

(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  
25. August 2005 (25.08.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2005/078403 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01L 3/12

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050313

(22) Internationales Anmeldedatum:  
25. Januar 2005 (25.01.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 006 754.6  
11. Februar 2004 (11.02.2004) DE  
10 2004 041 899.3 30. August 2004 (30.08.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BRUMMEL, Hans-Gerd [DE/US]; 3778 Southpoint Drive, Orlando, Florida 32822-3765 (US). HEINDEL, Hans-Peter [DE/DE]; Carlo-Schmid-Str. 9, 90765 Fürth (DE).

KRÄMMER, Peter [DE/DE]; Österreicherstr. 28, 91052 Erlangen (DE). LINNERT, Uwe [DE/DE]; Virchowstr. 38, 90766 Fürth (DE). WILLSCH, Michael [DE/DE]; Schwabacher Str. 19, 90762 Fürth (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

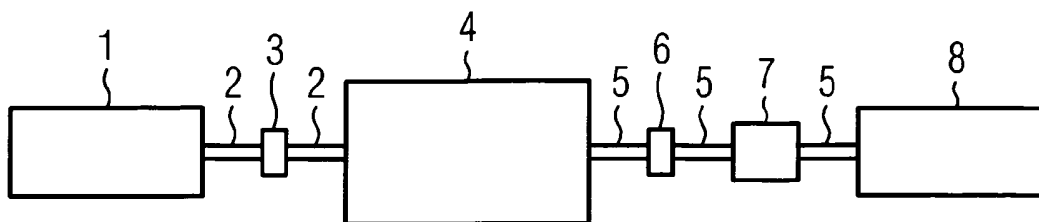
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR DETERMINING THE OUTPUT OF OPERATIONAL MEANS

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR LEISTUNGSBESTIMMUNG VON BETRIEBSMITTELN



(57) Abstract: The invention relates to a device which is used to determine the output of at least two operational means (1, 8) which transfer rotational energy to a machine (4) by means of a common shaft comprising an oriented axis. A shaft part (2, 5) of the associated operational means (1, 8) thereof is subjected to torque which is associated, respectively with each operational means (1, 8) and is in the direction of a machine (4). Said torque is a measurement of the power released by the respective operational means (1, 8). The respective torque leads to proportional torsion and/or mechanical tension of the shaft part (2, 5) which is to be determined with the aid of at least one optical and/or magnetic sensor (3, 6).

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung zur Bestimmung von Leistungen wenigstens zweier Betriebsmittel (1, 8), die Rotationsenergie mittels einer gemeinsamen Welle mit gerichteter Achse an eine Maschine (4) übertragen. Dabei erfährt jeweils ein jedem Betriebsmittel (1, 8) zugeordneter und in Richtung auf die Maschine (4) weisender Wellenteil (2, 5) von seinem zugeordneten Betriebsmittel (1, 8) ein Drehmoment. Dieses Drehmoment ist ein Maß für die von dem jeweiligen Betriebsmittel (1, 8) abgegebene Leistung. Darüber hinaus führt das jeweilige Drehmoment zu einer dazu proportionalen Torsion bzw. mechanischen Spannung des Wellenteiles (2, 5), die mit Hilfe mindestens eines optischen bzw. magnetischen Sensors (3, 6) zu bestimmen ist.

WO 2005/078403 A2



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

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Beschreibung

## Vorrichtung zur Leistungsbestimmung von Betriebsmitteln

5 Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Bestimmung von Leistungen wenigstens zweier Betriebsmittel, die Rotationsleistung mittels einer gemeinsamen Welle mit gerichteter Achse an eine Maschine übertragen, wobei jeweils ein jedem Betriebsmittel zugeordneter und in Richtung auf die Maschine weisender Wellenteil von seinem zugeordneten Betriebsmittel ein Drehmoment erfährt, das ein Maß für die von dem jeweiligen Betriebsmittel abgegebene Leistung ist. Eine entsprechende Vorrichtung zur Bestimmung einer Leistung, die von einer Maschine an einen Wellenstrang abgegeben wird, geht aus  
10  
15 der EP 0 800 645 B1 hervor.

