

(19)



(11)

EP 2 776 684 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
20.01.2016 Patentblatt 2016/03

(51) Int Cl.:
F01K 13/02 ^(2006.01) **F01D 25/12** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12788486.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/071982

(22) Anmeldetag: **07.11.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/110365 (01.08.2013 Gazette 2013/31)

(54) VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES ABKÜHLUNGSPROZESSES VON TURBINENKOMPONENTEN

METHOD FOR CONTROLLING A COOLING PROCESS OF TURBINE COMPONENTS

PROCÉDÉ DE COMMANDE D'UN PROCESSUS DE REFROIDISSEMENT DE COMPOSANTS DE TURBINE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
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

(30) Priorität: **25.01.2012 EP 12152446**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.09.2014 Patentblatt 2014/38

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

(72) Erfinder: **RIEMANN, Stefan 41564 Kaarst (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 1 630 356 EP-A1- 2 365 197
EP-A2- 1 500 792 WO-A1-94/19584
DE-A1- 2 307 887 JP-A- 6 159 008
SU-A1- 580 336 US-A- 5 388 960

EP 2 776 684 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 betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Abkühlungsprozesses von Turbinenkomponenten, insbesondere einer Dampfturbinenwelle.

[0002] Wartungsarbeiten sind bei Turbinen und insbesondere bei Dampfturbinen mit einem hohen Zeitaufwand verbunden, da die Turbinenkomponenten der Turbine bzw. der Dampfturbine zunächst herunter gekühlt werden müssen, bevor die Turbine angehalten werden kann und bevor die Wartungsarbeiten durchgeführt werden können.

[0003] Eine entsprechende Abkühlung der Turbinenkomponenten wird hierbei üblicherweise mit Hilfe eines Luftstromes beschleunigt, um die benötigte Zeit für die Wartungsarbeiten auf ein möglichst geringes Maß zu reduzieren. Zur Generierung des Luftstromes wird dabei Umgebungsluft genutzt, deren Temperatur die Kühlwirkung des Luftstromes bei einer derartigen Zwangskühlung beschränkt.

[0004] Die Dokumente DE 23 07 887 A1, EP 2 365 197 A1 und US 5,388,960 A beschreiben jeweils ein Verfahren zum Abkühlen.

[0005] Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Zwangskühlung von Turbinenkomponenten anzugeben.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Das Verfahren dient zur Steuerung eines Abkühlungsprozesses von Turbinenkomponenten, insbesondere einer Dampfturbinenwelle, wobei während einer Nebel-Kühlungsphase ein mit einem Wassernebel versetzter Luftstrom zur Kühlung der Turbinenkomponenten genutzt wird. Im Gegensatz zu Wasserdampf, der im Betrieb der Dampfturbine als Arbeitsmedium eingesetzt wird, handelt es sich bei dem Wassernebel um ein Aerosol, also ein Gemisch aus Luft und Wassertröpfchen, welches durch einen Phasenübergang des enthaltenen Wassers von der flüssigen in die gasförmige Phase Wärmeenergie in besonders hohem Maße aufnehmen und abtransportieren kann. Bei dem mit dem Wassernebel versetzten Luftstrom handelt es sich daher nicht um das Arbeitsmedium. Es wird als weiteres Medium zu Kühlzwecken durch die Turbine geführt. Auf diese Weise wird eine einfache Kühlung durch eine erzwungene Konvektion, also beispielsweise eine Luftkühlung, ergänzt durch eine zusätzliche Siede- oder Verdampfungskühlung wodurch die Effektivität der Kühlung mit relativ einfachen Mitteln signifikant erhöht wird. Eine derartige Ergänzung ist insbesondere dann von Vorteil, wenn ein Kühlsystem für eine einfache Luftkühlung bereits gegeben ist, da in diesem Fall ohne großen technischen Aufwand eine Nachrüstung erfolgen kann, wobei lediglich eine Vorrichtung zu installieren ist, mit deren Hilfe ein Wassernebel generiert und in den Luftstrom der Luftkühlung eingebracht wird. Durch die Kombination einer einfachen Luftkühlung mit einer Siedekühlung lässt sich der Abkühlungsprozess über einen im Vergleich zu einer einfachen

Luftkühlung vergrößerten Temperaturbereich derart steuern, dass ein gewünschter zeitabhängiger Temperaturgradient vorgeben wird.

