

(19)



(11)

**EP 2 128 386 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**02.04.2014 Patentblatt 2014/14**

(51) Int Cl.:  
**F01D 5/28** <sup>(2006.01)</sup> **F01D 25/32** <sup>(2006.01)</sup>  
**F01K 21/06** <sup>(2006.01)</sup> **F28F 13/16** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **09161199.6**

(22) Anmeldetag: **27.05.2009**

(54) **Verfahren zur Reduzierung der Tropfenschlagerosion in Dampfturbinen durch Kontrolle der Tropfengröße und zugehörige Dampfturbine**

Method for reducing water drop erosion in steam turbines by controlling the drop size and corresponding steam turbine

Procédé de réduction de l'érosion par impact de gouttes dans des turbines à vapeur par contrôle de la taille des gouttes et turbine à vapeur associée

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**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 TR**

(30) Priorität: **30.05.2008 DE 102008026031**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.12.2009 Patentblatt 2009/49**

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft  
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Hammer, Thomas**  
**91334 Hemhofen (DE)**  
• **Kishimoto, Tetsuo**  
**91056 Erlangen (DE)**  
• **Sürken, Norbert**  
**45468 Mülheim a.d. Ruhr (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**US-A- 3 859 005 US-A1- 2002 174 655**  
**US-A1- 2005 207 880**

**EP 2 128 386 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Reduzierung der Tropfenschlagerosion in Dampfturbinen durch Kontrolle der Tropfengröße, bei denen durch Kondensation in der Dampfströmung Primärtropfen von Wasser entstehen, die sich teilweise an den Leitschaufeln ablagern und weiterhin an und hinter den Leitschaufeln Sekundärtropfen, die ein erheblich größeres Volumen als die Primärtropfen haben. Daneben bezieht sich die Erfindung auf eine Dampfturbine mit einer Hilfseinrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

**[0002]** Bei Dampfturbinen wird insbesondere im Wasserdampf enthaltene Energie in mechanische Energie umgewandelt und damit ein elektrischer Generator oder auch eine Arbeitsmaschine angetrieben. Um die im Dampf gespeicherte Wärme so weit wie möglich für die Umwandlung in mechanische Energie nutzen zu können, werden Niederdruck-Dampfturbinen so betrieben, dass die Kondensation des Wasserdampfes bereits in der Turbine einsetzt und so am Austritt ein stark expandierter Dampf mit typisch 10-16 % Nässe vorliegt. Ein Teil dieses Kondensats führt zur Bildung eines Wasserfilms auf den Turbinenschaufeln der Stufen, die stromab der einsetzenden Kondensation liegen. Da die Laufschaufeln und der ggf. auf ihnen befindliche Wasserfilm rotationsbedingt erheblichen Fliehkräften ausgesetzt sind, findet eine Wasseransammlung nur auf den Leitschaufeln in signifikantem Ausmaß statt. Dieser Wasserfilm fließt - getrieben durch die Dampfströmung - an die Hinterkanten der Leitschaufeln und reißt dort in Form von Tropfen ab, die wesentlich größer sind als die primär durch Kondensation im Dampfvolument gebildeten Primärtropfen. Weil diese Sekundärtropfen eine im Vergleich zu den Primärtropfen hohe Masse haben, können sie wegen ihrer Massenträgheit der Dampfströmung nur bedingt folgen und prallen deshalb mit hohen Relativgeschwindigkeiten auf die stromab der Leitschaukel rotierenden Laufschaufeln. Dabei richten sie teilweise hohe Schäden durch Tropfenschlagerosion an.

**[0003]** Um letztere Schäden zu begrenzen, wurden bereits verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, die die auf den Leitschaufeln angesammelten Wassermengen reduzieren sollen. Diese Maßnahmen kann man in drei Kategorieneinteilen:

- 1.: Maßnahmen zur Reduzierung der auf den Leitschaufeln angesammelten Wassermengen;
- 2.: Maßnahmen zur Reduzierung der Abscheidung von Wasser auf den Leitschaufeln;
- 3.: Maßnahmen zur Reduzierung der Sekundärtropfengröße.

**[0004]** In die erste Kategorie fallen sowohl Maßnahmen zur Ableitung des Wassers durch kanalartige Strukturen nach außen (Absaugeschlitze/Absaugebohrungen) als auch Maßnahmen zur Verdampfung der Wasserfilme durch Beheizung der Leitschaufeln von innen.

In die zweite Kategorie fallen Maßnahmen zur Steuerung der Kondensation im Dampfvolument, die zur Ausbildung einer höheren Zahl kleinerer Tropfen führen, die der Strömung besser folgen können und sich deshalb nicht so schnell auf den Leitschaufeln ablagern. In die dritte Kategorie fallen sowohl Maßnahmen, die die Oberflächeneigenschaften von Leitschaufeln modifizieren als auch Maßnahmen, die durch gezielte Dampfausblasung im Bereich der Leitschaukelhinterkante eine Tropfenzerstäubung befördern.

**[0005]** Maßnahmen der ersten Kategorie sind nur begrenzt erfolgreich, weil Strukturen, die zur nahezu vollständigen Ableitung des Wassers von der Leitschaukel führen, sowohl die Strömung in der Dampfturbine nachhaltig beeinflussen als auch die verfügbare Menge an Arbeitsfluid reduzieren und damit den Wirkungsgrad reduzieren.