Das Leistungsvermögen stellt beispielsweise bei Strömungsmaschinen, insbesondere Gasturbinen, die technisch bedingt einen hohen spezifischen Brennstoffverbrauch aufweisen, einen der wichtigsten Betriebsparameter dar. Er setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: Der eigentlichen Leistung der Turbine und dem Wirkungsgrad bzw. Wärmeverbrauch. Der Wirkungsgrad bzw. Wärmeverbrauch ist ein Maß dafür, wie viel Brennstoff pro Zeiteinheit die Gasturbine benötigt, um eine bestimmte  
20  
25 Leistung zu erzeugen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird diese Kenngröße auf eine bestimmte Konstellation von Umgebungsbedingungen nach ISO-Standard bezogen, da das Leistungsvermögen von Gasturbinen in hohem Maße von Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit abhängig  
30 ist. Um die messtechnische Bestimmung des Wirkungsgrades, der der Quotient aus Nutzleistung zu eingebrachter Brennstoffleistung in Prozent ist, bzw. des Wärmeverbrauchs, der die eingebrachte Brennstoffwärme pro erzeugter kWh Strom ist, mit der erforderlichen hohen Genauigkeit durchzuführen, wird bei  
35 stationären Strömungsmaschinen, die der Stromerzeugung dienen, in der Regel ein indirektes Verfahren angewandt. Hierbei wird der zur Bestimmung des Wirkungsgrades benötigte Brenn-

stoffmassenstrom nicht direkt gemessen, da diese Messung speziell für die hauptsächlich verwendeten gasförmigen Brennstoffe in großtechnischen Anlagen zu ungenau ist. Stattdessen wird die exakte messbare Klemmenleistung am Generator, der  
5 von der Strömungsmaschine, insbesondere einer Gasturbine, angetrieben wird, herangezogen und über ein Gasturbinensimulationsprogramm, welches im Rahmen der Abnahmemessung geeicht wurde, der erforderliche Brennstoffmassenstrom rückgerechnet. Dieses Verfahren ist gängige Praxis, insbesondere bei Online-  
10 Wirkungsgradbestimmungen im Dauerbetrieb von Kraftwerksanlagen. Besonders im Rahmen der Gas- und Dampftechnik stößt diese Vorgehensweise auf Schwierigkeiten, da es sich hier um eine so genannte Einwellenkonfiguration handelt, bei der sowohl die Gas- als auch die Dampfturbine ihre mechanische Leistung  
15 auf einen gemeinsamen Generator übertragen. Gemäß EP 0 800 645 B1 ist eine Vorrichtung offenbart, mit der die Leistung von Gas- und Dampfturbinen in Einwellenanlagen bestimmt werden können. Die Gas- und die Dampfturbine übertragen auf die gemeinsame Welle jeweils ein Drehmoment. Die  
20 durch die Drehmomente auftretenden Torsionen der Welle werden gemäß der Schrift durch eine Verschiebung von vorher an der Welle angebrachten Marken bestimmt. Die Größe der Verschiebung gibt an, wie stark die Welle tordiert ist, so dass Rückschlüsse auf die einzelnen Leistungen der Turbinen gezogen  
25 werden können.

