(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 236 020 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
25.10.2017 Patentblatt 2017/43

(51) Int Cl.:
F01D 25/16 *(2006.01)* ***F04D 19/04*** *(2006.01)*
F04D 29/058 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **16166514.6**

(22) Anmeldetag: **22.04.2016**

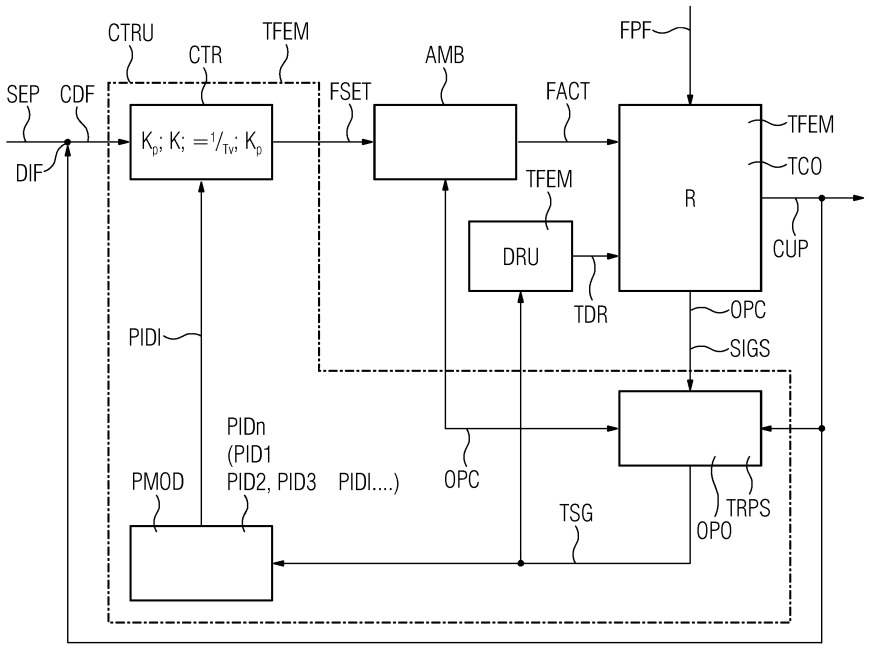
(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder: **Heidtmann, Frank**
45468 Mülheim an der Ruhr (DE)

(54) VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER TURBOMASCHINE, REGELUNGSEINHEIT

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Turbomaschine (TFEM) mit einem in aktiven Magnetlagern (AMB) gelagerten Rotor (R), insbesondere eines Turboverdichters (TCO), wobei ein Regler (CTR) in Abhängigkeit von einer Differenz (CDF) einer mittels mindestens eines Sensors (SEN) festgestellten Rotorposition (CUP) zu einer Rotorsollposition (SEP) den Betrieb der aktiven Magnetlager (AMB) mittels mindestens einer Spannungsquelle (U) derart steuert, dass sich die Rotorposition (CUP) der Rotorsollposition (SEP) annähert, wobei in einem ersten Schritt der Regler (CTR) auf Grundlage einer Parametergruppe (PIDn) den Betrieb des aktiven Magnetlagers (AMB) regelt. Daneben betrifft die Erfindung eine Regelungseinheit (CTRU) zur Ausführung des Verfahrens. Damit die Regelung möglichst unter allen Betriebszuständen einen sicheren Betrieb gewährleistest, wird vorgeschlagen, dass mehrere Parametergruppen (PIDn) vorgesehen sind und die als Grundlage für die Regelung mittels des Reglers gegeneinander austauschbar sind, wobei in einem zweiten Schritt als Grundlage für den Regelungsbetrieb eine erste Parametergruppe (PID1) durch eine zweite Parametergruppe (PID2) ersetzt wird, wenn ein Betriebskriterium (OPC) der Turbomaschine (TFEM) eintritt dass mindestens einem vorgegeben Betriebskriterium (OPC) entspricht.



