

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. August 2015 (27.08.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/124332 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F01K 23/10 (2006.01) *F01K 23/16* (2006.01)
F01D 13/00 (2006.01) *F16D 1/00* (2006.01)
F01D 15/10 (2006.01) *F02C 6/18* (2006.01)
F01D 19/00 (2006.01) *F16D 48/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/050626

(22) Internationales Anmeldedatum:
15. Januar 2015 (15.01.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
14155892.4 20. Februar 2014 (20.02.2014) EP

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: BENNAUER, Martin; Steinmannswiese 76, 46242 Bottrop (DE). DÄNNER, Mirko; Hildegardstr. 3, 42549 Velbert (DE). MÜLLER, Patrick; Leipziger Straße 22, 91058 Erlangen (DE). PIEPER, Daniel; Justinenweg

15, 45529 Hattingen (DE). ZIMMER, Gerta; Steiler Weg 12, 45468 Mülheim an der Ruhr (DE).

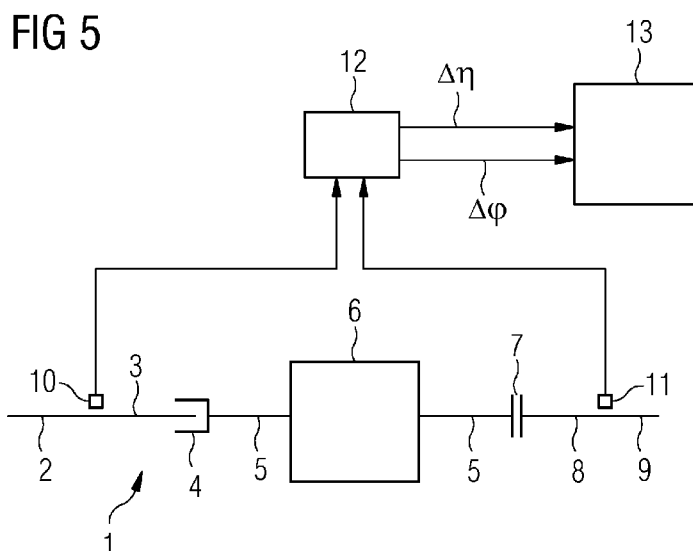
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR COUPLING A STEAM TURBINE AND A GAS TURBINE AT A DESIRED DIFFERENTIAL ANGLE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM KUPPELN EINER DAMPFTURBINE UND EINER GASTURBINE MIT EINEM GEWÜNSCHTEN DIFFERENZWINKEL



(57) Abstract: The invention relates to a method for coupling a rotational device, particularly a steam turbine, and a shaft device, particularly a gas turbine, said method comprising the following steps: accelerating the rotational device up to an output rotational speed that is below the rotational speed of the shaft device; detecting a differential angle between the shaft device and the rotational device; and accelerating the rotational device with an acceleration value that is derived from the target rotational speed difference, which is formed as a function of the detected differential angle, the acceleration and a desired target coupling angle. The invention also relates to an associated arrangement.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/124332 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kuppeln einer Dreheinrichtung, insbesondere einer Dampfturbine, und einer Welleneinrichtung, insbesondere einer Gasturbine, mit folgenden Schritten: - Beschleunigung der Dreheinrichtung bis zu einer Ausgangsdrehzahl, die unterhalb der Drehzahl der Welleneinrichtung liegt; - Erfassen eines Differenzwinkels zwischen Welleneinrichtung und Dreheinrichtung; - Beschleunigung der Dreheinrichtung mit einem Beschleunigungswert, der aus der Soll-drehzahldifferenz abgeleitet wird, die in Abhängigkeit von dem erfassten Differenzwinkel, der Beschleunigung und von einem gewünschten Zielkuppelwinkel gebildet wird. Die Erfindung betrifft ferner eine zugehörige Anordnung.

Beschreibung

Verfahren zum Kuppeln einer Dampfturbine und einer Gasturbine mit einem gewünschten Differenzwinkel

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kuppeln einer Dreheinrichtung, insbesondere eine Dampfturbine, und einer Welleneinrichtung, insbesondere einer Gasturbine.

10

In kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken wird zunächst durch die Verbrennung von Gas die Gasturbine angetrieben. Mit der Abwärme der Gasturbine wird Dampf für eine Dampfturbine erzeugt. Beim Anfahren des Gas- und Dampfkraftwerks wird daher zuerst die Gasturbine betrieben. Die Dampfturbine kann erst zugeschaltet werden, wenn genügend Dampf bereitgestellt wird. Bei Einwellenanlagen sind Gasturbine und Generator fest auf einer Welle verbunden. Die Dampfturbine ist in der gleichen Achse angeordnet und kann über eine Kupplung angeschlossen werden. Es ist daher ein Kuppeln von Dampfturbine und Gasturbine erforderlich.

20

Der Kuppelwinkel ergab sich in der Praxis dabei zufällig. Aus der EP 1 911 939 A1 ist es bekannt, den Kuppelwinkel gezielt auszuwählen. Damit ist es möglich einen Kuppelwinkel zu wählen, bei dem die Schwingungsbelastung minimiert wird. Grob gesprochen ist es damit möglich, Unwuchten der beiden Turbinen in gewissem Umfang auszugleichen. Gerade im Vergleich zu einer Kupplung, bei der beide Turbinen so gekuppelt sind, dass sich Unwuchten addieren, kann damit eine Reduktion der Schwingungsbelastung erzielt werden. Trotz dieses Vorteils wird dieses Verfahren nicht eingesetzt.

25

30

Aufgabe der Erfindung ist es ein verbessertes Verfahren zum Kuppeln mit einem gewünschten Kuppelwinkel bereitzustellen. Ebenso soll eine entsprechende Anordnung entwickelt werden.

35

Wenngleich sich die nachfolgend dargestellte Erfindung grundsätzlich zum Kuppeln von verschiedensten Dreheinrichtungen mit verschiedensten Welleneinrichtungen eignet, wird im Interesse einer anschaulichen Darstellung stets eine Dampfturbine als Beispiel für eine Dreheinrichtung und eine Gasturbine als
5 Beispiel für eine Welleneinrichtung gewählt. Dabei handelt es sich um die aus derzeitiger Sicht wichtigste Anwendung der Erfindung. Weitere Anwendungen sind aber ausdrücklich denkbar.

10

Es wurde erkannt, dass ein Verfahren zum Kuppeln einer Dampfturbine und einer Gasturbine mit folgenden Schritten anzugeben ist. Zunächst ist die Dampfturbine bis zu einer Ausgangsdrehzahl, die unterhalb der Drehzahl der Gasturbine liegt, zu
15 beschleunigen. Hierzu kann wie üblich vorgegangen werden und bei ausreichender Dampfmenge die Dampfturbine angefahren werden. Dabei gilt es einen Differenzwinkel zwischen Gasturbine und Dampfturbine zu erfassen. Bei Erreichen der Ausgangsdrehzahl wird die Beschleunigung der Dampfturbine mit einem Beschleunigungswert der in Abhängigkeit von Drehzahldifferenz und Differenzwinkel gewählt wird, fortgesetzt. Sobald die
20 Drehzahldifferenz zwischen Dampfturbine und Gasturbine auf den Wert Null abgefallen ist, wird die Dampfturbine eingekuppelt, wobei die Dampfturbine gleichzeitig weiter beschleunigt wird. Bei Beginn des Einkuppelvorgangs ist die Drehzahl der Dampfturbine also gleich der Drehzahl der Gasturbine. Die Dampfturbine wird gegenüber der Gasturbine beschleunigt, so dass die Dampfturbinendrehzahl kurzzeitig über die Drehzahl der Gasturbine ansteigt.