[0008] Erfindungsgemäß ist der Abkühlungsprozess mehrstufig gestaltet, wobei der Nebel-Kühlungsphase eine Luft-Kühlungsphase vorausgeht, während derer lediglich ein Luftstrom ohne Wassernebel zur Kühlung der Turbinenkomponenten genutzt wird. Dementsprechend wird je nach Bedarf die Kühlung der Turbinenkomponenten entweder mit Hilfe des Luftstromes oder aber mit Hilfe des mit dem Wassernebel versetzten Luftstromes erzwungen. Somit lassen sich durch verschiedene Betriebsmodi eines Kühlsystems sehr unterschiedliche Wärmemengen pro Zeiteinheit aus der Turbine auskoppeln und abtransportieren. Erfindungsgemäß wird während der Luft-Kühlungsphase und während der Nebel-Kühlungsphase ein einheitlicher und gleichbleibender zeitlicher Temperaturgradient für den Abkühlungsprozess vorgegeben. Dabei wird insbesondere ein zeitlicher Temperaturgradient von etwa 5 - 15 K/h bevorzugt, erfindungsgemäß von etwa 10 K/h. Für einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb einer Turbine ist es zweckmäßig, den Zeitbedarf für notwendige Wartungsarbeiten möglichst gering zu halten. Dementsprechend ist es wünschenswert, die Turbinenkomponenten für eine entsprechende Wartung möglichst zügig herunterzukühlen. Eine zu intensive Zwangskühlung jedoch birgt das Risiko, dass sich beispielsweise in den Turbinenkomponenten Spannungen aufbauen, die zur Beschädigung der Turbinenkomponenten führen können. Daher wird bei der Auslegung der Turbinenkomponenten im Rahmen der Planung der Turbine ein maximaler zeitlicher Temperaturgradient festgelegt. Infolgedessen wird der Abkühlungsprozess gemäß dem hier vorgestellten Verfahren bevorzugt derart gesteuert, dass der vorgegebene maximale Temperaturgradient möglichst genau erreicht und über den gesamten Abkühlungsprozess gehalten wird. Der zuvor angeführte Wert für den Temperaturgradienten von etwa 10 K/h repräsentiert hierbei einen typischen Wert für Dampfturbinen. Ein solcher maximaler zeitlicher Temperaturgradient ist dabei in der Regel für einen begrenzten Temperaturbereich vorgegeben, weswegen bei einem Abkühlungsprozess über einen sehr großen Temperaturbereich durchaus mehrere verschiedene Werte vorgegeben sein können. In diesem Fall wird der Abkühlungsprozess derart gesteuert, dass in jedem entsprechenden Temperaturbereich der dafür vorgegebene Temperaturgradient erreicht und über den gesamten Temperaturbereich gehalten wird.

[0009] Erfindungsgemäß wird zur Vorgabe des Temperaturgradienten während der Luft-Kühlungsphase allein die Stromdichte des Luftstroms und während den Nebel-Kühlungsphase allein die Menge an dem dem Luftstrom zugesetzten Wassernebel reguliert. Hierdurch lässt sich ein geeignetes Kühlungssystem für die Turbine und insbesondere ein Steuerungssystem für das Kühlungssystem technisch besonders einfach realisieren. Zudem ist eine entsprechende Steuerung relativ unan-

fällig für Fehler, da stets lediglich eine Variable im Rahmen der Steuerung verändert wird.

[0010] Des Weiteren wird die Stromdichte des Luftstroms über die Ventilstellung eines steuerbaren Einlassventils eingestellt. Bei Dampfturbinen beispielsweise wird häufig über eine entsprechende Evakuierungseinrichtung ein Unterdruck in der Dampfturbine erzeugt, wobei ein Druckgefälle zwischen dem Turbineneinlass und dem Turbinenauslass vorgegeben wird. Somit lässt sich durch ein am Turbineneinlass positioniertes Einlassventil bei konstantem Betrieb der Evakuierungseinrichtung mit Hilfe der Umgebungsluft ein Luftstrom generieren, mit dem die Turbinenkomponenten der Dampfturbine gewühlt werden können. Über die Ventilstellung lässt sich dann die Stromdichte des Luftstromes, also die Menge an Luft pro Zeiteinheit regulieren.

[0011] Zudem wird von der Luft-Kühlungsphase in die Nebel-Kühlungsphase gewechselt, wenn die maximale Luftstromdichte erreicht ist und insbesondere, wenn das Einlassventil voll geöffnet ist. Im Falle des zuvor beschriebenen Kühlungssystems für die Dampfturbine, bei der die Evakuierungseinrichtung und das Einlassventil im Einlassbereich der Dampfturbine genutzt werden, um einen Luftstrom zur Kühlung der Turbinenkomponenten zu generieren, hängt die Effektivität der Kühlung von der Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur der Turbinenkomponenten und der Temperatur der für den Luftstrom genutzten Umgebungsluft ab. Diese Temperaturdifferenz ist zu Beginn des Abkühlungsprozesses völlig ausreichend, um den vorgegebenen maximalen Temperaturgradienten zu erreichen und über einen gewissen Temperaturbereich zu halten. Mit sinkender Temperatur der Turbinenkomponenten sinkt jedoch die Effektivität der einfachen Luftkühlung und das Einlassventil muss, um den Temperaturgradienten zu halten, immer weiter geöffnet werden, wodurch die Stromdichte des Luftstromes ansteigt. Ist der Abkühlungsprozess weiter fortgeschritten, dann ist irgendwann der Zeitpunkt erreicht, an dem das Ventil voll geöffnet und die maximale Stromdichte des Luftstromes erreicht ist. Um den gewünschten und vorgegebenden Temperaturgradienten weiterhin halten zu können, wird ab diesem Zeitpunkt Wassernebel dem Luftstrom beigemischt, wobei nachfolgend die Menge an Wassernebel zur Steuerung des Abkühlungsprozesses und insbesondere zur Vorgabe des Temperaturgradienten reguliert wird.