Die sehr geringen Torsionen von großen Kraftwerkswellen erfordern ein hochpräzises Anbringen sehr kleiner Marken, deren Abmessungen in der Größenordnung der Torsionsamplituden liegen müssen. Eine nach dem Stand der Technik ausgestaltete  
30 Vorrichtung ist damit äußerst empfindlich gegenüber Vibrationen und dem Spiel der Welle. Messungen können durch diese Einflüsse erheblich verfälscht oder gar unbrauchbar gemacht werden. Aus DE 35 17 889 A1 und DE 199 32 965 A1 sind Vor-  
35 richtungen offenbart, mit der in Wellen auftretende Torsionen mittels einer Messvorrichtung, die auf einem Moiré-Muster-Prinzip beruht, nachgewiesen werden können. Kräfte in Wellen,

die durch auf die Wellen wirkende Drehmomente hervorgerufen werden, können auch mit magnetoelastischen Sensoren bestimmt werden. Ein solcher Sensor arbeitet nach dem so genannten magnetoelastischen Effekt. Zur grundlegenden Funktionsweise  
5 sei hierzu auf das Buch „Sensors“, Vol. 5 (Magnetic Sensors), VCR-Verlagsgesellschaft, Weinheim (DE), 1989, Kapitel 4, Seiten 97 bis 152 verwiesen. Ein magnetoelastischer Sensor ist unter anderem in der Lage, die Differenz der mechanischen  
10 Zug- und Druckspannung bei Drehmomenteinwirkung auf eine Welle in der Wellenoberfläche zu erfassen. Dabei wird die auf die Zug- und Druckspannung zurückzuführende Änderung der magnetischen Permeabilität ausgenutzt. Ein entsprechender, berührungslos arbeitender Sensor ist dem Datenblatt: „Drehmomentsensor 2000, dat\_20000404“ der Firma „ProTurbo Überwachungssysteme GmbH, 40883 Ratingen (DE)“ zu entnehmen.  
15

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, die gegenüber dem Stand der Technik eine bezüglich der genannten Einflüsse weniger  
20 empfindliche und dennoch präzisere Messvorrichtung in Aussicht stellt, die zudem flexibeler zu handhaben und kostengünstiger zu installieren ist.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung mit den in Anspruch 1  
25 oder 6 angegebenen Maßnahmen gelöst.

In einer ersten Lösung ist die Erfindung mit den eingangs genannten Merkmalen gekennzeichnet dadurch, dass eine dem jeweiligen Drehmoment proportionale Torsion des entsprechenden  
30 Wellenteiles mit Hilfe mindestens eines optischen Sensors zu bestimmen ist.

Vorteil dieser Vorrichtung ist die Möglichkeit, für Anlagen in Einwellenkonfiguration, an denen an einer Welle mehrere  
35 Betriebsmittel angeordnet sind, eine Online-Auswertung des Leistungsvermögens der Betriebsmittel mit betrieblicher Messtechnik durchzuführen. Sie weist dabei nahezu dieselbe Genau-

igkeit auf, wie bei Anlagen, die von nur ein Betriebsmittel über eine Welle angetrieben werden. Die hohe Exaktheit der Torsionsmessungen und der daraus abgeleiteten Leistungsmessungen wird durch ein einfaches, unempfindlich arbeitendes  
5 optisches Sensorsystem gewährleistet.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung gemäß der Erfindung gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen hervor.

10

So kann der optische Sensor ein Moiré-Interferenz-Sensor sein. Mit einem Moiré-Interferenz-Sensor lassen sich kleinste Verschiebungen auf einfachstem Wege visualisieren.