EP 3 236 020 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Turbomaschine mit einem in aktiven Magnetlagern gelagerten Rotor, insbesondere eines Turboverdichters, wobei ein Regler in Abhängigkeit von einer Differenz einer mittels mindestens eines Sensors festgestellten Rotorposition zu einer Rotorsollposition den Betrieb der aktiven Magnetlager mittels mindestens einer Spannungsquelle derart steuert, dass sich die Rotorposition der Rotorsollposition annähert, wobei in einem ersten Schritt der Regler auf Grundlage einer Parametergruppe den Betrieb des aktiven Magnetlagers regelt. Daneben betrifft die Erfindung eine Regelungseinheit zur Ausführung des Verfahrens.

[0002] Turbomaschinen, insbesondere Turbokompressoren können im Falle einer spontan notwendigen Abbremsung der Betriebsdrehzahl bis zum Stillstand (Trip) aufgrund eines unerwünschten Betriebszustandes aus dem vorgesehenen Arbeitsbereich zwischen Pump- und Schluckgrenze herauslaufen. Infolgedessen können Prozessgaskräfte zu sehr hohen Axial- und Radialkräften im Verdichter führen, die im Falle aktiv magnetgelagerter Rotoren möglichst durch die entsprechenden aktiven Magnetlager aufzunehmen sind. Andernfalls würden die in der Regel zusätzlich vorhandenen Fanglager belastet, was deren Wartungsintervall verkürzt bzw. deren Austausch erforderlich machen kann.

[0003] Die Erfindung hat es sich zur Aufgabe gemacht, ungünstige Auswirkungen von Betriebszuständen bzw. Betriebskriterien auf die Sicherheit des Maschinenbetriebes oder die Lebensdauer der Turbomaschine zu minimieren.

[0004] Zur Lösung schlägt die Erfindung ein Verfahren und eine Regelungseinheit gemäß den Ansprüchen vor. Die jeweils rückbezogenen Unteransprüche beinhalten vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0005] Die in herkömmlich für Nennbetrieb optimierte Parametrierung der zur Ansteuerung der Aktivlager verwendeten (Digital-) Regler kann ungeeignet sein, ungünstige Betriebszustände zu verhindern. Wenn mit dem Ziel einer besonders robusten Reglerauslegung der proportionale Anteil (P-Anteil) der üblicherweise in der Industrie eingesetzten PID-Regler vergleichsweise niedrig gewählt wurde, kann die Reaktion der aktiven Magnetlager zu schwach ausfallen, den Fanglagerkontakt zu verhindern. Ein herkömmlich angesteuertes aktives Magnetlager entwickelt entsprechend geringe Rückstellkräfte bei sehr dynamischer Auslenkung des Rotors aus seiner Sollposition, und die Wahrscheinlichkeit eines Fanglagerkontaktes nimmt unter diesen Umständen deutlich zu.

[0006] Es gibt einen Zielkonflikt bei der Reglerparametrierung. Einerseits ist eine möglichst robuste Reglerparametrierung erwünscht, die auch bei Abweichungen von der vorgesehenen Rotordynamik (etwa durch Fertigungstoleranzen, nicht berücksichtigte thermische Einflüsse etc.) einen zuverlässigen Betrieb des Kompressors ermöglicht. Eine solch herkömmliche Reglerparametrierung wird tendenziell zu einer weichen Lagerung des Rotors führen, was wiederum vergleichsweise große Abweichungen von der Rotorsolllage ungewollt begünstigt.

[0007] Andererseits ist eine möglichst steife Lagerung des Rotors erwünscht um sowohl unter Unwuchtanregung, in Gegenwart der üblichen Prozessgaskräfte, als auch unter den besonders verschärften Offset-Bedingungen, wie sie während eines Maschinentrips auftreten können, die Schwingungsamplituden des Rotors gering halten zu können bzw. Fanglagerkontakte möglichst zu vermeiden. Eine steife, aktive Lageregelung des Rotors verhält sich tendenziell weniger robust gegenüber bei der Reglerauslegung nicht berücksichtigten Eigenschaften der Regelstrecke bzw. weniger tolerant gegenüber Regelstreckenveränderungen.

[0008] In dem Spannungsfeld zwischen einem möglichst robusten Regelverhalten einerseits und einem möglichst steifen Regelverhalten andererseits, ist herkömmlich ein Kompromiss für die Reglerparametrierung zu finden, der zu naturgemäß zu ungewollten Einschränkungen führt.