[0012] Bevorzugt ist eine Verfahrensvariante, bei der der Luftstrom oder der mit dem Wassernebel versetzte Luftstrom bei Bedarf in ein Leitungssystem für Dampf eingeleitet wird. Damit ist insbesondere dann ein Vorteil verbunden, wenn Dampf als Arbeitsmedium für die Turbine eingesetzt wird und ein entsprechendes Leitungssystem für den Dampf ohnehin gegeben ist, welches eine Durchleitung des Arbeitsmediums durch die Turbine gestattet. In diesem Fall lässt sich eben dieses Leitungssystem je nach Betriebsmodus entweder zur Leitung des Arbeitsmediums oder aber zur Leitung des Kühlmediums, also der Luft oder der mit dem Wassernebel ver-

setzten Luft, nutzen.

[0013] Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn der Luftstrom oder der mit dem Wassernebel versetzte Luftstrom an mehreren Positionen, insbesondere vor jeder Druckstufe der Dampfturbine, in das Leitungssystem eingeleitet wird. Auf diese Weise lässt sich eine besonders gleichmäßige Zwangskühlung aller Turbinenkomponenten unabhängig von ihrer Position innerhalb der Turbine erreichen.

[0014] Erfindungsgemäß geht bei der Nebel-Kühlungsphase eine Wärmeausgleichsphase im Abkühlungsprozess voraus, in der eine Temperaturangleichung der Turbinenkomponenten untereinander vor allem durch Wärmeleitung erfolgt. Hierdurch werden lokale Temperaturunterschiede innerhalb der Turbine reduziert, wodurch das Risiko einer Beschädigung der Turbine weiter reduziert wird.

[0015] Erfindungsgemäß, und insbesondere im Falle der Dampfturbine, ist zu Beginn des Abkühlungsprozesses eine Dampf-Kühlungsphase vorgesehen, während derer das Arbeitsmedium, also beispielsweise der Wasserdampf, zur Kühlung der Turbinenkomponenten genutzt wird.

[0016] Hierbei wird die Temperatur des Arbeitsmediums allmählich zurückgefahren, wobei typischerweise während dieser Abkühlungsphase die Turbine weiterhin in Betrieb ist, also insbesondere elektrische Energie generiert.

[0017] Erfindungsgemäß wird während der Dampf-Kühlungsphase ein gleichbleibender zeitlicher Temperaturgradient für den Abkühlungsprozess vorgegeben, der vom Temperaturgradienten während der Luft-Kühlungsphase und während der Nebel-Kühlungsphase abweicht, insbesondere größer ist.

[0018] Zudem ist es von Vorteil, wenn als Wassernebel feinstvernebeltes demineralisiertes Wasser verwendet wird. Hierdurch wird vermieden, dass sich Mineralien bei der Verdunstung der Wassertröpfchen aus dem Wassernebel an den Turbinenkomponenten absetzen.

[0019] Zweckmäßig ist schließlich eine Verfahrensvariante, bei der demineralisiertes Wasser sowohl zur Erzeugung des Wassernebels als auch als Arbeitsmedium eingesetzt wird. Da demineralisiertes Wasser mit einem gewissen technischen Aufwand hergestellt werden muss, ist der Einsatz von demineralisiertem Wasser vor allem dann von Vorteil, wenn ohnehin entsprechendes demineralisiertes Wasser als Arbeitsmedium für die Turbine vorgesehen ist und dementsprechend ohnehin zur Verfügung steht.

[0020] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand einer schematischen Zeichnung näher erläutert.

[0021] Darin zeigen:

FIG 1 in einem Diagramm einen zeitlichen Verlauf einer lokalen Temperatur in einer Dampfturbine und

FIG 2 in einer Blockschaltdarstellung eine Dampf-

turbine mit einer steuerbaren Kühleinrichtung.

[0022] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0023] Das nachfolgend beschriebene Verfahren dient zur Steuerung eines erzwungenen Abkühlungsprozesses von Turbinenkomponenten einer Dampfturbine 2, wobei die Steuerung derart erfolgt, dass wie in FIG 1 dargestellt über einen ausgedehnten Temperaturbereich ein zeitlich konstanter Temperaturgradient für den Abkühlungsprozess vorgegeben wird. Die Vorgabe des Temperaturgradienten erfolgt hierbei mit Hilfe einer Kühl-Steuerungseinheit 4, welche Sensordaten von in der Dampfturbine 2 angeordneten Temperatursensoren 6 auswertet und basierend hierauf ein Kühlungssystem ansteuert.

[0024] Der Abkühlungsprozess ist im Ausführungsbeispiel in vier aufeinander folgende Phasen P1...P4 unterteilt. In der ersten Phase P1 des Abkühlungsprozesses wird die Temperatur des Arbeitsmediums, hier Wasserdampf, herunter geregelt, wodurch die Turbinenkomponenten der Dampfturbine 2 mit einem Temperaturgradienten von etwa 30 K/h herunter gekühlt werden. Während der Dampf-Kühlungsphase P1 generiert die Dampfturbine 2 weiterhin elektrische Energie, wenngleich die generierte elektrische Energie pro Zeiteinheit stetig sinkt.