15 Hierzu ist es besonders vorteilhaft, dass der Moiré-Interferenz-Sensor aus zwei in einem Abstand parallel zueinander stehenden Scheiben mit radial ausgestalteten Strichskalen mit jeweils unterschiedlicher Strichperiode, so dass ein Moiré-Muster erzeugbar ist, besteht, die derart an den jeweiligen  
20 Wellenabschnitt angeordnet sind, dass ein Abstand zwischen ihren beiden Fixierungen gegeben ist, so dass durch die Torsion des Wellenabschnittes innerhalb des Abstandes die beiden Scheiben relativ zueinander verdreht werden und sich dadurch das Moiré-Muster verändern kann, was mittels einer Detektor-  
25 vorrichtung zu erfassen ist. Durch die Wahl der unterschiedlichen Strichperioden kann die Empfindlichkeit der Messung über einen weiten Bereich möglichst einfach eingestellt werden. Damit ist die Vorrichtung sowohl für Anwendungen mit relativ großer Torsionsamplitude als auch für Anwendungen mit  
30 sehr kleiner Torsionsamplitude denkbar. Die Beschränkung nach unten wird erst durch die Grenzen der Mikrostrukturierung gegeben. Je näher der Betrag von  $(1-N_1/N_2)$  an Null heranreicht, desto kleinere Torsionsamplituden können gemessen werden.  $N_1$  ist dabei die Zahl der Striche auf einer von beiden Scheibe,  
35 während  $N_2$  die Zahl der Striche auf der anderen Scheibe ist. Eine weitere Einstellmöglichkeit der Empfindlichkeit ergibt sich in vorliegender Erfindung durch die Wahl des Abstandes

der Fixierung der beiden Scheiben auf der Welle. Ein weiterer Vorteil dieser Ausgestaltung ist, dass die Moiré-Muster-Veränderung sozusagen eine vielfache Verstärkung der Torsionsamplitude darstellt. Damit ist diese Vorrichtung unempfindlich gegenüber Schwingungen oder dem Spiel der Welle, die in der Größenordnung der Torsionsamplitude oder größer liegen können.

Hierzu ist es besonders vorteilhaft, dass beide Scheiben für Licht transparent sind und der Detektor aus einer optischen Sendeeinheit und einer Empfangseinheit besteht, derart angeordnet, dass die Veränderung des Moiré-Musters durch Transmission von Licht durch die beiden Scheiben zu erfassen ist. Diese Ausgestaltung lässt eine möglichst einfach zu realisierende Installation der Messvorrichtung zu.

Hierzu ist es auch vorteilhaft, dass eine Scheibe für Licht transparent ist, während die andere Scheibe für Licht reflektierend ist und der Detektor aus einer kombinierten Sendeeinheit und Empfangseinheit besteht, derart angeordnet, dass Licht, ausgesandt von der Sendeeinheit durch die transparente Scheibe auf die zweite Scheibe trifft, dort zur Sendeeinheit reflektiert wird und somit die Veränderung des Moiré-Musters zu erfassen ist. Diese platzsparende Ausgestaltungsform ist besonders vorteilhaft für Turbinen-Anlagen mit relativ kurzen Wellenteilen.

In einer zweiten Lösung ist die Erfindung mit den eingangs genannten Merkmalen gekennzeichnet dadurch, dass eine dem jeweiligen Drehmoment proportionale mechanische Spannung des entsprechenden Wellenteiles mit Hilfe mindestens eines magnetischen Sensors zu bestimmen ist.

Vorteil dieser Vorrichtung ist die Möglichkeit, für Anlagen in Einwellenkonfiguration, an denen an einer Welle mehrere Betriebsmittel angeordnet sind, eine Online-Auswertung des Leistungsvermögens der Betriebsmittel mit betrieblicher Mess-

technik durchzuführen. Sie weist dabei nahezu dieselbe Genauigkeit auf, wie bei Anlagen, die von nur einem Betriebsmittel über eine Welle angetrieben werden. Die hohe Exaktheit der mechanischen Spannungsmessungen und der daraus abgeleiteten Leistungsmessungen wird durch ein einfaches, unempfindlich arbeitendes magnetisches Sensorsystem gewährleistet.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung gemäß der Erfindung gehen aus den von Anspruch 6 abhängigen Ansprüchen hervor.