30

In Abhängigkeit von einem vorgegebenen Zielwinkel und der Dampfturbinenbeschleunigung bis zur Ausgangsdrehzahl wird der tatsächlich zu wählende Dampfturbinendrehzahlsollwert in Abhängigkeit von Winkeldifferenz und Drehzahldifferenz gesetzt.
35 Es wird dabei die Erkenntnis genutzt, dass es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Differenzwinkel bei der Ausgangsdrehzahl, dem Beschleunigungswert, mit dem die Dampfturbine von der Ausgangsdrehzahl zu einer Solldrehzahl relativ

zur Gasturbine beschleunigt wird und dem sich ergebenden Kuppelwinkel, vorliegend dem Zielkuppelwinkel gibt. Die Differenz zwischen der Solldrehzahl und der Drehzahl der Gasturbine wird als Solldrehzahldifferenz bezeichnet. Die Solldrehzahl der Dampfturbine ist zeitvariabel und wird in Abhängigkeit von Drehzahldifferenz und Winkeldifferenz gebildet. Während des Einkuppelns steigt die Drehzahl der Dampfturbinendrehzahl geringfügig über die Drehzahl der Gasturbine an. Nach Beendigung des Einkuppelns sind die Drehzahlen von Gasturbine und Dampfturbine naturgemäß gleich.

Erfindungsgemäß wird die Drehzahl der Dreheinrichtung mit einem Drehzahl-Sollwert geändert, wobei eine Soll-Drehzahldifferenz von dem Differenzwinkel abhängt und der Drehzahl-Sollwert aus der Abhängigkeit zwischen der Soll-Drehzahldifferenz und dem Differenzwinkel ermittelt wird, wobei bei der Ermittlung des Drehzahl-Sollwerts zusätzlich die ermittelte Drehzahl-Differenz berücksichtigt wird.

Die Welleneinrichtung und die Dreheinrichtung sind um einen Differenzwinkel gegeneinander verdreht, wobei nach dem Kuppeln ein optimaler Differenzwinkel $\Delta\varphi$ von $\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{opt}}$ erzielt wird. Bei $\Delta\varphi_{\text{opt}}$ sind die Welleneinrichtung und die Dreheinrichtung derart zueinander angeordnet, dass die rotodynamischen Eigenschaften wie Schwingungen usw. optimiert sind.

Der Differenzwinkel bei der Ausgangsdrehzahl, kurz Start-Differenzwinkel, ergibt sich zufällig und wird mit einer Differenzwinkelmessung ermittelt. Rechnerisch wird dabei der Start-Differenzwinkel aus einem 360° umfassenden Bereich um einen sogenannten nominalen Start-Differenzwinkel gewählt. Bei dem nominalen Start-Differenzwinkel handelt es sich um den Winkel, den die Gasturbine bei unveränderter Beibehaltung der Dampfturbinenbeschleunigung unter Berücksichtigung des Zielwinkels bis zum Einkuppeln der Dampfturbine vorauslaufen würde. Dies soll an einem Beispiel dargestellt werden: Die Start-Differenzdrehzahl sei -1Hz , die bisherige

Dampfturbinenbeschleunigung sei 0,05 Hz/s, der Zielwert 0° , dann ist der nominale Start-Differenzwinkel 3600° .

Das Ziel des Verfahrens ist es, nach dem Kuppeln einen optimalen Differenzwinkel zu erzielen, bei dem die Dreheinrichtung und Welleneinrichtung optimal gegenseitig ausgerichtet sind.

Der Zielkuppelwinkel wird normalerweise so gewählt, dass eine Minimierung einer Schwingungsbelastung der gekuppelten Gasturbine und Dampfturbine erreicht wird. Der bevorzugt anzusteuernde Zielkuppelwinkel kann dabei durch Messungen der Schwingungsbelastung und durch rechnerische Betrachtungen ermittelt werden. Im Regelfall wird eine Kombination aus beidem zum Tragen kommen.

Die Änderung der Drehzahl der Welleneinrichtung erfolgt durch Beschleunigung der Dreheinrichtung.

Bei der Wahl der Ausgangs-Drehzahldifferenz und der Wahl des Beschleunigungswerts bestehen, wenn auch eingeschränkte, Freiheitsgrade. Bei der Wahl des Beschleunigungswerts ist zu berücksichtigen, dass genügend Dampf zur Verfügung steht und keine Instabilitäten oder dergleichen auftreten.

Als günstig hat sich erwiesen, wenn die Ausgangs-Drehzahldifferenz etwa 0,5 Hz bis etwa 1 Hz beträgt, wobei die Drehzahl der Dampfturbine kleiner ist als die Drehzahl der Gasturbine.

Ein wesentlicher Vorteil des vorliegenden Verfahrens gegenüber dem in der EP 1 911 939 A1 angewandten Verfahren ist, dass keine Unterbrechung des Beschleunigungsvorgangs bei einer Haltedrehzahl erforderlich ist. Damit kann zügig eingekuppelt werden und zugleich ein gewünschter Zielkuppelwinkel erreicht werden.

Zu beachten ist auch, dass während der Beschleunigung der Dampfturbine von der Ausgangsdrehzahl bis zu der Drehzahl,

bei der die Geschwindigkeit der Dampfturbine die der Gasturbine erreicht hat, die Gasturbine der Dampfturbine um mehrere volle Umdrehungen in Bezug auf den Zielwinkel vorausseilt. Hinsichtlich der Änderung des Differenzwinkels ist die Zahl
5 der vollen Umdrehungen, welche die Gasturbine vorausseilt, ersichtlich irrelevant. Eine Veränderung der Anzahl dieser vollen Umdrehungen gibt einen weiteren Freiheitsgrad, so dass zum Erreichen des gewünschten Zielkuppelwinkels bei gegebener Beschleunigung verschiedene Ausgangs-Drehzahldifferenzen möglich
10 sind, beziehungsweise bei gegebener Ausgangs-Drehzahldifferenz verschiedene Beschleunigungswerte in Frage kommen.

In einer Ausführungsform wird die gewünschte Ausgangs-Drehzahldifferenz aus einem Drehzahldifferenzbereich gewählt, so
15 dass bei der Festsetzung des gewünschten Beschleunigungswerts aus der Solldrehzahldifferenz der Wert gewählt wird, mit dem die Beschleunigung der Dampfturbine zur Ausgangsdrehzahl erfolgt ist. Damit kann erreicht werden, dass der Beschleunigungswert zum Erreichen des Zielwinkels möglichst wenig oder
20 gar im Idealfall nicht verändert werden muss.

In einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Ausgangsdrehzahl etwa 1 Hz unterhalb der Drehzahl der Gasturbine liegt, etwa 0,5 Hz bis etwa 1,5 Hz oder etwa 0,5 Hz bis etwa
25 1,1 Hz. Diese Werte haben sich als geeignet erwiesen.

In einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Beschleunigungswert etwa 0,025 Hz/s bis etwa 0,075 Hz/s, bevorzugt etwa 0,05 Hz/s beträgt.
30

Es ist im Normalfall zu beachten, dass beim Einkuppeln der Differenzwinkel um einen Kupplungsverdrehwinkel verändert wird. Dies liegt daran, dass die Dampfturbine zunächst im Regelfall auf die Solldrehzahl, also eine Drehzahl leicht
35 oberhalb der Drehzahl der Gasturbine, beschleunigt wird. Durch das diesem Überholvorgang folgende Eindrehen in eine Kupplungshülse kann ein Rückdrehen um den Kupplungsverdrehwinkel erfolgen. Durch Berücksichtigung des Kupplungsver-

drehwinkels kann letztlich die Schwingungsbelastung weiter optimiert werden.

Die Erfindung betrifft auch eine entsprechende Anordnung mit
5 einer Gasturbine und einer Dampfturbine, mit einer Kupplung
zum Kuppeln von Gasturbine und Dampfturbine. Diese Anordnung
weist eine Einrichtung zum Erfassen des Differenzwinkels zwi-
schen Gasturbine und Dampfturbine auf. Ferner ist eine Ein-
richtung zum Beschleunigen der Dampfturbine mit einem Be-
10 schleunigungswert vorhanden. Darüber hinaus sind Mittel ange-
ordnet, die ermöglichen in Abhängigkeit des erfassten Diffe-
renzwinkels durch Bestimmung eines Beschleunigungswerts, mit
dem die Dampfturbine beschleunigt wird, und einer Solldreh-
zahldifferenz zwischen Gasturbine und Dampfturbine, bei der
15 ein Einkuppelvorgang beginnt, einen gewünschten Zielkuppel-
winkel zwischen Gasturbine und Dampfturbine zu erreichen.

Diese Anordnung eignet sich zum Ausführen des oben geschil-
derten Verfahrens. Durch Ausgestaltungen der Anordnung können
20 die verschiedenen Ausführungsformen des Verfahrens verwirk-
licht werden.

Es ist dabei darzustellen, dass es allenfalls geringfügiger
konstruktiver Änderungen einer bekannten Gasturbinenanlage,
25 die einen Abhitzedampferzeuger, der Dampf zum Antreiben einer
Dampfturbine bereitstellt, bedarf. So sind stets Mittel zum
Beschleunigen der Dampfturbine vorhanden. Konkret handelt es
sich dabei unter anderem um Ventile, welche den Dampf zur
Dampfturbine führen sollen, sowie die zugehörige Ansteuerung
30 der Ventile. Es ist auch üblich die Phasenlage von Turbinen
zu bestimmen. Entsprechende Messeinrichtungen sind daher nor-
malerweise vorhanden. Allerdings wird die Phasenlage bei be-
kannten Anlagen häufig nicht schnell genug erfasst. So wird
eine Nachrüstung erforderlich sein, um den Relativwinkel
35 schnell genug zu erfassen und den erfassten Wert für die
Steuerung zu stellen. Dazu ist eine Taktung von etwa 4 ms bis
etwa 20 ms normalerweise sinnvoll. In der Regel sind darüber

hinaus nur die Steuereinrichtungen im Vergleich zum Stand der Technik zu modifizieren.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren näher beschrieben. Dabei zeigen:

Figur 1 den Zusammenhang verschiedener Kuppelwinkel bei verschiedenen Relativbeschleunigungen ausgehend von Ausgangs-Drehzahldifferenz 1 Hz und Ausgangswinkeldifferenz Null;

Figur 2 die Solldrehzahldifferenz in Abhängigkeit vom Differenzwinkel ausgehend von Ausgangs-Drehzahldifferenz 1 Hz und Ausgangswinkeldifferenz -3600° ;

Figur 3 beispielhaft den Verlauf der Drehzahl der Gasturbine und der Dampfturbine;

Figur 4 den Verlauf des Differenzwinkels beim Einkuppeln und den Kupplungsverdrehwinkel;

Figur 5 schematische Darstellung eines Wellenstranges;

Figur 6 Prinzip des Einkuppelns mit gewünschtem Differenzwinkel.

In Figur 1 ist für verschiedene konstante Beschleunigungswerte der Differenzwinkel während des Beschleunigens der Dampfturbine in Abhängigkeit der jeweiligen Drehzahldifferenz aufgezeigt. Auf der Rechtswertachse ist die Drehzahldifferenz von Gasturbine zu Dampfturbine in Hz aufgetragen. Auf der Hochwertachse der Differenzwinkel in Grad, wobei auch die ganzzahligen Vielfache von 360° addiert sind.

Die oberste gestrichelte Kurve zeigt die Zusammenhänge bei einem Beschleunigungswert von $0,025 \text{ Hz/s}$, die mittlere gepunktete Kurve bei einem Beschleunigungswert von $0,05 \text{ Hz/s}$

und die untere durchgezogene Linie bei einem Beschleunigungswert von 0,075 Hz/s. Dies soll anhand der mittleren Kurve näher erläutert werden.

5 Als Ausgangspunkt wird der Punkt am linken, unteren Ende der Kurve betrachtet. Die Winkeldifferenz zwischen Gas- und Dampfturbine beträgt Null, die Drehzahldifferenz -1 Hz. D.h. die Gasturbine dreht mit einem Hz mehr als die Dampfturbine. An diesem Punkt, also bei dieser Ausgangsdrehzahldifferenz
10 der Dampfturbine, soll das gezielte Anfahren eines Kuppelwinkels beginnen.

Die Dampfturbine wird mit einer gleichbleibenden Beschleunigung von 0,05 Hz/s relativ zur Gasturbine beschleunigt bis
15 beide Turbinen die gleiche Drehzahl haben. Die bis dahin schnellere Gasturbine überstreicht bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Dampfturbine die gleiche Geschwindigkeit hat, einen um 3600° größeren Winkel als die Dampfturbine, sie hat also in dem Zeitraum 10 Umdrehungen mehr erfahren als die Dampfturbine. Es sei hingewiesen, dass die Zeitachse hier nicht
20 dargestellt ist. Wie an der Kurve zu erkennen ist, nimmt die Differenzwinkeländerung zwischen Gas- und Dampfturbine ab, je mehr sich die Geschwindigkeiten annähern, d.h. je geringer die Drehzahldifferenz ist. Wie weiter aus den unterschiedli-
25 chen Kurven ersichtlich ist, ist der überfahrene Winkel bis zum Einkuppelbeginn umso größer, je kleiner die Beschleunigung ist. Dieser Effekt wird wesentlich zur Ansteuerung eines gewählten Zielkuppelwinkels herangezogen.

30 Bei anderen Beschleunigungswerten und anderen Start-Differenzwinkeln gelten quantitativ andere Zusammenhänge, die Überlegungen sind aber ansonsten analog. Beispielsweise würde bei einem Start-Differenzwinkel von -3600° und einer relativen Beschleunigung von 0,05 Hz der Zielkuppelwinkel für den
35 Beginn des Einkuppelns 0° betragen.