[0025] Bei einer Temperatur der Turbinenkomponenten von etwa 390°C erfolgt der Übergang von der Dampf-Kühlungsphase in eine Wärmeausgleichsphase P2. In dieser Phase des Abkühlungsprozesses wird die Kühlung der Turbinenkomponenten mittels Konvektion unterbrochen, damit eine Temperaturangleichung der Turbinenkomponenten untereinander durch Wärmeleitung erfolgen kann. Hierdurch sollen größere Temperaturdifferenzen innerhalb der Dampfturbine 2 abgebaut werden.

[0026] Nach etwa 6 Stunden wird die Wärmeausgleichsphase P2 beendet und eine Luft-Kühlungsphase P3 wird gestartet. Während dieser Luft-Kühlungsphase P3 wird ein Luftstrom generiert, welcher über die Turbinenkomponenten geleitet wird. Es wird also erneut eine Abkühlung der Turbinenkomponenten durch Kühlung mittels Konvektion erzwungen, wobei das Kühlmedium nunmehr kein Wasserdampf ist, sondern ein Luftstrom, zu dessen Generierung Umgebungsluft herangezogen wird. Dabei wird die Stromdichte des Luftstromes stetig gesteigert, um so einen Temperaturgradienten von etwa 10 K/h für den Abkühlungsprozess der Turbinenkomponenten vorzugeben. Mit der Steigerung der Stromdichte des Luftstromes wird hierbei die geringer werdende Differenz zwischen der Temperatur der Turbinenkomponenten und der Temperatur der zur Kühlung herangezogenen Umgebungsluft ausgeglichen, so dass in der Summe eine gleichmäßige Abkühlung erzwungen wird.

[0027] Ist die mit der Kühleinrichtung erreichbare maximale Luftstromdichte erreicht, so genügt eine einfache Kühlung mittels Luftstrom nicht mehr aus, um den gewünschten Temperaturgradienten für den Abkühlungs-

prozess weiter aufrecht zu erhalten. Dies ist je nach Temperatur der Umgebungsluft typischerweise bei einer Temperatur der Turbinenkomponenten von etwa 200°C der Fall. Ab diesem Zeitpunkt startet die vierte und letzte Phase des Abkühlungsprozesses, welche nachfolgend als Nebel-Kühlungsphase P4 bezeichnet wird. Während dieser Nebel-Kühlungsphase P4 wird dem Luftstrom, für den weiterhin die maximal mögliche Stromdichte aufrechterhalten wird, zusätzlich feinstvernebeltes demineralisiertes Wasser zugesetzt. Hierdurch wird die Kühlung durch Konvektion ergänzt durch eine Verdampfungskühlung, was die Aufrechterhaltung des gewünschten Temperaturgradienten für den Abkühlungsprozess erlaubt. Zur Regulierung des Temperaturgradienten wird dabei die Menge an demineralisiertem Wasser, welches als feinstvernebeltes Wasser dem Luftstrom zugesetzt wird, reguliert.

[0028] Bei einer Temperatur der Turbinenkomponenten zwischen 100°C und 150°C endet schließlich der gesteuerte Abkühlungsprozess und es folgt typischerweise die Öffnung der Dampfturbine 2 und insbesondere die Öffnung eines in der Regel vorgesehenen Gehäuses. Nachfolgend können die anstehenden Wartungsarbeiten, derentwegen eine Stilllegung und eine Abkühlung der Dampfturbine 2 typischerweise erfolgt, vorgenommen werden.

[0029] Neben der in FIG 1 dargestellten durchgezogenen Kurve, die den Temperaturverlauf der Turbinenkomponenten bei einer Zwangskühlung gemäß dem hier vorgestellten Verfahren wiedergibt, ist zusätzlich ein davon abweichender Temperaturverlauf gestrichelt eingezeichnet. Dieser abweichende Temperaturverlauf der Turbinenkomponenten ist charakteristisch für einen Abkühlungsprozess, bei dem die Kühlung ausschließlich mit Hilfe eines Luftstromes erzwungen wird ohne zusätzlich einen Wassernebel in den Luftstrom einzubringen. Bei diesem Temperaturverlauf ist der Temperaturbereich von 100°C bis 150°C, in dem typischerweise mit den Wartungsarbeiten begonnen wird, sehr viel später erreicht. Dementsprechend werden die Betriebsausfallzeiten der Dampfturbine 2 bei Wartungsarbeiten durch Anwendung des hier vorgestellten Verfahrens wesentlich verkürzt, was eine wirtschaftlichere Nutzung der Dampfturbine 2 erlaubt.

[0030] Eine mögliche Ausgestaltung einer Anlage, in welcher die Dampfturbine 2 und eine Kühleinrichtung zur Umsetzung des hier vorgestellten Verfahrens eingesetzt werden, ist in FIG 2 schematisch abgebildet. Exemplarisch umfasst dabei die Anlage die Dampfturbine 2 mit einer Hochdruckstufe 8, mit einer Mitteldruckstufe 10 sowie mit einer Niederdruckstufe 12, eine zwischen der Hochdruckstufe 8 und der Mitteldruckstufe 10 zwischen-geschaltete Überhitzereinheit 14, einen Dampferzeuger 16, einen Kondensator 18 und ein Leitungssystem 20 für das Arbeitsmedium, hier demineralisiertes Wasser und entsprechender Wasserdampf.