So kann der mindestens eine magnetische Sensor ein magnetoelastischer Sensor sein. Da der magnetoelastische Sensor empfindlich ist auf die in dem entsprechenden Wellenteil herrschenden mechanischen Zug- und Druckspannungen, lässt sich trotz sehr geringer Torsionen von großen Kraftwerkswellen ein Drehmoment ermitteln. Da die Drehmomentmessung zudem berührungslos verläuft, brauchen keine mechanischen Veränderungen am entsprechenden Wellenteil vorgenommen zu werden, und es müssen auch keine zusätzlichen Bauteile zur Messung an den entsprechenden Wellenteil angebracht werden. Darüber hinaus wird für eine Installation des magnetoelastischen Sensors nur ein freier Wellenteilabschnitt von etwa 10 cm in Längsrichtung des Wellenteils benötigt.

Hierzu ist es besonders zweckmäßig, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer Signalverarbeitungseinrichtung zur Aufbereitung von Messsignalen des mindestens einen magnetoelastischen Sensors auszuführen. In der Regel sind die direkt vom mindestens einen magnetoelastischen Sensor gelieferten Messsignale nicht geeignet für eine direkte Weitergabe an Prozesssteuerungssysteme, mit denen beispielsweise Gas- und Dampfturbinenanlagen überwacht und gesteuert werden. Mit der Signalverarbeitungseinrichtung können die Messsignale zu für die Prozesssteuerungssysteme geeigneten Signalen aufbereitet werden.

Insbesondere soll die erfindungsgemäße Vorrichtung mit mindestens einer Temperaturmesseinrichtung zur Bestimmung der Temperatur des entsprechenden Wellenteils und des magnetoelastischen Sensors ausgeführt sein. Hierzu kommen beispielsweise Infrarot-Thermometer in Frage, die zur berührungslosen Temperaturmessung die abgestrahlte Wärmestrahlung empfangen und auswerten. Da die Temperatur des Messobjektes und auch des mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensors selbst das Messergebnis beeinflussen, müssen die vorherrschenden Temperaturen beobachtet werden, um die Messergebnisse richtig interpretieren zu können. So können besonders Maßnahmen wie z.B. Kühlungen von entsprechenden Bauteilen veranlasst werden, um beispielsweise den mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensor auf konstanter Temperatur zu halten.

Dabei ist es zweckmäßig, dass die Signalverarbeitungseinrichtung Mittel zur Kompensation von auf Temperaturänderungen des entsprechenden Wellenteils zurückführbaren Messsignaländerungen aufweist. Somit können auf besonders einfache Weise Messsignalabweichungen, die auf eine Temperaturdrift des mindestens einen magnetoelastischen Sensors und des entsprechenden Wellenteils zurückzuführen sind, bei der Messsignalaufbereitung korrigiert werden. Da die Korrektur bei der Signalverarbeitung des Messsignals geschieht, kann unmittelbar auf Temperaturfluktuationen reagiert werden.

Es wird weiter vorgeschlagen, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit mindestens einer Abstandsmesseinrichtung zur Bestimmung des Abstandes des mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensors zum entsprechenden Wellenteil auszuführen. Auch der Abstand zwischen dem mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensor und der entsprechenden Wellenoberfläche beeinflusst das Messergebnis empfindlich, so dass sich Abstandsänderungen, beispielsweise hervorgerufen durch Vibrationen oder dem Spiel der Welle, bedeutend auf das vom mindestens einen magneti-

schen, insbesondere magnetoelastischen Sensor gelieferte Messsignal auswirken. Die Kenntnis des momentanen Abstandes kann in die Auswertung der Messergebnisse einfließen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

5

Somit ist es zweckmäßig, dass die Signalverarbeitungseinrichtung Mittel zur Kompensation von auf Abstandsänderungen des mindestens einen magnetoelastischen Sensors zum entsprechenden Wellenteil zurückführbaren Messsignaländerungen aufweist.

10 Da die Kompensation bei der Signalverarbeitung des Messsignals geschieht, können die auf die Abstandsänderungen zurückführbaren Messsignaländerungen unmittelbar bei der Messsignalaufbereitung korrigiert werden. Dies eignet sich insbesondere bei schnellen Abstandsänderungen, wie sie durch Wellen-  
15 vibrationen hervorgerufen werden.