**[0006]** Maßnahmen zur Steuerung der Kondensation im Volument können eine Hauptquelle der Bildung von Wasserfilmen auf Leitschaufeln beeinflussen, nämlich die Volumentkondensation. Ein Teil der so gebildeten feinsten Tröpfchen kann sich trotzdem noch auf den Leitschaufeln ansammeln. Die Oberflächenkondensation als zweite Quelle des Wassers auf den Turbinenschaufeln lässt sich durch eine Maßnahme der zweiten Kategorie nicht unterbinden. Außerdem beruht ein Teil der bisher vorgeschlagenen Maßnahmen zur Steuerung der Volumentkondensation auf dem Zusatz Ionen bildender Substanzen, die die chemische Korrosion fördern können und deshalb nicht wünschenswert erscheinen.

**[0007]** Die Beheizung der Leitschaufeln erfordert neben dem Einsatz geringer Mengen von höher energetischem Heizdampf einen erhöhten apparativen Aufwand, der die Kosten des Produktes Dampfturbine trotz erwiesener hoher Wirksamkeit signifikant erhöhen kann.

**[0008]** Bislang vorgeschlagene Maßnahmen zur Veränderung der Oberflächeneigenschaften von Leitschaufeln haben insbesondere Einschränkungen durch die geringe Beständigkeit z. B. von wasserabweisenden Beschichtungen. Die Dampfausblasung an der Leitschaukelhinterkante führt wie die Maßnahmen der ersten Kategorie zu einer Reduzierung des Wirkungsgrades über die Verwendung höherenergetischen Dampfes, welcher der Arbeitsumsetzung nicht mehr zur Verfügung steht.

**[0009]** Ferner sei auf die US 2005/0207880 A1 verwiesen, die eine Verringerung der Tropfenreaktion durch Anlegen von elektrostatische Dipolkräfte zu erzielen versucht. Die US 3859005 beschreibt das Anlegen eines elektrischen Feldes an die Oberfläche von Turbinengehäusen und die US 2002/0174655 A1 beschreibt die Verwendung von Elektroden im Abgasbereich der Turbine

**[0010]** Ausgehend vom Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren vorzuschlagen, mit dem der schädigende Einfluss der Sekundärtropfen in Dampfturbinen reduziert werden kann. Dazu soll eine zugehörige Dampfturbine geschaffen werden.

**[0011]** Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die

Maßnahmen des Patentanspruches 1 gelöst. Eine zugehörige Dampfturbine ist Gegenstand des Patentanspruches 11. Weiterbildungen des Verfahrens und der Dampfturbine sind in den jeweils abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0012]** Mit der Erfindung werden Maßnahmen vorgeschlagen, die die Größe der Sekundärtropfen entweder beim Tropfenabriss an der Hinterkante der Leitschaufeln stark reduzieren oder zumindest zu einer beschleunigten Zerstörung großer Sekundärtropfen führen, bevor sie die nächste Reihe von Turbinenschaufeln erreichen. Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass an den Leitschaufeln elektrische Felder erzeugt werden, die aufgrund der elektrostatischen Kräfte zum vorzeitigen Abriss der Wassertropfen und damit zu reduzierten Sekundärtropfengrößen führen. Da die elektrischen Felder auch Dipolkräfte auf die Tropfen im Volumen ausüben, die mit zunehmendem Tropfendurchmesser anwachsen, können bei geeigneten elektrischen Feldern auch Sekundärtropfen im Dampfvolumen zerkleinert werden.

**[0013]** Bei der Erfindung werden die elektrischen Felder dadurch erzeugt, dass an geeigneten Elektrodenstrukturen in der Dampfturbine elektrische Spannungen angelegt werden. Im einfachsten Fall werden die Elektroden durch die Turbinenschaufeln selbst gebildet, indem Lauf- und Leitschaufeln auf unterschiedliches elektrisches Potential gelegt werden. Dabei ist eine besonders einfache Realisierung möglich, wenn der komplette Läufer isoliert aufgehängt und mit Hochspannung beaufschlagt wird, während die Leitschaufeln und das Turbinengehäuse geerdet sind. Umgekehrt kann auch der Läufer geerdet sein, während die Leitschaufeln isoliert eingesetzt und mit Hochspannung beaufschlagt werden. Diese Variante ist zwar aus Gründen der Betriebssicherheit aufwendiger, da das Turbinengehäuse geerdet sein sollte, erlaubt dafür aber die Steuerung einzelner Stufen der Dampfturbine mit unterschiedlichen Spannungen, die dem jeweiligen Druck angepasst sein können.

**[0014]** Die erfindungsgemäß vorgeschlagenen Maßnahmen zeichnen sich durch niedrigen Energieverbrauch aus, weil für die Erzeugung der elektrischen Felder kaum elektrische Leistung bereitgestellt werden muss. Ein nennenswerter elektrischer Strom, der zur Dissipation elektrischer Energie führen würde, fließt unter den in Dampfturbinen herrschenden Bedingungen - nämlich extrem reiner Dampf zur Vermeidung von Korrosion - nicht. Der Energiebedarf lässt sich grob abschätzen durch die Differenz der Oberflächenenergien, die sich bei der Zerkleinerung grober zu feineren Tröpfchen ergibt.

**[0015]** Die Tropfengröße lässt sich erfindungsgemäß durch die Amplitude des elektrischen Feldes, d.h. bei gegebener Elektrodengeometrie durch die verwendeten elektrischen Spannungen, steuern. Die Kraft, die zur Zerstörung der Wassertropfen führt, erfordert auch keine elektrische Ladung der Tropfen, z. B. durch Ionisation oder Zusatz Ionen bildender Materialien. Der Grund dafür ist, dass Wasser Dipol-polarisierbar ist, d.h. durch ein

elektrisches Feld wird ein Dipolmoment induziert, auf das das elektrische Feld wiederum eine Kraft ausübt, die zur Verformung (Elongation) des Tröpfchens führt, bis es schließlich instabil wird und zerfällt, weil die Oberflächenspannung aufgrund der starken Krümmung der Oberfläche nicht mehr ausreicht, um den Tropfen zusammenzuhalten.