[0031] Teil der Anlage ist weiter ein Reservoir 22, mit dessen Hilfe ein Verlust an demineralisiertem Wasser,

sofern notwendig, ausgeglichen werden kann.

[0032] Um bei Bedarf eine Abkühlung insbesondere der Druckstufen 8 und 10 gemäß dem hier vorgestellten Verfahren erzwingen zu können und um bei einem entsprechend erzwungenen Abkühlungsprozess die Abkühlung steuern zu können, weist die Anlage die Kühl-Steuerungseinheit 4 auf, welche bevorzugt Teil einer zentralen Steuerungseinheit der Anlage ist.

[0033] Wird nun ein Abkühlungsprozess beispielsweise durch einen Bediener initiiert, so steuert die Kühl-Steuerungseinheit 4 zunächst den Dampferzeuger 16 und die Überhitzereinheit 14 an, so dass die Temperatur des verdampften demineralisierten Wassers, welches durch die Druckstufen 8, 10, 12 geleitet wird, allmählich absinkt. Auf diese Weise wird die Dampf-Kühlungsphase P1 umgesetzt.

[0034] Beim Übergang zur Wärmeausgleichsphase P2 werden zwei Sperrventile 24 und zwei Regelventile 26, von jedem eines in einer Zuleitung des Leitungssystems 20 zur Hochdruckstufe 8 und von jedem eines in einer Zuleitung des Leitungssystems 20 zur Mitteldruckstufe 10, geschlossen, wodurch in der Folge eine Kühlung durch Konvektion unterbunden wird. Stattdessen findet ein Temperatúrausgleich durch Wärmeleitung innerhalb der Druckstufen 8, 10, 12 statt. Währenddessen werden die beiden Zuleitungen jeweils über einen Flansch F zur Umgebung hin geöffnet.

[0035] Zu Beginn der sich daran anschließenden Luft-Kühlungsphase P3 werden die Regelventile 26 nach und nach geöffnet, so dass Umgebungsluft jeweils über eine Öffnung 28 in die Zuleitungen des Leitungssystems 20 hin zu den Druckstufen 8, 10, 12 einströmen kann. Gleichzeitig ist im Kondensator 18 mittels einer entsprechenden, jedoch nicht explizit dargestellten, Evakuierungsvorrichtung ein Unterdruck vorgegeben, so dass hierdurch Umgebungsluft an den Öffnungen 28 einströmt und durch die Druckstufen 8, 10, 12 hindurch strömt. Dabei wird über die Ventilstellung der Regelventile 26 die Stromdichte des Luftstroms durch die jeweilige Druckstufe 8, 10, 12 eingestellt.

[0036] Zum Start der Nebel-Kühlungsphase P4 wird zusätzlich demineralisiertes Wasser aus dem Reservoir 22 mit Hilfe von Sprühvorrichtungen 30 in den zur Kühlung genutzten Luftstrom eingemischt, so dass in der Folge ein mit feinstvernebeltem demineralisiertem Wasser versetzter Luftstrom durch die Druckstufen 8, 10, 12 zur Kühlung selbiger geleitet wird. In der Folge wird die Stromdichte des Luftstromes konstant gehalten und lediglich die Menge an demineralisiertem Wasser welches dem Luftstrom zugesetzt wird, variiert bis die Druckstufen 8, 10, 12 auf die gewünschte Temperatur heruntergekühlt sind.

[0037] Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr können auch andere Varianten der Erfindung von dem Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Gegenstand der Erfindung zu verlassen. Insbesondere sind ferner alle im Zusammenhang mit dem Ausführungsbeispiel

beschriebenen Einzelmerkmale auch auf andere Weise miteinander kombinierbar, ohne den Gegenstand der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Abkühlungsprozesses von Turbinenkomponenten (8, 10, 12), insbesondere einer Dampfturbinenwelle, wobei während einer Nebel-Kühlungsphase (P4) ein mit einem Wassernebel versetzter Luftstrom zur Kühlung der Turbinenkomponenten (8, 10, 12) genutzt wird, wobei der Nebel-Kühlungsphase (P4) eine Luft-Kühlungsphase (P3) vorausgeht, während derer ein Luftstrom zur Kühlung der Turbinenkomponenten (8, 10, 12) genutzt wird, wobei während der Luft-Kühlungsphase (P3) und während der Nebel-Kühlungsphase (P4) ein gleichbleibender zeitlicher Temperaturgradient für den Abkühlungsprozess vorgegeben wird, wobei ein zeitlicher Temperaturgradient von etwa 10 K/h vorgegeben wird, wobei zur Vorgabe des Temperaturgradienten während der Luft-Kühlungsphase (P3) die Luftstromdichte und während der Nebel-Kühlungsphase (P4) die Menge an dem dem Luftstrom zugesetzten Wassernebel reguliert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Luftstromdichte über die Ventilstellung eines steuerbaren Regelventils (26) eingestellt wird, wobei von der Luft-Kühlungsphase (P3) in die Nebel-Kühlungsphase (P4) gewechselt wird, wenn die maximale Luftstromdichte erreicht ist und insbesondere, wenn das Regelventil (26) voll geöffnet ist, wobei der Luft-Kühlungsphase (P3) eine Wärmeausgleichsphase (P2) im Abkühlungsprozess vorausgeht, in der eine Temperaturangleichung der Turbinenkomponenten (8, 10, 12) untereinander durch Wärmeleitung erfolgt, wobei zu Beginn des Abkühlungsprozesses eine Dampf-Kühlungsphase (P1), vorgegangen ist, während derer Wasserdampf zur Kühlung der Turbinenkomponenten (8, 10, 12) genutzt wird, wobei beim Übergang von der Dampf-Kühlungsphase (P1) in die Wärmeausgleichsphase (P2) die Wasserdampfzuleitung und die Kühlung der Turbinenkomponenten (8, 10, 12) mittels Konvektion unterbrochen wird, wobei während der Dampf-Kühlungsphase (P1) ein gleichbleibender zeitlicher Temperaturgradient für den Abkühlungsprozess vorgegeben wird, der vom Temperaturgradienten während der Luft-Kühlungsphase (P3) und während der Nebel-Kühlungsphase (P4) abweicht, insbesondere größer ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Luftstrom oder der mit dem Wassernebel