Günstig ist es aber auch, die erfindungsgemäße Vorrichtung mit mindestens einem auf den mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensor wirkenden Stellmotor  
20 zur Änderung des Abstandes des mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensors zum entsprechenden Wellenteil auszuführen. Mit dem mindestens einen Stellmotor ist eine mechanische Nachführung des mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensors möglich, mit  
25 der vor allem größere Abstandsänderungen, wie sie bei einem Spiel der Welle vorliegen kann, korrigiert werden können. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn der Abstand zwischen dem mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensor und der entsprechenden Wellenoberfläche zeit-  
30 weise so groß werden kann, dass eine einem magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Effekt zugrunde liegende Messung mit dem mindestens einen magnetischen, insbesondere magnetoelastischen Sensor nicht mehr möglich ist. Diese Kompensationsmöglichkeit der Messsignaländerungen kann als Ergänzung  
35 zur vorgenannten, in der Signaleinrichtung realisierten Möglichkeit zur Kompensation von auf Temperaturänderungen zu-

rückführbaren Messsignaländerungen verstanden werden oder aber auch hierzu alternativ bzw. redundant eingesetzt werden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung gemäß  
5 der genannten ersten oder zweiten Lösung gehen aus den abhängigen Ansprüchen hervor.

So können die wenigstens beiden Betriebsmittel Strömungsmaschinen sein. Dies ist die am häufigsten anzutreffende Ausführungsform von Betriebsmitteln, die über eine Welle eine  
10 Maschine antreiben.

Vorteilhafterweise können hierzu die wenigstens beiden Strömungsmaschinen eine Gas- und eine Dampfturbine sein, während  
15 die Maschine ein Generator ist. Dies ist eine häufig anzutreffende Ausgestaltung, wie man sie in Gas- und Dampfturbinenkraftwerken findet.

Hierzu ist es vorteilhaft, dass der Generator zwischen den  
20 beiden Strömungsmaschinen angeordnet ist, wobei jeweils mindestens ein optischer Sensor zwischen den Strömungsmaschinen und dem Generator angeordnet ist. Durch diese Anordnung ist gewährleistet, dass die auf die Welle wirkenden Kräfte über die gesamte Welle gleichmäßiger verteilt sind, da jeder Wellenteil nur von einer Turbine angetrieben wird. Dies bedeutet  
25 für die Welle eine geringere Belastung, so dass sie insgesamt mit geringerem Gewicht ausgebildet werden kann.

Hierzu ist es besonders vorteilhaft, dass die Leistung  $P_{DT}$   
30 der Dampfturbine und die Leistung  $P_{GT}$  der Gasturbine aus einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{GT}$  der Gasturbine, einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{DT}$  der Dampfturbine und einer zu erfassenden Gesamtklemmenleistung  $P_{Gen}$  des Generators gemäß der Gleichungen  $P_{DT} = P_{Gen} \frac{M_{DT}}{M_{GT} + M_{DT}}$  und  $P_{GT} = P_{Gen} \frac{M_{GT}}{M_{GT} + M_{DT}}$  zu bestimmen  
35 sind. Mit diesen einfachen Gleichungen erhält man mit we-

nig Rechenaufwand die erwünschten Leistungswerte der Gas- und Dampfturbine in vorstehender Anordnung.

Vorteilhaft kann auch die Dampfturbine zwischen der Gasturbi-  
 5 ne und dem Generator angeordnet sein, wobei jeweils mindes-  
 tens ein optischer Sensor zwischen Gasturbine, Dampfturbine  
 und Generator angeordnet ist. Bei dieser Ausgestaltung der  
 Vorrichtung können weniger aufwendige Generatoren verwendet  
 werden, bei deren Konstruktion man keine durchgehende Welle  
 10 berücksichtigen muss.