Figur 2 ist eine inverse Darstellung von Figur 1, wobei nur die Kurve mit einem Beschleunigungswert von 0,05 Hz/s darge-

stellt ist. Der Start-Differenzwinkel ist hier im Vergleich zu Figur 1 zu -3600° gesetzt um nominal einen Ziel-Kuppelwinkel von 0° zu erreichen. Auf der Rechtswertachse ist der Differenzwinkel in Grad, wobei auch die ganzzahligen Vielfache von 360° addiert sind aufgetragen. Auf der Hochwertachse ist die Drehzahldifferenz von Gasturbine zu Dampfturbine in Hz aufgetragen.

Figur 2 zeigt somit auf, wie bei konstanter Relativbeschleunigung von $0,05 \text{ Hz/s}$ die Drehzahldifferenz vom Differenzwinkel abhängt. Dabei wird bei übereinstimmender Frequenz von Gasturbine und Dampfturbine ein Differenzwinkel von 0° angenommen. Für eine gewählte Beschleunigung von 0.05 Hz/s stellt Figur 2 die zentrale Sollwertkurve dar. So sollte z.B. die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Gas- und Dampfturbine bei einer Winkeldifferenz von 900° -0.5 Hz betragen. Das heißt, dass bei der Winkeldifferenz von 900° die Dampfturbine noch um $0,5 \text{ Hz}$ langsamer ist als die Gasturbine.

Im Idealfall beschreibt Figur 2 den Zusammenhang zwischen überstrichenem Winkel und Drehzahldifferenz zwischen Dampf- und Gasturbine.

Ist bei der realen Anlage bei einem gemessenen Differenzwinkel von -900° die Geschwindigkeitsdifferenz größer, wird bei gleichbleibender Beschleunigung von $0,05 \text{ Hz/s}$ nicht der Zielwinkel 0° erreicht, sondern ein größerer Zielwinkel. In diesem Fall ist die Dampfturbine zu langsam; sie muss stärker beschleunigt werden.

Ist umgekehrt bei der realen Anlage bei einem gemessenen Differenzwinkel von -900° die Geschwindigkeitsdifferenz kleiner, wird bei gleichbleibender Beschleunigung von 0.05 Hz/s nicht der Zielwinkel 0° erreicht, sondern ein kleinerer Zielwinkel. In diesem Fall ist die Dampfturbine zu schnell, sie muss abgebremst werden.

35

Der Einkuppelvorgang als solcher ist in Figur 3 dargestellt. Auf der Rechtswertachse ist die Zeit in Sekunden und auf der Hochwertachse die Drehzahl aufgetragen. Die Dampfturbine ist

zunächst langsamer als die Gasturbine, wird aber relativ zu dieser beschleunigt. Die Drehzahl der Gasturbine liegt konstant bei 50 Hz, wie durch die gepunktete Linie dargestellt. Die Geschwindigkeit der Dampfturbine wird mit der durchgezogenen Linie abgebildet. Zu dem Zeitpunkt, an dem die Dampfturbine die gleiche Geschwindigkeit hat wie die Gasturbine, beginnt der Einkuppelvorgang. Es wird also begonnen die Kupplung einzurücken. Die Dampfturbine wird zunächst weiter beschleunigt, überholt dabei die Gasturbine und läuft in den Anschlag der Kupplung. An dieser Position erfolgt ein Abbremsen. Danach rotieren beide Turbinenwellen mit der gleichen Drehzahl.

Die Auswirkungen des Einkuppelns auf den Differenzwinkel werden aus Figur 4 ersichtlich. Auf der Rechtswertachse ist wiederum die Zeit in Sekunden und auf der Hochwertachse die Drehwinkeldifferenz in Grad aufgetragen. Die gestrichelte Linie zeigt einen Sollwert der Winkeldifferenz auf, der hier bei 0° liegt. Die durchgezogene, zunächst unten verlaufende Linie zeigt den zeitlichen Verlauf der tatsächlichen Winkeldifferenz auf. Zunächst ist der Drehwinkel der Dampfturbine 250° kleiner als der Drehwinkel der Gasturbine. Diese Drehwinkeldifferenz nimmt zunächst bis auf eine Differenz von Null Grad rasch ab. Danach nimmt die Drehwinkeldifferenz wieder zu, vorliegend um etwa 20° . Dies liegt daran, dass beim Eindrehen in die Kupplungshülse ein Rückdrehen der Dampfturbine um den Kupplungsverdrehwinkel erfolgt. Der Verlauf des Kupplungsverdrehwinkels ist an der gepunkteten Linie zu erkennen.

Es gilt also bei der Wahl des gewünschten Zielkuppelwinkels beim Kuppeln zu berücksichtigen, dass beim Einkuppeln eine Änderung der Drehwinkeldifferenz um den Kupplungsverdrehwinkel erfolgt.

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Wellenstranges 1. Dieser umfasst eine Dreheinrichtung 2, die die Welle 3 einer nicht dargestellten Dampfturbine bildet. Die

Welle 3 ist mit einer Kupplung 4 mit einer Generatorwelle 5 koppelbar. Die Generatorwelle 5 wird durch den Generator 6 angetrieben. Über eine weitere Kupplung 7 wird die Generatorwelle 5 mit einer Welleneinrichtung 8, die die Welle 9 einer nicht näher dargestellten Gasturbine bildet, verbunden.

Über einen Keyphaser 10 wird die Drehzahl und der Drehwinkel der Welle 3 ermittelt. Über einen weiteren Keyphaser 11 wird die Drehzahl und der Drehwinkel der Welle 9 ermittelt. Die Signale aus dem Keyphaser 10 und dem Keyphaser 11 werden zu einer Einheit 12 übertragen. Aus der Einheit 12 wird der Differenzwinkel $\Delta\varphi$ und die Drehzahldifferenz Δn an einen Turbinenregler 13 weitergeleitet.

Bis zu einer vorgegebenen Geschwindigkeitsdifferenz wird die Dampfturbine wie gewohnt über eine vorgegebene Rampe beschleunigt. Bei einem Geschwindigkeitsunterschied von 1Hz, also der Ausgangsdrehzahl, erfolgt eine Umschaltung auf das zielwinkelgeregelte Einkuppeln. Dazu wird die aktuelle Winkeldifferenz im Bereich 0° - 360° erfasst und um den Winkelbereich reduziert, den die Gasturbine bei Beibehalten der bisherigen Beschleunigung der Dampfturbine bis zum Beginn des Einkuppelns überstreichen würde. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden: Die Drehzahldifferenz zwischen Gas- und Dampfturbine betrage 1 Hz, die Dampfturbine werde mit 0,05 Hz/s beschleunigt. Bis zu dem Zeitpunkt, an dem Gas- und Dampfturbine die gleiche Geschwindigkeit haben, vergehen 20 s. Der dabei überfahrene Differenzwinkel beträgt 3600° .

Figur 6 beschreibt die eigentliche Regelung des Zielkuppelwinkels. Die Differenz zwischen Dampfturbinenverdrehwinkel und Gasturbinenverdrehwinkel, also der Differenzwinkel, wird mittels einer Kennlinie in eine Soll-Drehzahldifferenz zwischen Dampf- und Gasturbine überführt. Die Solldrehzahl der Dampfturbine wird also in Abhängigkeit der Gasturbinendrehzahl und des Differenzwinkels festgelegt. Der Faktor ,K' gibt dabei die zusätzliche Möglichkeit diese Soll-Drehzahldifferenz weiter zu verstärken. Der Faktor ,K' ist dabei der

Rückföhrfaktor der Regeldifferenz, also der Abweichung des Istwerts vom Sollwert. Es ist somit ein P-Regler. Er ist in Hinblick auf die Eigenschaften des resultierenden Gesamtregelkreises separat zu analysieren und fest zu legen. Standardvorgabe ist $K = 1$. Durch Addition der Gasturbinendrehzahl ergibt sich die Solldrehzahl der Dampfmaschine.