versetzte Luftstrom bei Bedarf in ein Leitungssystem (20) für Dampf eingeleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Luftstrom oder der mit dem Wassernebel versetzte Luftstrom an mehreren Positionen, insbesondere vor jeder Druckstufe (8, 10, 12) einer Dampfturbine (2), in das Leitungssystem (20) eingeleitet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei als Wassernebel vernebeltes demineralisiertes Wasser genutzt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Turbinenkomponenten (8, 10, 12) Druckstufen einer Dampfturbine (2) sind und demineralisiertes Wasser sowohl zur Erzeugung des Wassernebels als auch als Arbeitsmedium eingesetzt wird.

Claims

1. Method for controlling a cooling process of turbine components (8, 10, 12), in particular of a steam turbine shaft, wherein, during a mist cooling phase (P4), an air stream with added water mist is used to cool the turbine components (8, 10, 12), wherein the mist cooling phase (P4) is preceded by an air cooling phase (P3) during which an air stream is used to cool the turbine components (8, 10, 12), wherein, during the air cooling phase (P3) and during the mist cooling phase (P4), a constant temperature gradient over time is specified for the cooling process, wherein a temperature gradient over time of about 10 K/h is specified, wherein, in order to specify the temperature gradient, the air stream density is regulated during the air cooling phase (P3) and the quantity of water mist added to the air stream is regulated during the mist cooling phase (P4), **characterized in that** the air stream density is set via the valve position of a controllable regulating valve (26), wherein a switch is made from the air cooling phase (P3) into the mist cooling phase (P4) when the maximum air stream density has been reached and in particular when the regulating valve (26) is fully open, wherein the air cooling phase (P3) is preceded in the cooling process by a heat compensation phase (P2) in which temperature equalization of the turbine components (8, 10, 12) with one another takes place by heat conduction, wherein, at the start of the cooling process, provision is made of a steam cooling phase (P1) during which steam is used to cool the turbine components (8, 10, 12), wherein, at the transition of the steam cooling phase (P1) into the heat compen-

sation phase (P2), the supply of steam and the cooling of the turbine components (8, 10, 12) by means of convection are interrupted, wherein, during the steam cooling phase (P1), a constant temperature gradient over time is specified for the cooling process, said temperature gradient differing from, in particular being greater than, the temperature gradient during the air cooling phase (P3) and during the mist cooling phase (P4).

2. Method according to Claim 1, wherein the air stream or the air stream with the added water mist is introduced as required into a line system (20) for steam.
3. Method according to Claim 2, wherein the air stream or the air stream with the added water mist is introduced into the line system (20) at a plurality of positions, in particular upstream of every pressure stage (8, 10, 12) of a steam turbine (2).
4. Method according to one of Claims 1 to 3, wherein atomized demineralized water is used as water mist.
5. Method according to Claim 4, wherein the turbine components (8, 10, 12) are pressure stages of a steam turbine (2) and demineralized water is used both to produce the water mist and also as a working medium.

Revendications

1. Procédé de commande d'un processus de refroidissement d'éléments (8, 10, 12) de turbine, notamment d'un arbre de turbine à vapeur, dans lequel, pendant une phase (P4) de refroidissement par brumisation, on utilise pour le refroidissement des éléments (8, 10, 12) de la turbine un courant d'air mélangé à un brouillard d'eau, la phase (P4) de refroidissement par brumisation précédant une phase (P3) de refroidissement par de l'air, pendant laquelle on utilise un courant d'air pour refroidir les éléments (8, 10, 12) de la turbine, dans lequel, pendant la phase (P3) de refroidissement par de l'air et pendant la phase (P4) de refroidissement par brumisation, on prescrit pour le processus de refroidissement un gradient de température invariable en fonction du temps, dans lequel on prescrit un gradient de température en fonction du temps d'environ 10 K/h, dans lequel, pour la prescription du gradient de température pendant la phase (P3) de refroidissement par de l'air, on régule la densité de courant d'air et pendant la phase (P4) de refroidissement par bru-