**[0016]** Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich, wenn das elektrische Feld nicht als stationäres, sondern als Wechselfeld betrieben wird. Durch Einstellung der Frequenz des elektrischen Wechselfeldes lassen sich resonante Schwingungen der Tropfen anregen, die zu einer effizienteren Zerkleinerung der Tropfen beim Abriss oder auch im Volumen führen. Die erforderliche Spannungsamplitude kann dadurch stark gesenkt werden. Die Möglichkeit, Resonanzeffekte auszunutzen, eröffnet gleich mehrere Wege, Tropfenschlag-Erosion zu verhindern:

**[0017]** Zum einen kann eine Spannung fester Frequenz an das Elektrodenystem angelegt werden. Das führt dazu, dass die Schwingung von Tropfen, sowie sie eine bestimmte Größe erreichen, in Resonanz mit dem elektrischen Feld kommen. Dadurch kommt es sehr schnell zu einer extremen Verformung der Tropfen, die zum Zerfall führt. Zum anderen kann die Frequenz des elektrischen Feldes in einem bestimmten Bereich zyklisch variiert werden. Das führt dazu, dass ein bestimmtes Größenspektrum von Tropfen zerkleinert wird.

**[0018]** Für die Bereitstellung der elektrischen Felder lassen sich erfindungsgemäß unterschiedliche Elektrodenanordnungen und Möglichkeiten nutzen, die Hochspannung einem Teil des Elektrodenystems zuzuführen:

**[0019]** Wie bereits angegeben, kann die Hochspannung an die Laufschaufeln angelegt werden, indem die Achse des Rotors isoliert durch das Außengehäuse der Dampfturbine geführt wird. Der Nachteil dieser Anordnung liegt darin, dass einerseits der Rotor elektrisch gegen den Generator isoliert werden muss, andererseits die Hochspannung einem rotierenden Teil sicher und störungsfrei zugeführt werden muss.

**[0020]** Die bevorzugte Lösung liegt deshalb darin, den Rotor mit Laufschaufeln zu erden und stattdessen die Leitschaufeln mit Hochspannung zu beaufschlagen. Da das Gehäuse der Dampfturbine dabei aus Sicherheitsgründen weitgehend geerdet sein sollte, werden dafür verschiedene Anordnungen vorgeschlagen.

**[0021]** In einer ersten Ausführungsform der Erfindung werden einzelne Kränze von Leitschaufeln isoliert in die Dampfturbine eingesetzt, und jeweils ganze Kränze von Laufschaufeln werden mit der gewünschten Spannung beaufschlagt. Unterschiedliche Kränze können so angepasst an den Druck geometrische Parameter etc. mit unterschiedlichen Spannungen angesteuert werden. Ein neben verbesserter Betriebssicherheit weiterer Vorteil dieser Ausführungsform gegenüber der Grundidee, alle Leitschaufeln auf ein elektrisches Potential zu legen, besteht darin, dass die Kapazität der daraus resultierenden

elektrischen Schaltung gegenüber der Grundidee reduziert werden kann. Das reduziert den Aufwand für die Bereitstellung geeigneter elektrischer Spannungen.

**[0022]** In einer zweiten Ausführungsform der Erfindung sind einzelne Leitschaufeln isoliert in das Gehäuse der Dampfturbine eingesetzt. Es können insbesondere mehrere Leitschaufeln parallel mit der gleichen Spannung beaufschlagt werden. Prinzipiell erlaubt diese Ausführungsform aber auch die Ansteuerung benachbarter Leitschaufeln mit unterschiedlichen Spannungen. So kann z. B. mit mehrphasiger Spannungsversorgung gearbeitet werden, was die Abstrahlung elektromagnetischer Wellen nach außen reduziert. Außerdem ergibt sich hier eine weitere Reduzierung der elektrischen Kapazität des Aufbaus.

**[0023]** Schließlich können in weiteren Ausführungsformen der Erfindung bei einer Reihe von Leitschaufeln Bereiche gegen den Rest der jeweiligen Leitschaufel isoliert und mit einer elektrischen Durchführung nach außen versehen werden. Auf diese Art lassen sich z. B. elektrische Isolationsprobleme der Leitschaufeln gegen den Rotor vermeiden, ohne dass es zu nennenswerten Einbußen in der Wirksamkeit kommt. Ein bevorzugt mit Hochspannung beaufschlagter Bereich kann zu diesem Zweck im weiter außen liegenden Bereich der Hinterkante der Leitschaufel liegen.

**[0024]** Bei der Steuerung der Potentiale ist zu beachten, dass die angelegte Hochspannung einen kritischen Wert nicht überschreitet, bei dem es zur Ausbildung elektrischer Gasentladungen kommen würde. Erfindungsgemäß wird deshalb die Amplitude der Spannung an einer Leitschaufel so gesteuert, dass das so genannte reduzierte elektrische Feld, das ist der Quotient aus elektrischer Feldstärke und Anzahldichte der Dampfmoleküle,  $80 \times 10^{21} \text{ Vm}^{-2}$  lokal nicht übersteigt.