[0009] In Abkehr dieser Vorgehensweise schlägt die Erfindung insbesondere für den Fall eines Trips vor, um einen Fanglagerkontakt infolge vergleichsweise hoher (insbesondere axial wirksamer) Gaskräften zu vermeiden ohne dafür die ReglerRobustheit im Nennbetrieb zu opfern, eine Reglerparameterkonfiguration in Abhängigkeit von Betriebskriterien vorzusehen, beispielsweise eine andere Parametergruppe vorzusehen, die bei einem Trip angewendet wird als diejenige Parametergruppe die im Normalbetrieb die Grundlage der Regelung bildet.

[0010] Das üblicherweise durch Messwerte über dem jeweiligen Triplevel ausgelöste Tripsignal löst eine Bremsung des Verdichterstranges aus. Dieses ohnehin vorhandene Tripsignal wird in einer bevorzugten Weiterbildung als ein weiteres (digitales) Eingangssignal für die Regeleinrichtung genutzt und schaltet gleichzeitig mit der Einleitung des Bremsvorganges auf eine für den Tripfall optimierte Reglerparameterkonfiguration (von einer ersten Parametergruppe auf eine zweite Parametergruppe) um, die zu einem besonders steifen Axiallager führt.

[0011] Bevorzugt für die Dauer des Bremsvorganges wird diese Konfiguration beibehalten und anschließend wieder auf die für Nennbetrieb vorgesehene Reglerkonfiguration (erste Parametergruppe) zurückgeschaltet.

[0012] Bevorzugt wird hierbei der proportionale Anteil (P-Anteil oder Verstärkung Kp) des bevorzugt eingesetzten PID-Reglers erhöht bzw. nach der Bremsung wieder zurückgesetzt.

[0013] Der Vorteil liegt in der Nutzung der sowohl für den Nennbetrieb wie auch für den Fall des Trips jeweils spezifisch optimierten Parametergruppe für den Regler. Somit geht die für den Tripfall wünschenswert hohe Lagersteifigkeit nicht zulasten der für den Nennbetrieb gewünschten Reglerrobustheit.

[0014] Die Erfindung richtet sich speziell auf den Ein-

satz in magnetgelagerten Rotoren, insbesondere Verdichtern, um bei einem Trip Fanglagerkontakte zu vermeiden und damit deren Wartungsintervalle zu verlängern und entsprechende Wartungskosten zu verringern.

[0015] Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass anstatt oder zusätzlich zu einem Tripsignal auch andere Signalquellen einzeln oder miteinander kombiniert verwendet werden. Hierzu wird vorgeschlagen, dass die Drehzahl des Rotors, eine Druckdifferenz, über die Turbomaschine, Druckänderung, Volumenstrom, Volumenstromänderung, Alarmsignale, Schwingungswerte, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen von Bauteilen jeweils alternativ zueinander ohne in einer beliebigen Kombination miteinander verwendet wird.

[0016] Im Folgenden ist die Erfindung anhand eines speziellen Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf eine Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 ein schematisches Flussdiagramm zur Illustration des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Reglungseinheit.

[0017] Figur 1 zeigt eine schematische Wiedergabe eines Diagramms zur Illustration des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Reglungseinheit CTRU. Das erfindungsgemäße Verfahren befasst sich mit dem Betrieb einer Turbomaschine TFEM, bevorzugt mit dem Betrieb eines Turboverdichters TCO, der einen in aktiven Magnetlagern AMB gelagerten Rotor R aufweist.

[0018] Die in Figur 1 dargestellte Anordnung umfasst außerdem einen Antrieb DRU, um den Rotor R mittels eines Antriebsmoments TDR in Rotation mit einer Solldrehzahl zu versetzen. Darüber hinaus umfasst die Turbomaschine TFEM auch eine Reglungseinheit CTRU mit einem Regler CTR.