Die Verwendung eines ,adjustable Off-Set' ermöglicht es, die gesamte rechnerische Vorgabe auf den Zielwinkel Null auszu-legen. Ein von Null abweichender Wunsch-Zielwinkel wird über dieses Off-Set so verschoben, dass eine Standardkurve für den Zusammenhang $\Delta\phi$ zu Δn_{soll} verwendbar ist. Mit diesem Ansatz ist es dann möglich, die Überlegungen auf den Wunsch-Zielwinkel von 0° zu beschränken.

15

Zusätzlich zum Differenzwinkel $\Delta\phi$ wird die Differenzdrehzahl Δn in einer Einheit 14 verarbeitet. Außerdem wird die Drehzahl n_{DT} in der Einheit 14 verarbeitet. In der Einheit 14 wird eine Solldrehzahl $n_{\text{soll,DT}\phi}$ generiert, die zu einer Sollwertführung 15 geführt wird. In der Sollwertführung wird das Signal $n_{\text{SV,DT}\phi}$ erzeugt und einer weiteren Sollwertführung 16 zugeführt. Am Ausgang der Sollwertführung 16 wird ein Wert für die Drehzahländerung Δn_{DT} erzeugt und an den Turbinenregler 13 weitergeleitet wird. Außerdem wird zum Turbinenregler 13 das Signal aus einem Schaltkriterium 17 zugeschaltet. Das Signal aus dem Schaltkriterium wird dann verwendet um zwischen der Sollwertführung 15 und der Sollwertführung 16 umzuschalten.

30

Bei Beschleunigung der Dampfmaschine relativ zur Gasturbine mit konstanter Beschleunigung k Hz/s wird zur Überwindung einer Ausgangsdrehzahldifferenz von $\Delta\omega_0$ eine Zeit $t = \Delta\omega_0/k$ benötigt. In dieser Zeit überfährt das System eine relative Winkeldifferenz, die $(\Delta\omega_0)^2/(2*k)$ ganzen Umdrehungen entspricht. Entspräche der Differenzwinkel bei Start-Drehzahldifferenz $\Delta\omega_0$ also zufällig $-360^\circ * (\Delta\omega_0)^2/(2*k)$, wäre die konstante Beschleunigung k geeignet, um den Zielwinkel 0° an zu steuern. Bei jeder anderen Start-Winkeldifferenz muss die Be-

35

schleunigung verändert werden, um den Zielwinkel 0° zu erreichen. Wird nun der Start-Winkel zu $-360^\circ * (\Delta\omega_0)^2 / (2*k) +$ gemessener Winkel gesetzt, bedeutet das, dass die Turbine relativ zur Beschleunigung k bis zur Ausgangsdrehzahl eine etwas vergrößerte Beschleunigung erfahren muss. Leichte Erhöhung der Beschleunigung während des geregelten Anfahrens des Ziel-Kuppelwinkels hat sich als vorteilhafter erwiesen als leichte Reduktion der Beschleunigung. Der gewählte Ansatz, den Differenzwinkel bei Start-Drehzahldifferenz wie oben anzusetzen, ermöglicht immer die Beschleunigung leicht zu erhöhen. An einem Zahlenbeispiel: Es ist besser davon auszugehen, dass die Dampfturbine 270° vorausseilen muss, anstatt 90° zurückfallen soll.

15 Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu

20 verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kuppeln einer Dreheinrichtung,
5 insbesondere einer Dampfturbine,
und einer Welleneinrichtung,
insbesondere einer Gasturbine,
mit folgenden Schritten:
- 10 - Beschleunigung der Dreheinrichtung bis zu einer Ausgangs-
drehzahl, die unterhalb der Drehzahl der Welleneinrichtung
liegt, wobei die Welleneinrichtung und die Dreheinrichtung
um einen Differenzwinkel ($\Delta\varphi$) gegeneinander verdreht sind
und nach dem Kuppeln ein optimaler Differenzwinkel ($\Delta\varphi$) von
 $\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{opt}}$ erzielt wird;
- 15 - Erfassen des Differenzwinkels ($\Delta\varphi$) zwischen Welleneinrich-
tung und Dreheinrichtung; wobei eine Drehzahldifferenz
(Δn), die aus der Differenz aus der Drehzahl der Drehein-
richtung (n_{DT}) und der Drehzahl der Welleneinrichtung (n_{GT})
gebildet wird, ermittelt wird;
- 20 - Ändern der Drehzahl der Dreheinrichtung (n_{DT}) mit einem
Drehzahl-Sollwert (Δn_{DT}), wobei eine Soll-Drehzahldifferenz
(Δn_{Soll}) von dem Differenzwinkel ($\Delta\varphi$) abhängt und der Dreh-
zahl-Sollwert (Δn_{DT}) aus der Abhängigkeit zwischen der
Soll-Drehzahldifferenz (Δn_{Soll}) und dem Differenzwinkel ($\Delta\varphi$)
25 ermittelt wird, wobei bei der Ermittlung des Drehzahl-
Sollwerts (Δn_{DT}) zusätzlich die ermittelte Drehzahldiffe-
renz (Δn) berücksichtigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
30 wobei das Ändern der Drehzahl der Dreheinrichtung (n_{DT}) mit
dem Drehzahl-Sollwert (Δn_{DT}) außerdem mittels einer Soll-
Drehzahl ($n_{\text{Soll,DT}}$) der Dreheinrichtung als Eingangsgröße zur
Verfügung gestellt wird.
- 35 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei ein Turbinenregler vorgesehen ist, mit dem Drehzahl-
Sollwert (Δn_{DT}) und einem Schaltkriterium als Eingangs-
größe.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Ausgangsdrehzahl etwa 1 Hz unterhalb der Drehzahl der
Welleneinrichtung liegt, im Wesentlichen etwa 0,5 Hz bis
5 etwa 1,5 Hz, und etwa 0,9 Hz und etwa 1,1 Hz.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Beschleunigungswert etwa 0,025 Hz/s bis etwa
10 0,075 Hz/s, bevorzugt etwa 0,05 Hz/s, beträgt.
6. Anordnung mit einer Welleneinrichtung,
insbesondere einer Gasturbine,
und einer Dreheinrichtung,
15 insbesondere einer Dampfturbine,
mit einer Kupplung zum Kuppeln von Welleneinrichtung und
Dreheinrichtung, aufweisend:
eine Einrichtung zum Erfassen des Differenzwinkels zwischen
Welleneinrichtung und Dreheinrichtung;
20 eine Einrichtung zum Beschleunigen der Dreheinrichtung mit
einem Beschleunigungswert;
Mittel, die ermöglichen in Abhängigkeit des erfassten Dif-
ferenzwinkels ($\Delta\varphi$) und der erfassten Drehzahl-Differenz
(Δn) einen gewünschten Zielkupplungswinkel zwischen Wellen-
25 einrichtung und Dreheinrichtung zu erreichen.