**[0025]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Figurenbeschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung in Verbindung mit den Patentansprüchen. Es zeigen jeweils in schematischer Darstellung

- Figur 1 eine Anordnung zur Beaufschlagung des Rotors einer Dampfturbine mit einer hochfrequenten Wechselspannung,
- Figur 2 eine alternative Anordnung zur Beaufschlagung der Leitschaufeln bzw. einer Stufe von Leitschaufeln mit einer hochfrequenten Wechselspannung,
- Figur 3 eine Anordnung zur Beaufschlagung der Hinterkante von Leitschaufeln mit einer hochfrequenten Wechselspannung und
- Figur 4 den Querschnitt durch eine Turbinenschaufel mit einer Wechselspannungselektrode an der hinteren Profilkante.

**[0026]** Gleiche Einheiten haben in den Figuren gleiche oder sich entsprechende Bezugszeichen. Die Figuren werden teilweise gemeinsam beschrieben.

**[0027]** In den Figuren 1 bis 3 bedeutet 1 eine Dampfturbine, von der jeweils nur ein Teil dargestellt ist. Im Einzelnen ist jeweils ein Rotor 2 mit Rotationsachse I vorhanden, auf dem sich einzelne Laufschaufelreihen 3, 3', ... befinden, wobei speziell drei Laufschaufelreihen 3, 3', 3" angedeutet sind. Korrespondierend dazu ist ein Statorteil 4 mit zugehörigen Leitschaufeln 5, 5', 5" vorhanden. Es sind auch Anordnungen mit mehr Schaufelreihen denkbar.

**[0028]** Über eine Zuleitung 8 erfolgt der Zustrom von Dampf. Der Dampfstrom wird in die Anordnung aus Statorteil 4 und Rotor 2 mit den Laufschaufeln 3, 3', 3" geleitet, wodurch über die Umwandlung von Strömungsenergie in mechanische Energie der Rotor in Drehung versetzt wird. Damit kann ein mechanisch angeschlossener Generator betrieben und elektrische Leistung erzeugt werden.

**[0029]** Beim oder nach dem Einbringen des Dampfes in die Anordnung gemäß den Figuren 1 bis 3 kondensiert der Dampf als kleine Tröpfchen. In den Figuren ist beispielhaft eine Sättigungslinie S (auch: Taulinie) eingezeichnet, nach deren Überschreitung der Dampf im thermodynamischen Gleichgewicht teils in flüssigem, teils in gasförmigem Aggregatzustand vorliegt.

**[0030]** Der Rotor 2 weist eine elektrisch isolierende Durchführung 13 auf und einen anschließenden Schleifring 14, über den eine Wechselspannungsquelle 15 angeschlossen ist, die eine Wechselspannung  $U(t)$  liefert. Die Leitschaufeln 3, 3', 3" sind in diesem Fall geerdet. Dadurch ergibt sich zwischen den Laufschaufeln 3, 3', 3" des Rotors 2 und den Leitschaufeln 5, 5', 5" des Statorts 4 jeweils ein elektrisches Wechselfeld.

**[0031]** In einer Alternative zu Figur 1 sind gemäß Figur 2 die Leitschaufeln 5" gegenüber dem Stator 2 bzw. Gehäuse elektrisch isoliert und bildet ein separat isoliertes Bauteil 10, das an die Spannungsquelle 15 für die Wechselspannung  $U(t)$  angeschlossen ist. Der Rotor 2 ist in diesem Fall geerdet. Im Ergebnis ergibt sich aber damit die gleiche Wirkung wie in Figur 1.

**[0032]** In einer weiteren Abwandlung von Figur 2 werden gemäß Figur 3 nur die Hinterkanten einer der Leitschaufeln 5, 5', 5" mit der hochfrequenten Wechselspannung beaufschlagt. Dazu ist auf der Hinterkante eine Isolierschicht 11 und darauf elektrisch isoliert eine Elektrode 12 aufgebracht, die an die Spannungsquelle 15 für die Wechselspannung  $U(t)$  angeschlossen ist. Ansonsten entsprechen der Aufbau und die elektrische Verschaltung weitestgehend der Figur 2. Der Einsatz von Wechselspannungen erfolgt dabei typischerweise bei Frequenzen von 100 Hz bis 100 kHz. Bevorzugt ist der Bereich zwischen 1 kHz und 10 kHz, weil er besonders effizient zur Zerstörung von Tropfen mit Durchmessern im Bereich einiger 0,1 mm führt. Die für die Zerstörung der Tropfen erforderliche Zeit reduziert sich gegenüber Gleichspannung um einen Faktor 10-20, und die Spannungsamplitude kann um einen Faktor 5 reduziert werden.

**[0033]** In der Figur 4 ist eine einzelne Leitschaufel einer

Turbine mit 50 bezeichnet, die einen üblichen konvex-konkaven Profilverlauf hat. An der Hinterkante der Leitschaufel 50, die als Abrisskante für flüssiges Wasser wirkt, ist über einen Isolator 51 eine Elektrode 52 angebracht. An die Elektrode 52 wird die elektrische Spannung aus der Spannungsquelle 15 entsprechend den Figuren 2 und 3 angelegt. Es wird damit die Anordnung nach Figur 3 realisiert.