[0019] Eine Rotorsollposition SEP ist ein Eingangssignal in einen Differenzierer DIF, der mittels Differenzbildung zu einer Rotorposition CUP eine Differenz CDF ermittelt. Diese Differenz CDF bzw. Regeldifferenz empfängt der Regler CTR der Reglungseinheit CTRU. Der Regler CTR ist als PID-Regler ausgebildet (proportional-integral-derivative-controller). Der Regler CTR umfasst dementsprechend ein P-Glied, ein I-Glied und ein D-Glied und arbeitet demensprechend auf Basis einer Parametergruppe bestehend aus einer Verstärkung Kp des P-Glieds, einer integralen Verstärkung Ki bzw. der Nachstellzeit Tv und einem Differenzierbeiwert Verstärkung Kd. Dem Regler CTR werden diese Parameter in Form der Parametergruppen PIDi von einem Parametrierungsmodul PMOD der Reglungseinheit CTRU vorgegeben. Diese Vorgabe erfolgt in Abhängigkeit von zu überwachenden Betriebskriterien OPC, die von einem Überwachungssystem OPO erfasst werden und dann als beispielsweise ein Tripsignal TSG an das Parametrierungsmodul PMOD übermittelt werden, falls die erfassten Betriebskriterien OPC mit mindestens einem vorgegebenen Betriebskriterium OPC übereinstimmt, so dass das Überwachungssystem OPO dem Parametrierungsmodul das Betriebskriterium OPC übermittelt, so dass das Parametrierungsmodul PMOD dem Regler CTR eine geänderte Parametergruppe PIDi vorgibt. Konkret wird aus den Parametergruppen PIDn in einem Fall, dass der Regler CTR in einem Normalbetrieb auf Basis einer ersten Parametergruppe PID1 arbeitet bei der Übermittelung des Vorliegens eines vorgegebenen Betriebskriteriums OPC durch das Überwachungssystem OPO dieses Betriebskriterium als ein Tripsignal TSG übermittelt, so dass die Parametrierungseinheit PMOD dem Regler CTR statt der ersten Parametergruppe PID1 eine zweite Parametergruppe PID2 vorgibt. Die zweite Parametergruppe PID2 weist ein gegenüber der ersten Parametergruppe PID1 eine doppelt so hohe Verstärkung Kp für das P-Glied auf. Konkret bedeutet das:

$$KP2 = KP1*V \quad \text{mit } V=2.$$

[0020] Als Ausgangssignal überliefert der Regler CTR bzw. die Reglungseinheit CTRU an aktive Magnetlager AMB die Sollagerkräfte FSET, mittels derer die Magnetlagerung des Rotors R erfolgt. Das aktive Magnetlager AMB übermittelt an die Überwachungseinheit OPO ebenfalls Betriebskriterien OPC, beispielsweise Temperaturen oder Leistungsaufnahmen. Der Rotor steht unter dem Einfluss von Prozessgaskräften FPF, die sich dynamisch verändern, so dass die von dem aktiven Magnetlager AMB wirksam auf den Rotor R ausgeübten Lagerkräfte FACT permanent angepasst werden müssen. Aus dem Zusammenspiel dieser Kräfte ergibt sich schließlich die Rotorposition CUP, die bevorzugt mittels eines Wirbelstromsensors (nicht abgebildet) aufgenommen wird und an die Überwachungseinheit OPO sowie an den Differenzierer DIF übermittelt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Turbomaschine (TFEM) mit einem in aktiven Magnetlagern (AMB) gelagerten Rotor (R), insbesondere eines Turboverdichters (TCO), wobei ein Regler (CTR) in Abhängigkeit von einer Differenz (CDF) einer mittels mindestens eines Sensors (SEN) festgestellten Rotorposition (CUP) zu einer Rotorsollposition (SEP) den Betrieb der aktiven Magnetlager (AMB) mittels mindestens einer Spannungsquelle (U) derart steuert, dass sich die Rotorposition (CUP) der Rotorsollposition (SEP) annähert, wobei in einem ersten Schritt der Regler (CTR) auf Grundlage einer Parametergruppe (PIDn) den Betrieb des aktiven Magnetlagers (AMB) regelt,
   dadurch gekennzeichnet, dass

mehrere Parametergruppen (PIDn) vorgesehen sind und die als Grundlage für die Regelung mittels des Reglers gegeneinander austauschbar sind,
wobei in einem zweiten Schritt als Grundlage für den Regelungsbetrieb eine erste Parametergruppe (PID1) durch eine zweite Parametergruppe (PID2) ersetzt wird, wenn ein Betriebskriterium (OPC) der Turbomaschine (TFEM) eintritt dass mindestens einem vorgegeben Betriebskriterium (OPC) entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Parametergruppen (PIDn) jeweils einen Verstärkungsfaktor (KPn) umfassen, wobei der Verstärkungsfaktor (KP1) der ersten Parametergruppe (PID1) kleiner ist als der Verstärkungsfaktor (KP2) der zweiten Parametergruppe (PID2).