FIG 1

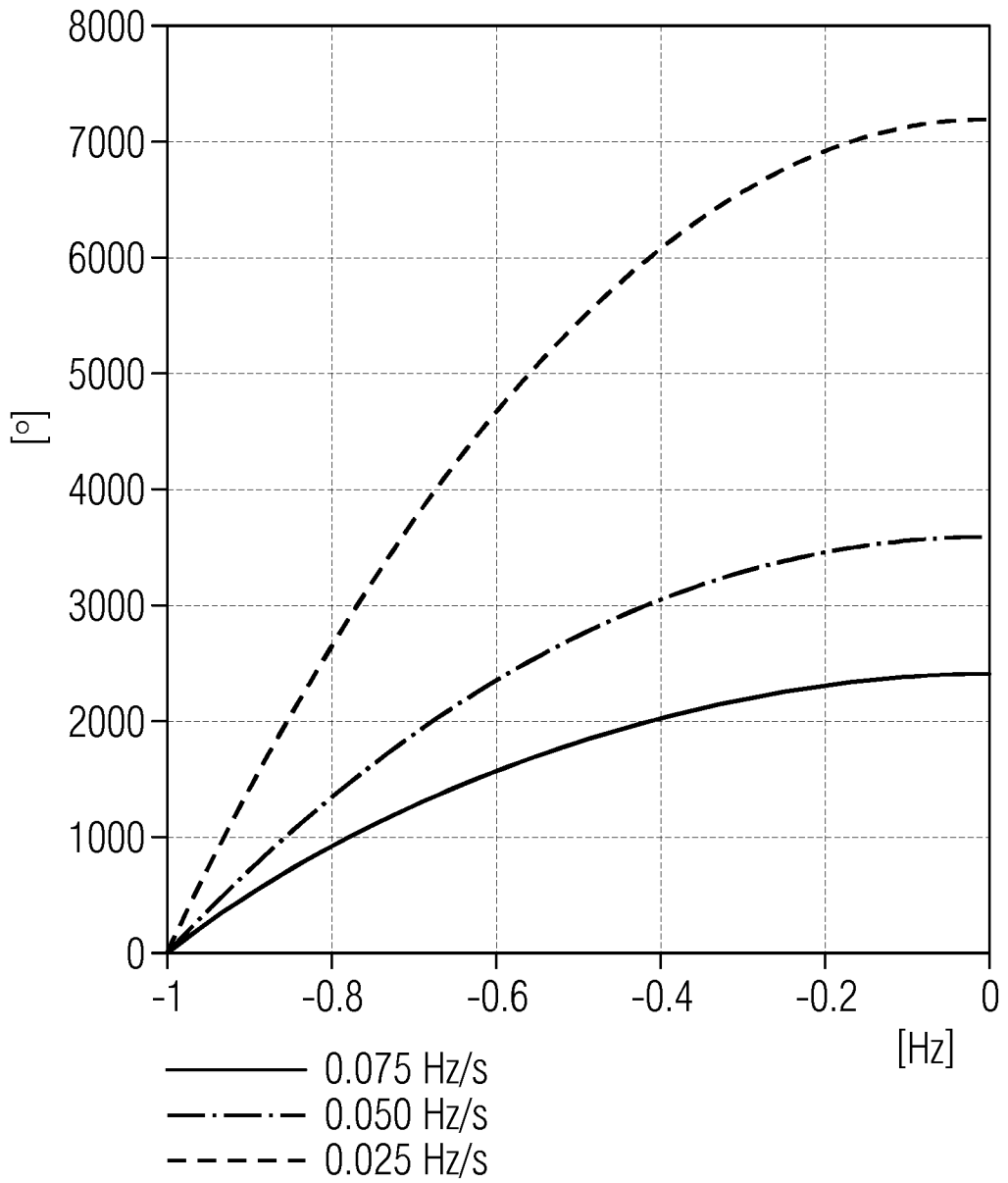


FIG 2

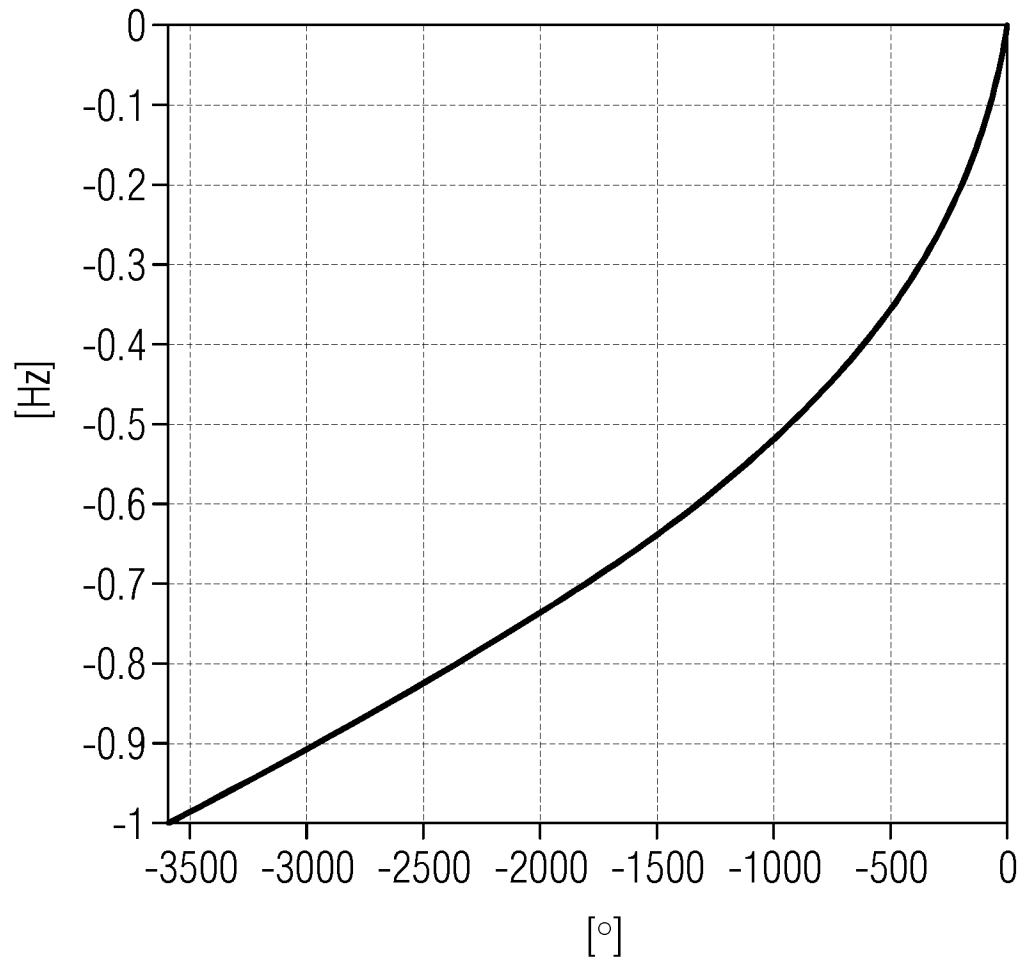


FIG 3

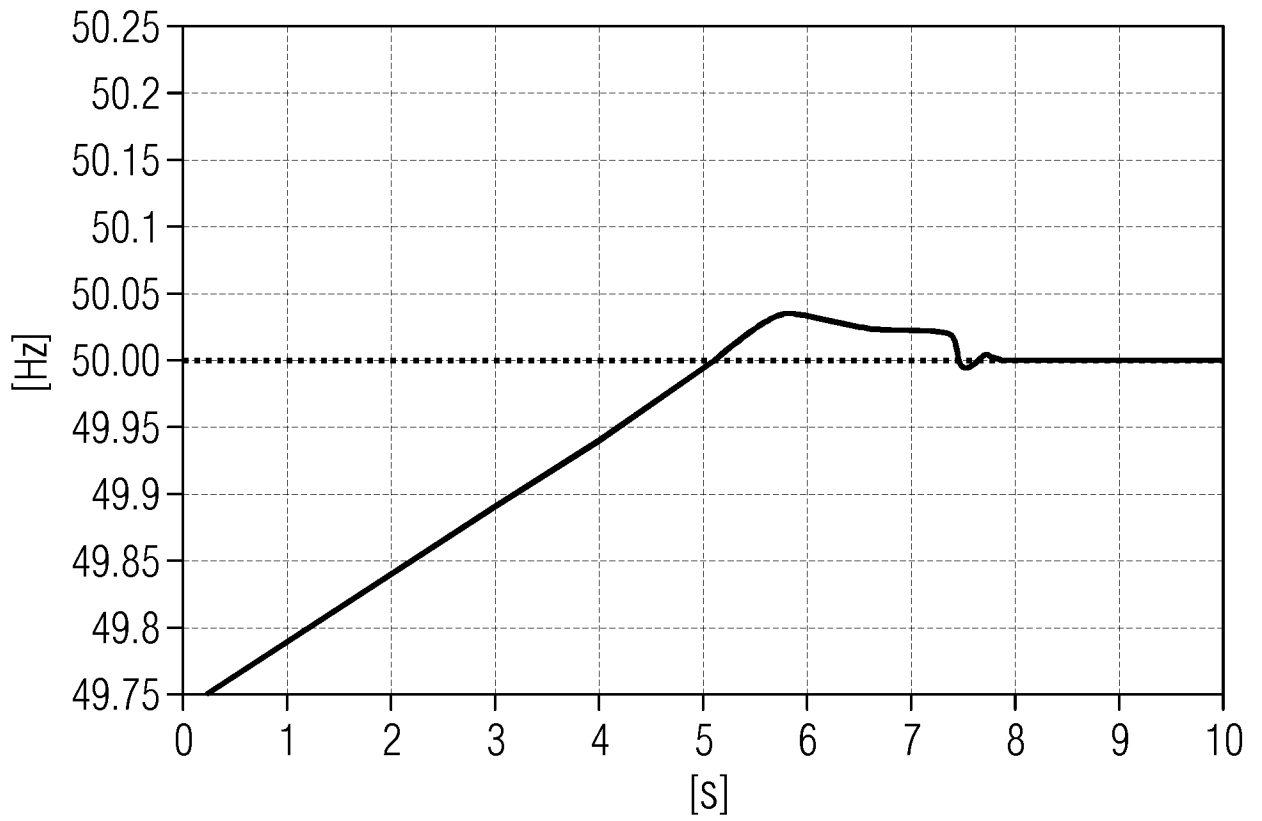


FIG 4

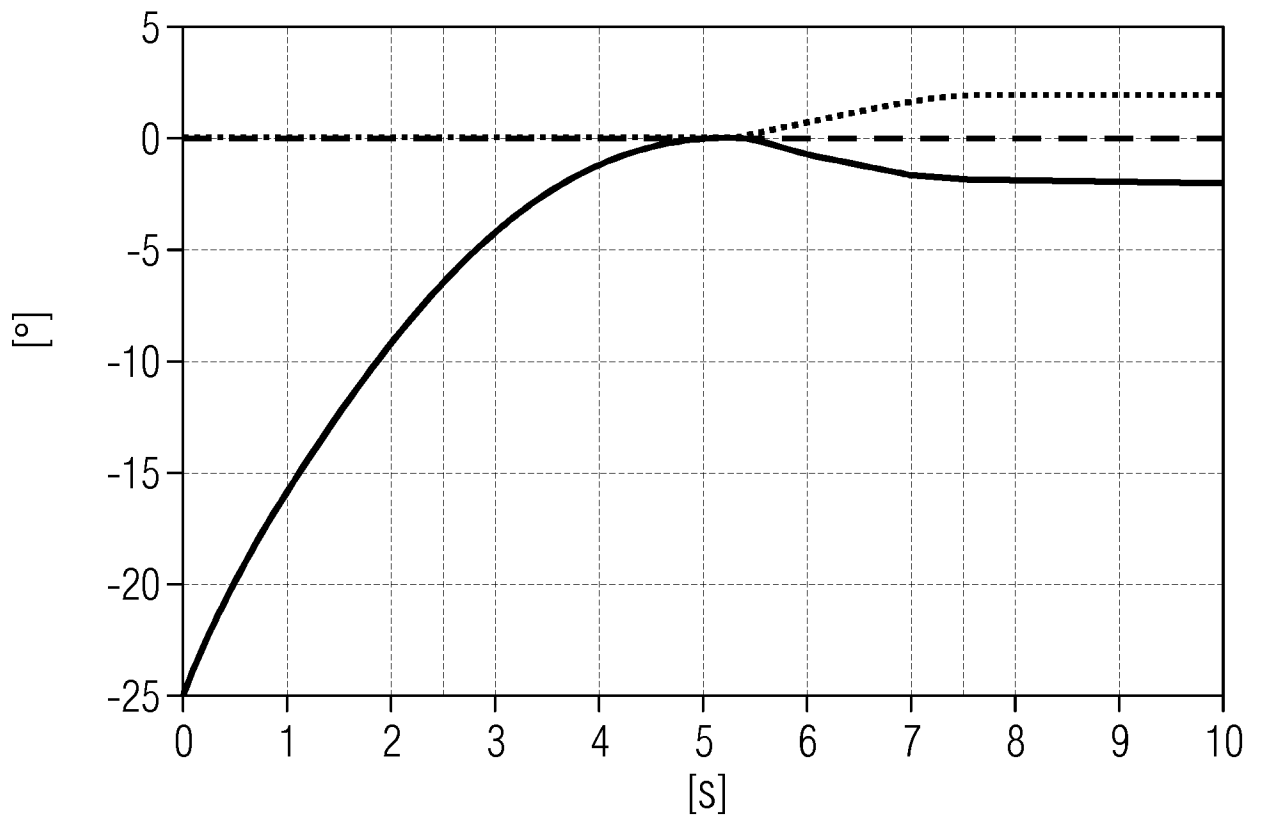


FIG 5

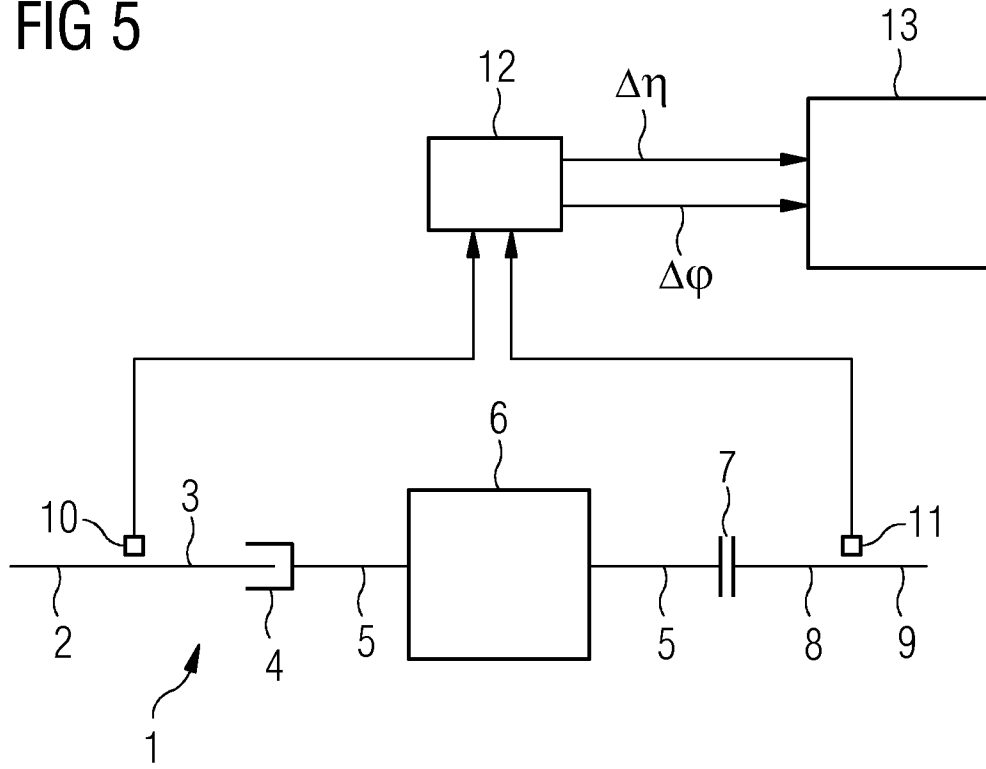
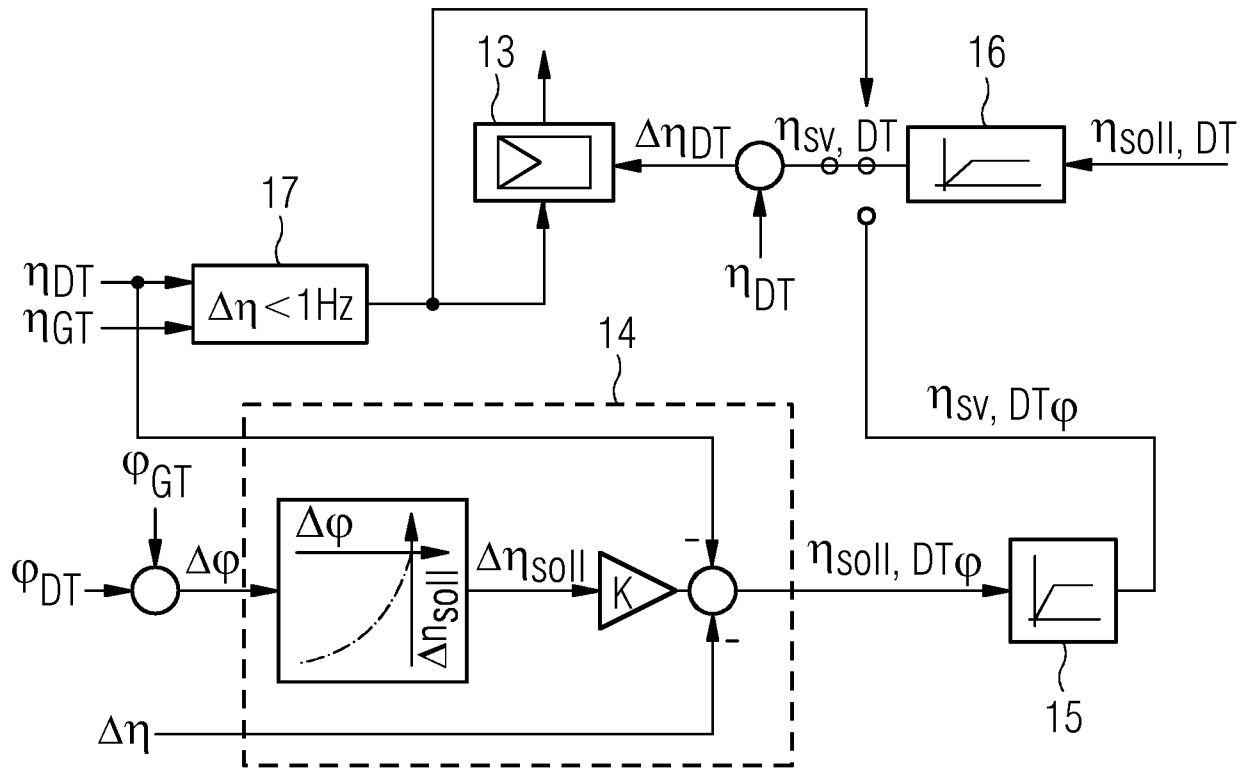


FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/050626

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. F01K23/10 F01D13/00 F01D15/10 F01D19/00 F01K23/16
 F16D1/00 F02C6/18 F16D48/00
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 F01K F01D F16D F02C G01H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 911 939 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16 April 2008 (2008-04-16) cited in the application paragraphs [0037] - [0092]; figures 1, 3, 10-11	1-6
A	US 5 502 650 A (NARUSE KATSUHIKO [JP] ET AL) 26 March 1996 (1996-03-26) figures 4-11	1,6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 24 June 2015	Date of mailing of the international search report 07/07/2015