**[0034]** Bei der beschriebenen Dampfturbine können weitere Mittel zur Verhinderung der Tropfenschlagerosion und zur Zerstörung von Wassertröpfchen vorhanden sein, wie sie insbesondere als Ultraschallschwinger in der Parallelanmeldung der Anmelderin und mit gleicher Anmeldepriorität mit der Bezeichnung "Verfahren zur Verringerung oder Vermeidung der Tropfenschlagerosion in einer Dampfturbine und zugehörige Dampfturbine" offenbart sind.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Reduzierung der Tropfenschlagerosion in Dampfturbinen durch Kontrolle der Tropfengröße in der Dampfturbine, in der durch Kondensation in der Dampfströmung Primärtropfen von Wasser, die sich teilweise an den Leitschaufeln ablagern, und weiterhin an bzw. hinter den Leitschaufeln Sekundärtropfen von Wasser, die ein erheblich größeres Volumen als die Primärtropfen haben, entstehen, mit folgenden Verfahrensschritten:

- In der Umgebung der Leitschaufeln mindestens einer Reihe werden elektrische Felder erzeugt, wobei die elektrischen Felder durch Anlegen elektrischer Spannungen an geeigneten Elektrodenstrukturen in der Dampfturbine erzeugt werden
- wobei diese durch elektrostatische Dipolkräfte zu einer Reduzierung der Sekundärtropfengröße führen

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** als elektrische Felder Wechselfelder verwendet werden

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reduzierung der Sekundärtropfengröße durch Zerstörung von Sekundärtropfen im Volumen, d.h. nach dem Tropfenabriss von der Leitschaufel erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reduzierung der Sekundärtropfengröße durch einen vorzeitigen, durch elektrische Dipolkräfte induzierten Tropfenabriss an der Hinterkante der Leitschaufeln erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet,**

**zeichnet, dass** die Frequenz (f) des elektrischen Wechselfeldes zur Anregung resonanter Schwingungen der Tropfen bestimmter Größe gewählt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrische Wechselfeld sowohl unmittelbar auf der Leitschaufeloberfläche als auch im umliegenden Dampfraum zu einer Zerkleinerung der Tropfen führt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reduzierung der Sekundärtropfengröße in Dampfturbinen durch elektrische Felder mit weiteren Verfahren zur Reduzierung der Tropfenschlagerosion kombiniert werden.
7. Dampfturbine mit einer Hilfseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 6 mit einer Dampfturbine (1), mit Leitschaufeln (3, 3', 3'', ...) einerseits und nachfolgenden Laufschaufeln (5, 5', 5'', ...) andererseits, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung Elektroden enthält, die mittels wenigstens einer Spannungsquelle (15) auf unterschiedliches elektrisches Potential gelegt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** als elektrische Felder Wechselfelder einsetzbar sind, die durch Verwendung von Wechselspannungsquellen (15) mit periodisch zeitabhängigen Spannungen (U(t)) erzeugt werden.
8. Dampfturbine nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch die Turbinenschaufeln (3, 3', 3'', ...; 5, 5', 5'', ...) Elektroden gebildet werden, indem Laufschaufeln (3, 3', 3'', ...) und Leitschaufeln (5, 5', 5'', ...) auf unterschiedliches elektrisches Potential gelegt werden.
9. Dampfturbine nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der komplette Läufer mit den Laufschaufeln (3, 3', 3'', ...) mittels einer elektrisch isolierende Durchführung (13) isoliert angeordnet ist und über einen Schleifring (14) mit Hochspannung beaufschlagbar ist, wogegen die Leitschaufeln (5, 5', 5'', ...) und das Turbinengehäuse (4) geerdet sind.
10. Dampfturbine nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Läufer mit den Laufschaufeln (3, 3', 3'', ...) geerdet ist, wogegen die Leitschaufeln (5, 5', 5'', ...) isoliert eingesetzt und mit Hochspannung beaufschlagbar sind.
11. Dampfturbine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Turbinengehäuse (4) geerdet ist und dass einzelne Stufen der Leitschaufeln (5, 5', 5'', ...) mit unterschiedlichen Spannungen beaufschlagbar sind.

12. Dampfturbine nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Erzeugung elektrischer Felder in der Nähe der Leitschaufeln Elektroden (52) in die Dampfturbine eingesetzt sind.
13. Dampfturbine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden (52) strömungsgünstig ausgeführt sind.
14. Dampfturbine nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden (52) durch die elektrisch vom Rest der jeweiligen Leitschaufel (50) isolierten Hinterkanten der Leitschaufeln gebildet werden.
15. Dampfturbine nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spannungsquelle (15) Mittel zur Einstellung der Frequenz des elektrischen Wechselfeldes  $f$  besitzt.
16. Dampfturbine nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** weitere Mittel zur Verhinderung der Tropfenschlagerosion vorhanden sind.

#### Claims

1. Method for reducing droplet impingement erosion in steam turbines by controlling the droplet size in the steam turbine, in which condensation in the flow of steam causes primary droplets of water, which are partially deposited on the stationary blades, and also secondary droplets of water on or behind the stationary blades, of a considerably greater volume than the primary droplets, with the following method steps:
- electrical fields are generated in the area around the stationary blades of at least one row: wherein the electrical fields are generated by applying electrical voltages to suitable electrode structures in the steam turbine,
  - wherein these fields lead to a reduction in the size of the secondary droplets by electrostatic dipole forces,
- characterized in that** alternating fields are used as electrical fields.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the reduction in the size of the secondary droplets takes place by destroying secondary droplets in the volume, i.e. after the separation of droplets from the stationary blade.
3. Method according to Claim 1, **characterized in that** the reduction in the size of the secondary droplets

takes place by an early separation of droplets, induced by electrical dipole forces, at the rear edge of the stationary blades.