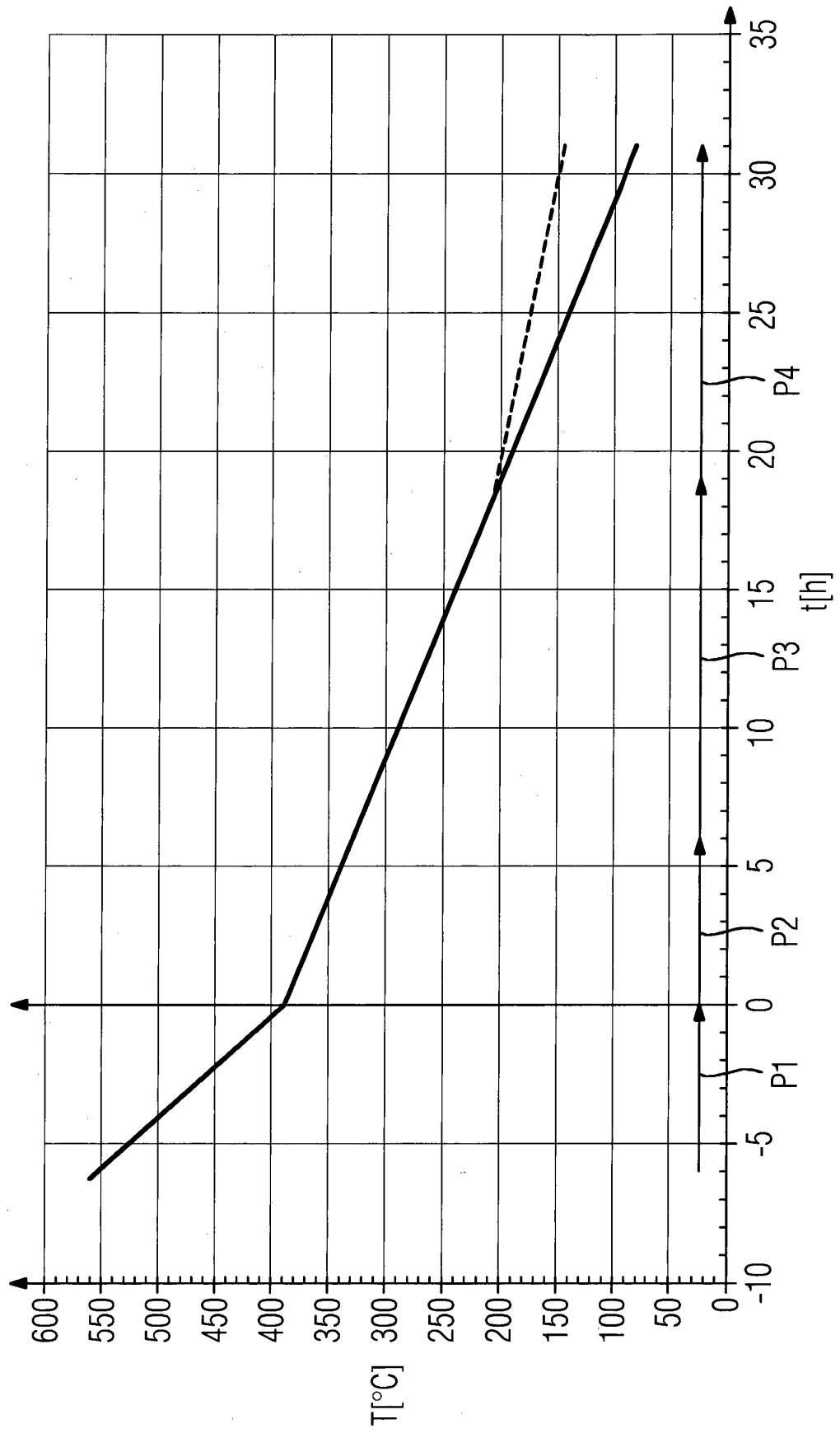
misation, la quantité de brouillard d'eau mélangée au courant d'air,