-------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Lepers, Joachim
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/050626

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1911939	A1	16-04-2008	CN 101523017 A
			EP 1911939 A1
			EP 2078139 A1
			JP 5455631 B2
			JP 2010506113 A
			RU 2009117610 A
			US 2009325765 A1
			WO 2008043671 A1

US 5502650	A	26-03-1996	JP 3278452 B2
			JP H05284689 A
			US 5502650 A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/050626

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F01K23/10 F01D13/00 F01D15/10 F01D19/00 F01K23/16 F16D1/00 F02C6/18 F16D48/00 ADD. Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F01K F01D F16D F02C G01H Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 911 939 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16. April 2008 (2008-04-16) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0037] - [0092]; Abbildungen 1, 3, 10-11	1-6
A	----- US 5 502 650 A (NARUSE KATSUHIKO [JP] ET AL) 26. März 1996 (1996-03-26) Abbildungen 4-11 -----	1,6
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 24. Juni 2015		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 07/07/2015
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Lepers, Joachim

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/050626

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 1911939	A1	16-04-2008	CN 101523017 A	02-09-2009
			EP 1911939 A1	16-04-2008
			EP 2078139 A1	15-07-2009
			JP 5455631 B2	26-03-2014
			JP 2010506113 A	25-02-2010
			RU 2009117610 A	20-11-2010
			US 2009325765 A1	31-12-2009
			WO 2008043671 A1	17-04-2008

US 5502650	A	26-03-1996	JP 3278452 B2	30-04-2002
			JP H05284689 A	29-10-1993
			US 5502650 A	26-03-1996