4. Method according to Claim 3, **characterized in that** the frequency ( $f$ ) of the alternating electrical field is chosen by exciting resonant vibrations of the droplets of a certain size.
5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the alternating electrical field leads to a reduction in size of the droplets both directly on the surface of the stationary blades and in the surrounding steam chamber.
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the reduction in the size of the secondary droplets in steam turbines by electrical fields is combined with further methods for reducing droplet impingement erosion.
7. Steam turbine with an auxiliary device for carrying out the method according to Claim 1 or one of Claims 2 to 6, with a steam turbine (1), with moving blades (3, 3', 3'', ...) on the one hand and following stationary blades (5, 5', 5'', ...) on the other hand, **characterized in that** the device contains electrodes, which are connected to different electrical potential by means of at least one voltage source (15), **characterized in that** alternating fields that are generated by using alternating voltage sources (15) with periodically time-dependent voltages ( $U(t)$ ) can be used as electrical fields.
8. Steam turbine according to Claim 7, **characterized in that** the electrodes are formed by the turbine blades (3, 3', 3'', ...; 5, 5', 5'', ...), **in that** moving blades (3, 3', 3'', ...) and stationary blades (5, 5', 5'', ...) are connected to different electrical potential.
9. Steam turbine according to Claim 8, **characterized in that** the complete rotor with the moving blades (3, 3', 3'', ...) is arranged in an insulated manner by means of an electrically insulating bushing (13) and can be subjected to high voltage by way of a slip ring (14), whereas the stationary blades (5, 5', 5'', ...) and the turbine casing (4) are earthed.
10. Steam turbine according to Claim 9, **characterized in that** the rotor with the moving blades (3, 3', 3'', ...) is earthed, whereas the stationary blades (5, 5', 5'', ...) are fitted in an insulated manner and can be subjected to high voltage.
11. Steam turbine according to Claim 10, **characterized in that** the turbine casing (4) is earthed and **in that** individual stages of the stationary blades (5, 5', 5'', ...) can be subjected to different voltages.

12. Steam turbine according to Claim 7, **characterized in that** electrodes (52) are fitted into the steam turbine for the generation of electrical fields in the vicinity of the stationary blades.
13. Steam turbine according to Claim 11, **characterized in that** the electrodes (52) are of a streamlined design.
14. Steam turbine according to Claim 13, **characterized in that** the electrodes (52) are formed by the rear edges of the stationary blades that are electrically insulated from the rest of the respective stationary blades (50).
15. Steam turbine according to Claim 14, **characterized in that** the voltage source (15) has means for setting the frequency of the alternating electrical field f.
16. Steam turbine according to one of Claims 9 to 15, **characterized in that** there are further means for preventing droplet impingement erosion.

#### Revendications

1. Procédé de réduction de l'érosion par impact de gouttes dans des turbines à vapeur en contrôlant la dimension des gouttes dans la turbine à vapeur, dans lequel il se crée par condensation dans le courant de vapeur des gouttes primaires d'eau, qui se déposent en partie sur des aubes directrices, et, en outre, sur ou derrière les aubes directrices, des gouttelettes secondaires d'eau, qui ont un volume considérablement plus grand que les gouttes primaires, comprenant les stades de procédé suivants :
- on produit, à l'entour des aubes directrices, au moins une rangée de champs électriques, les champs électriques étant produits par application de tensions électriques à des structures d'électrodes appropriées dans la turbine à vapeur,
  - dans lequel ceux-ci donnent, par des forces de dipôle électrostatiques, une réduction de la dimension des gouttes secondaires,
- caractérisé en ce que** l'on utilise des champs alternatifs comme champs électriques.
2. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la réduction de la dimension des gouttes secondaires s'effectue en détruisant des gouttes secondaires en volume, c'est-à-dire après que les gouttes se sont détachées de l'aube directrice.
3. Procédé suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** la réduction de la dimension des gouttes se-

condaires s'effectue par un détachement de gouttes sur le bord arrière des aubes directrices induit préalablement par des forces de dipôle électriques.

4. Procédé suivant la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'on choisit la fréquence ( f ) du champ alternatif électrique pour exciter des oscillations de résonance des gouttes de dimension définie.
5. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le champ alternatif électrique entraîne une fragmentation des gouttes à la fois à la surface de l'aube directrice et dans l'espace réservé à la vapeur qui est autour.
6. Procédé suivant l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'on combine la réduction de la dimension des gouttes secondaires dans des turbines à vapeur par des champs électriques avec d'autres procédés de réduction de l'érosion par impact de gouttes.
7. Turbine à vapeur ayant un dispositif auxiliaire pour effectuer le procédé suivant la revendication 1 ou l'une des revendications 2 à 6, comprenant une turbine ( 1 ) à vapeur ayant des aubes ( 3 , 3' 3'', ... ) directrices, d'une part, et des aubes ( 5, 5' 5'', ... ) mobiles consécutives, d'autre part, **caractérisée en ce que** le dispositif comporte des électrodes, qui, au moyen d'au moins une source ( 15 ) de tension, sont mises à un potentiel électrique différent, **caractérisée en ce que** l'on peut utiliser comme champs électriques des champs alternatifs, qui sont produits en utilisant des sources ( 15 ) de tension alternative ayant des tensions ( U(t) ), qui dépendent périodiquement du temps.
8. Turbine à vapeur suivant la revendication 7, **caractérisée en ce que** des électrodes sont formées par les aubes ( 3, 3' 3'', ...; 5, 5' 5'', ... ) de turbine en mettant des aubes (3, 3' 3'', ... ) mobiles et des aubes ( 5, 5' 5'', ... ) directrices à un potentiel électrique différent.
9. Turbine à vapeur suivant la revendication 8, **caractérisée en ce que** le rotor complet ayant les aubes ( 3 , 3' 3'', ... ) mobiles est monté de manière isolée au moyen d'une traversée ( 13 ) isolante du point de vue électrique et peut être mis sous haute tension par une bague ( 14 ) de friction, tandis que les aubes ( 5, 5' 5'', ... ) directrices et la carcasse ( 3 ) de la turbine sont mises à la terre.
10. Turbine à vapeur suivant la revendication 9, **caractérisée en ce que** le rotor ayant les aubes ( 3, 3' 3'', ... ) mobiles est mis à la terre, tandis que les aubes ( 5, 5' 5'', ... ) directrices sont isolées et peuvent être mises sous haute tension.