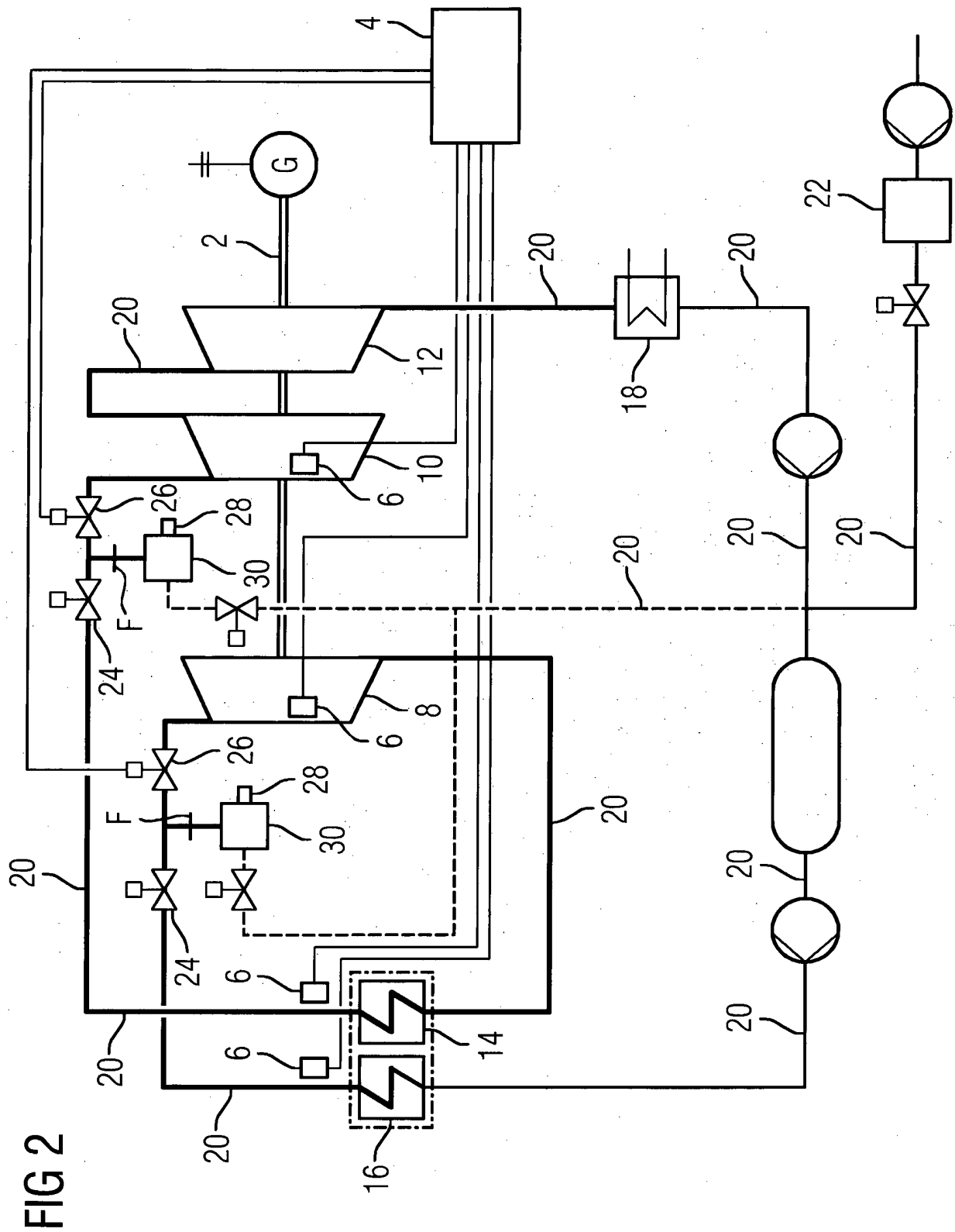
caractérisé en ce que

on règle la densité de courant d'air par la position d'un robinet (26) de réglage qui peut être commandé, dans lequel on passe de la phase (P3) de refroidissement par de l'air à la phase (P4) de refroidissement par brumisation si la densité de courant d'air maximum est atteinte et notamment lorsque le robinet (26) de réglage est ouvert complètement, dans lequel une phase (P2) de compensation de la chaleur précède la phase (P3) de refroidissement par de l'air dans le processus de refroidissement, phase dans laquelle il s'effectue une égalisation de température des éléments (8, 10, 12) de la turbine entre eux par conduction de chaleur, dans lequel il est prévu au début du processus de refroidissement une phase (P1) de refroidissement par de la vapeur, pendant laquelle on utilise de la vapeur d'eau pour refroidir les éléments (8, 10, 12) de la turbine, dans lequel, lors du passage de la phase (P1) de refroidissement par de la vapeur à la phase (P2) de compensation de la chaleur, l'apport de vapeur d'eau et le refroidissement des éléments (8, 10, 12) de la turbine au moyen d'une convection sont interrompus, dans lequel, pendant la phase (P1) de refroidissement par de la vapeur, on prescrit pour le processus de refroidissement un gradient de température invariable en fonction du temps, qui s'écarte du gradient de température pendant la phase (P3) de refroidissement par de l'air et pendant la phase (P4) de refroidissement par brumisation, en étant notamment plus grand.

2. Procédé suivant la revendication 1, dans lequel on envoie le courant d'air ou le courant d'air mélangé au brouillard d'eau en cas de besoin dans un système (20) de conduite pour de la vapeur.
3. Procédé suivant la revendication 2, dans lequel le courant d'air ou le courant d'air mélangé au brouillard d'eau est injecté dans le système (20) de conduite en plusieurs positions, notamment avant chaque étage (8, 10, 12) sous pression d'une turbine (2) à vapeur.
4. Procédé suivant la revendication 1 à 3, dans lequel on utilise comme brouillard d'eau de l'eau déminéralisée nébulisée.
5. Procédé suivant la revendication 4, dans lequel les éléments (8, 10, 12) de turbine sont des étages sous pression d'une turbine (2) à vapeur et on utilise de l'eau déminéralisée à la fois pour produire le brouillard d'eau et comme fluide de travail.

FIG 1





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

- DE 2307887 A1 [0004]
- EP 2365197 A1 [0004]
- US 5388960 A [0004]