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei mindestens ein vorgegebenes Betriebskriterium (OPC) zur Anwendung der zweiten Parametergruppe (PID2) eine Störung im Betrieb der Turbomaschine (TFEM) ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Verstärkungsfaktor (KP2) der zweiten Parametergruppe (PID2) einem Vielfachen (V) des Verstärkungsfaktors (KP1) der ersten Parametergruppe (PID1) entspricht, mit

$$KP2=V*KP1$$

und

$$V > 1,5.$$

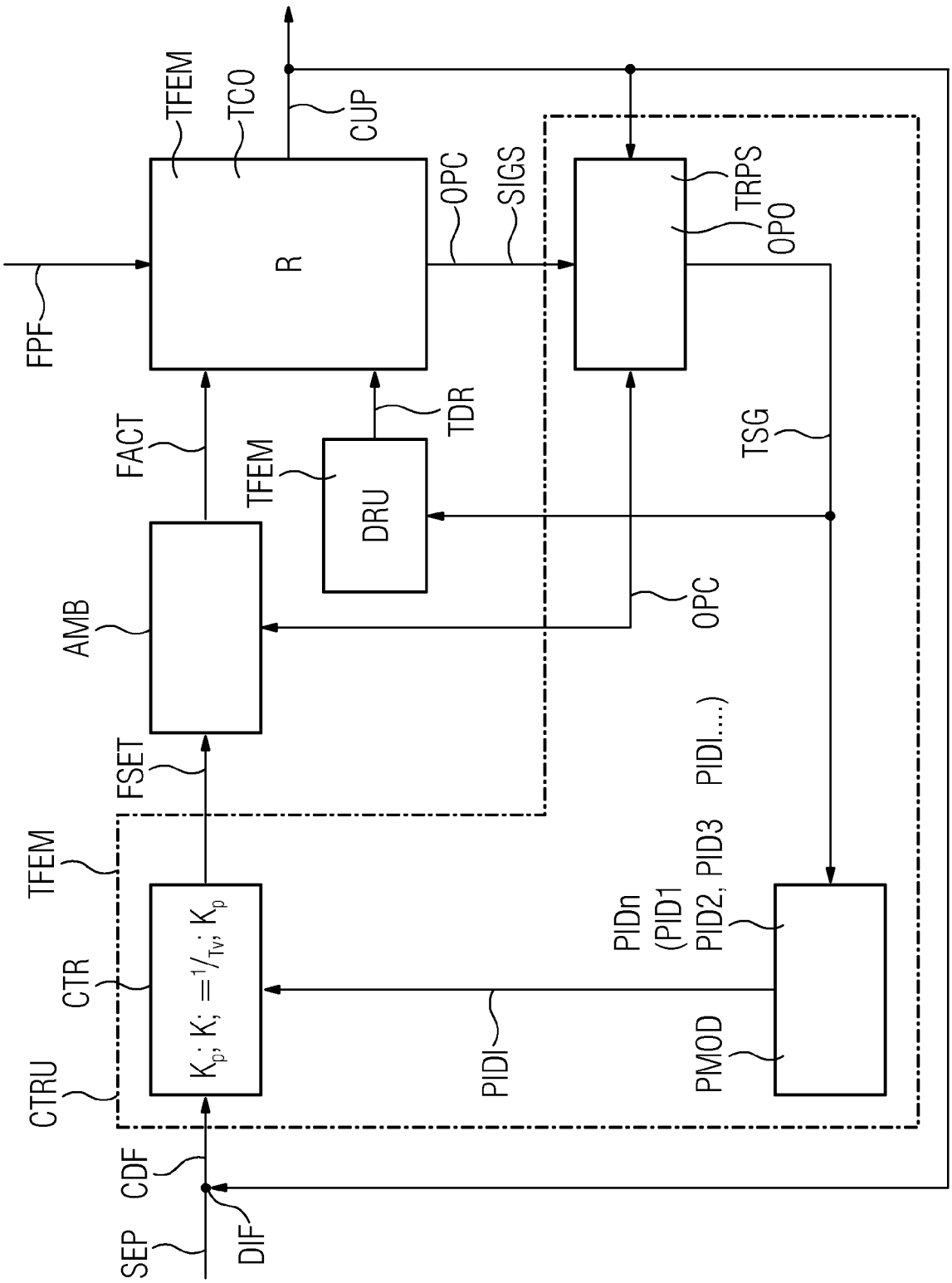
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei gilt:

$$1,8 < V < 2,5.$$

6. Regelungseinheit (CTRU) mit einem Regler (CTR) ausgebildet zur Ausführung des Verfahrens zum Betrieb einer Turbomaschine (TFEM) mit einem in aktiven Magnetlagern (AMB) gelagerten Rotor (R), nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Regler (CTR) auf Grundlage einer Parametergruppe (PIDn) den Betrieb des aktiven Magnetlagers (AMB) regelt,
dadurch gekennzeichnet, dass die Regelungseinheit (CTRU) ein Parametrierungsmodul (PMOD) umfasst, dass ausgebildet ist:

a) in einem ersten Schritt einen Betriebskriterium (OPC) der Turbomaschine (TFEM) zu erfassen und

b) in einem zweiten Schritt eine erste Parametergruppe (PID1), auf dessen Basis der Regler (CTR) gegenwärtig regelt, durch eine zweite Parametergruppe (PID2) zu ersetzen, wenn das erfasste Betriebskriterium (OPC) der Turbomaschine (TFEM) einem vorgegebenen Betriebskriterium (OPC) entspricht.


TFEM
TCO
CUP
OPC
SIGS
TRPS
OPO
R
FPF
FACT
TFEM
TDR
DRU
TSG
AMB
OPC
FSET
TFEM
CTR
CTRU
K_p; K; $=1/T_v$; K_p
PIDn
(PID1
PID2, PID3
PIDI....)
PIDI
PMOD
CDF
SEP
DIF

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 16 16 6514

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2003 042155 A (SHIMADZU CORP) 13. Februar 2003 (2003-02-13) * Absätze [0029], [0030]; Abbildung 10 *	1,2,6	INV. F01D25/16 F04D19/04 F04D29/058
X	JP 2003 222130 A (SHIMADZU CORP) 8. August 2003 (2003-08-08) * Absätze [0009] - [0015]; Abbildung 1 *	1-6	
X	CN 102 425 554 B (KYKY TECHNOLOGY DEV LTD; UNIV TSINGHUA) 9. April 2014 (2014-04-09) * Zusammenfassung; Abbildung 1 *	1,2,6	
X	JP 2001 263352 A (SHIMADZU CORP) 26. September 2001 (2001-09-26) * Absätze [0003], [0005]; Abbildung 3 *	1,2,6	
X	JP 2002 089487 A (NTN TOYO BEARING CO LTD) 27. März 2002 (2002-03-27) * Absätze [0007], [0026], [0029] *	1,2,6	
X	EP 1 580 436 A2 (BOC EDWARDS JAPAN LTD [JP]) 28. September 2005 (2005-09-28) * Absätze [0101], [0102] *	1,2,6	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01D F04D F02C

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	14. Oktober 2016	Teusch, Reinhold

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 16 16 6514

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

14-10-2016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2003042155 A	13-02-2003	KEINE	
JP 2003222130 A	08-08-2003	KEINE	
CN 102425554 B	09-04-2014	KEINE	
JP 2001263352 A	26-09-2001	KEINE	
JP 2002089487 A	27-03-2002	KEINE	
EP 1580436 A2	28-09-2005	EP 1580436 A2	28-09-2005
		JP 2005273802 A	06-10-2005
		KR 20060044556 A	16-05-2006
		US 2005212370 A1	29-09-2005

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82