11. Turbine à vapeur suivant la revendication 10, **caractérisée en ce que** la carcasse ( 4 ) de la turbine est mise à la terre et **en ce que** divers étages des aubes ( 5, 5' 5'', ... ) directrices sont mises à des tensions différentes. 5
12. Turbine à vapeur suivant la revendication 7, **caractérisée en ce que**, pour la production de champs électriques au voisinage des aubes directrices, des électrodes ( 52 ) sont insérées dans la turbine à vapeur. 10
13. Turbine à vapeur suivant la revendication 11, **caractérisée en ce que** les électrodes ( 12 ) sont réalisées de manière à favoriser l'écoulement. 15
14. Turbine à vapeur suivant la revendication 13, **caractérisée en ce que** les électrodes ( 52 ) sont formées par les bords arrières des aubes directrices isolés électriquement du reste des aubes ( 50 ) directrices respectives. 20
15. Turbine à vapeur suivant la revendication 14, **caractérisée en ce que** la source ( 15 ) de tension a des moyens de réglage de la fréquence du champ ( f ) alternatif électrique. 25
16. Turbine à vapeur suivant l'une des revendications 9 à 15, **caractérisée en ce qu'il y a** d'autres moyens pour empêcher l'érosion par impact de gouttes. 30

35

40

45

50

55

FIG 1

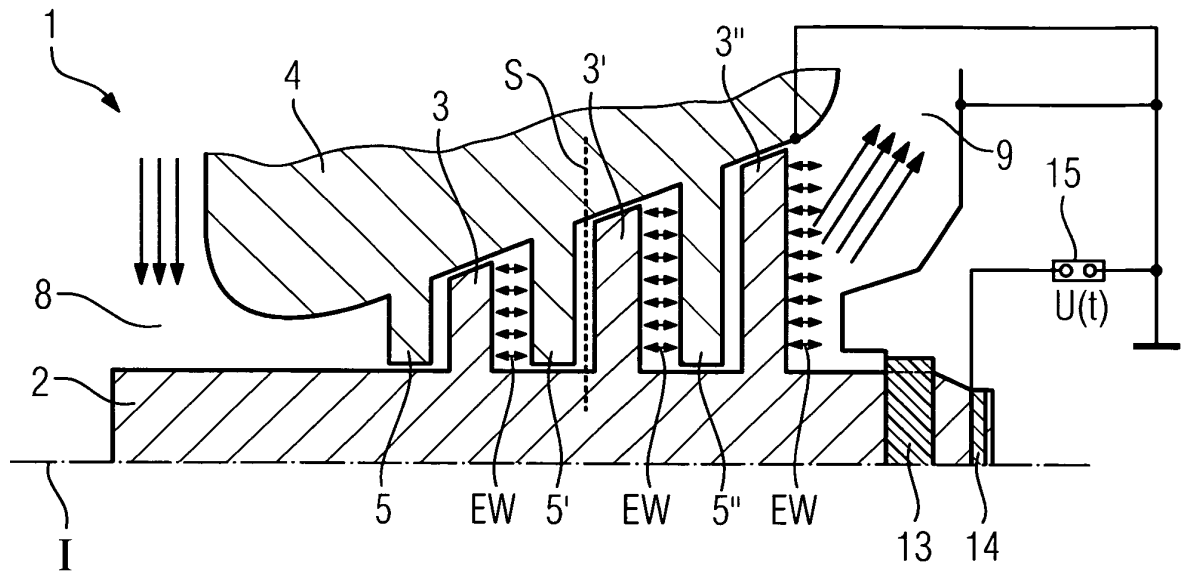


FIG 2

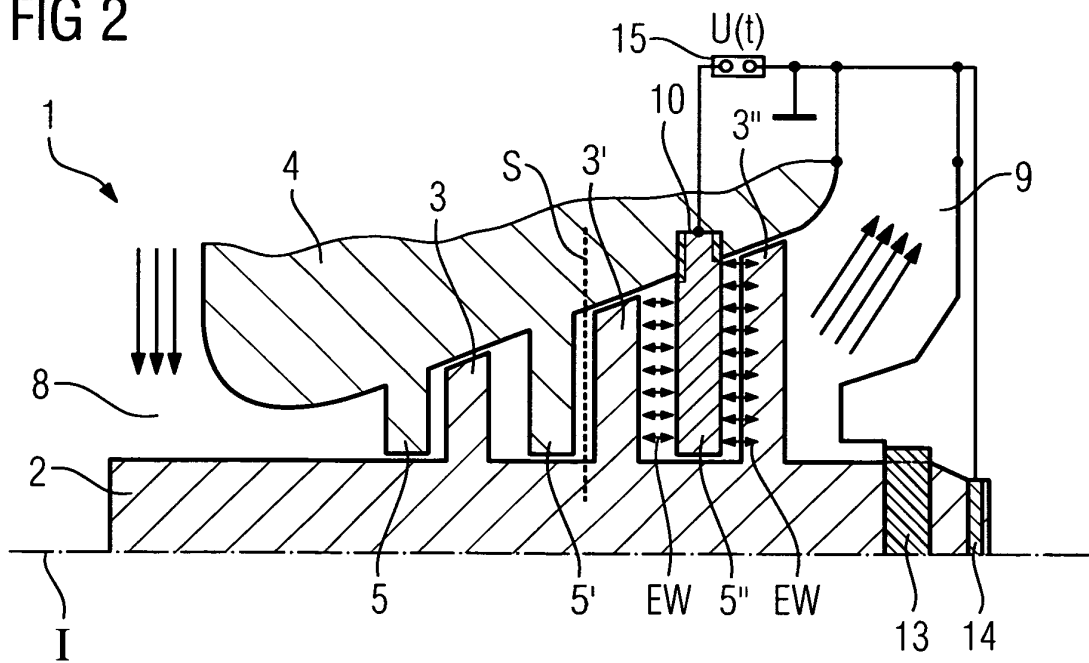


FIG 3

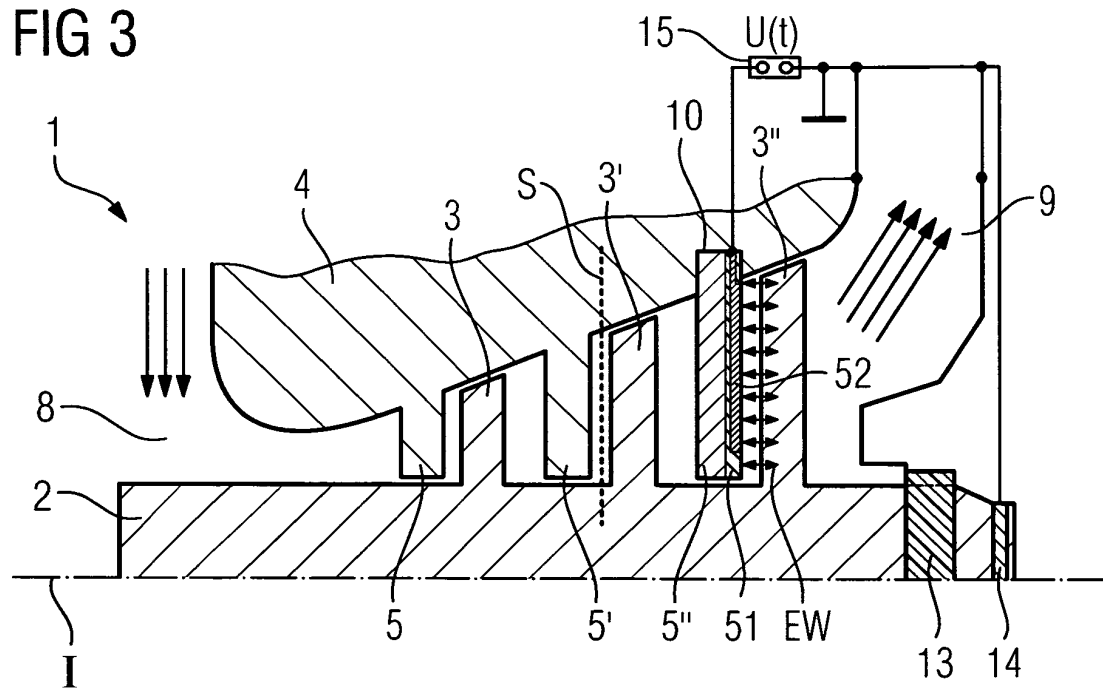
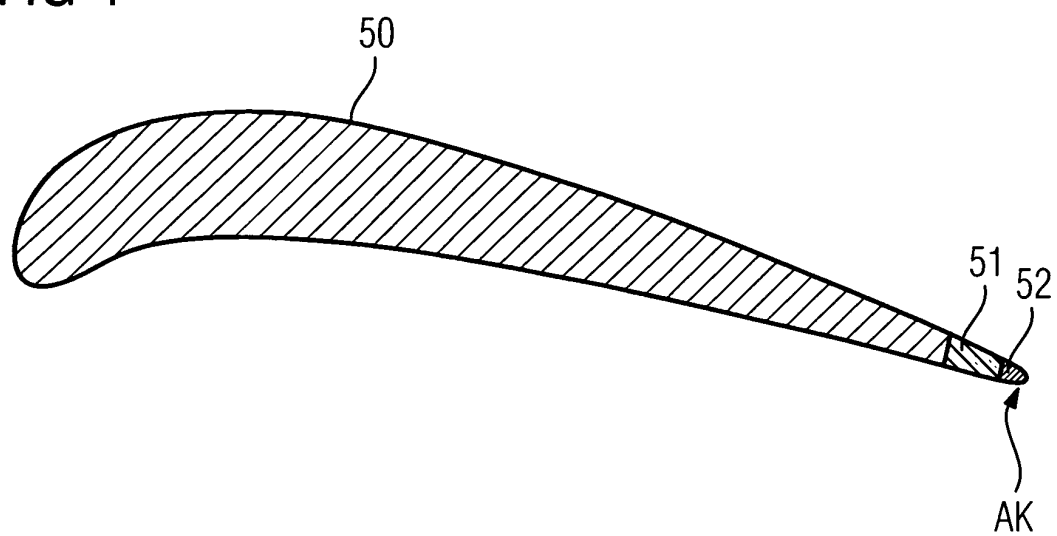


FIG 4



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 20050207880 A1 [0009]
- US 3859005 A [0009]
- US 20020174655 A1 [0009]