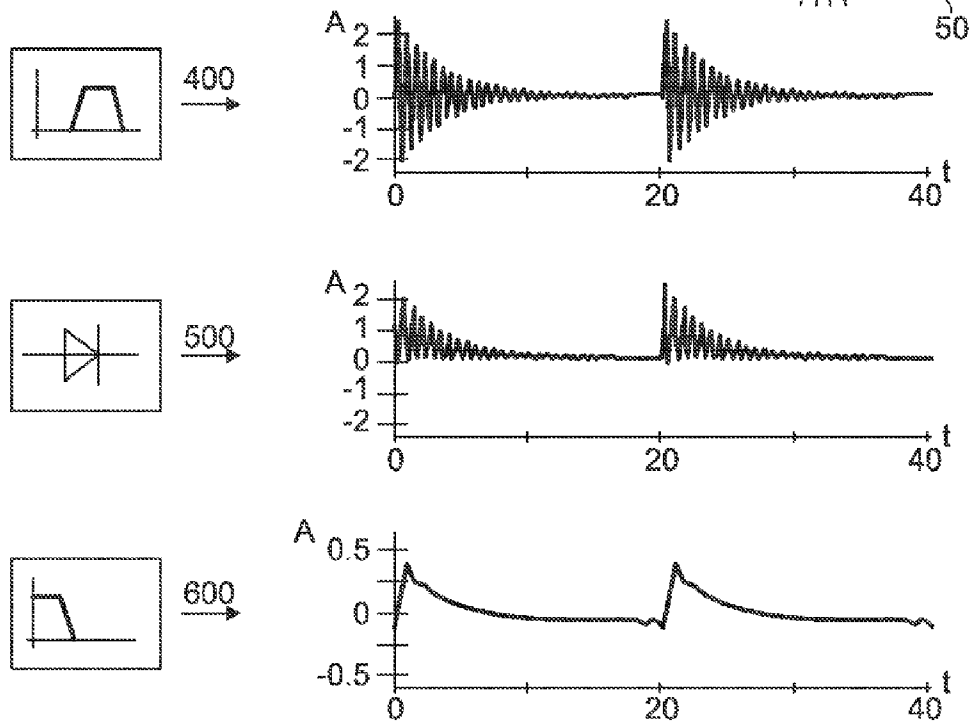


Fig. 2