Hierfür ist es besonders vorteilhaft, dass die Leistung  $P_{DT}$   
 der Dampfturbine und die Leistung  $P_{GT}$  der Gasturbine aus ei-  
 nem zu erfassenden Drehmoment  $M_{GT}$  der Gasturbine, einem zu  
 15 erfassenden Drehmoment  $M_{DG}$  am Wellenteil zwischen Dampfturbi-  
 ne und Generator und einer zu erfassenden Gesamtklemmenleis-  
 tung  $P_{Gen}$  des Generators gemäß der Gleichungen

$$P_{DT} = P_{Gen} \left(1 - \frac{M_{GT}}{M_{DG}}\right) \text{ und } P_{GT} = P_{Gen} \frac{M_{GT}}{M_{DG}} \text{ zu bestimmen sind. Mit}$$

diesen beiden einfachen Gleichungen erhält man mit wenig Re-  
 20 chenaufwand die erwünschten Leistungswerte der Gas- und  
 Dampfturbine in vorstehender Anordnung.

Vorteilhaft kann auch die Gasturbine zwischen der Dampfturbi-  
 ne und dem Generator angeordnet sein, wobei jeweils mindes-  
 25 tens ein optischer Sensor zwischen Dampfturbine, Gasturbine  
 und Generator angeordnet ist. Auch bei dieser Ausgestaltung  
 der Vorrichtung können weniger aufwendige Generatoren verwen-  
 det werden, bei deren Konstruktion man keine durchgehende  
 Welle berücksichtigen muss.

Hierzu ist es vorteilhaft, dass die Leistung  $P_{DT}$  der Dampf-  
 turbine und die Leistung  $P_{GT}$  der Gasturbine aus einem zu er-  
 fassenden Drehmoment  $M_{DT}$  der Dampfturbine, einem zu erfassen-  
 den Drehmoment  $M_{GG}$  am Wellenteil zwischen Gasturbine und Ge-  
 35 nerator und einer zu erfassenden Gesamtklemmenleistung  $P_{Gen}$   
 des Generators gemäß der Gleichungen  $P_{GT} = P_{Gen} \left(1 - \frac{M_{DT}}{M_{GG}}\right)$  und

$P_{DT} = P_{Gen} \frac{M_{DT}}{M_{GG}}$  zu bestimmen sind. Mit diesen einfachen Gleichungen erhält man mit wenig Rechenaufwand die erwünschten Leistungswerte der Gas- und Dampfturbine in vorstehender Anordnung.

5

Es auch denkbar, zur Drehmomentmessung sowohl ein optischer als auch ein magnetischer Sensor zu verwendet. Beispielsweise könne dabei beide Sensoren redundant das an einem Wellenteil vorliegende Drehmoment messen.

10

Bevorzugte, jedoch keinesfalls einschränkende Ausführungsbeispiele der Vorrichtung werden nunmehr anhand der Zeichnung näher erläutert. Zur Veranschaulichung ist die Zeichnung nicht maßstäblich ausgeführt und gewisse Merkmale sind schematisiert dargestellt. Im Einzelnen zeigt

15

Figur 1 eine Einwellenanlage, bei der ein Generator zwischen einer Gasturbine und einer Dampfturbine angeordnet ist,

20

Figur 2 eine Einwellenanlage, bei der eine Dampfturbine zwischen einem Generator und einer Gasturbine angeordnet ist,

25

Figur 3 eine Einwellenanlage, bei der eine Gasturbine zwischen einem Generator und einer Dampfturbine angeordnet ist,

Figur 4 einen Moiré-Interferenz-Sensor in Transmissionsausgestaltung,

Figur 5 einen Moiré-Interferenz-Sensor in Reflexionsausgestaltung,

30

Figur 6 einen Moiré-Interferenz-Sensor, der als Zwischenstück einer Welle einer Einwellenanlage ausgestaltet ist,

35

Figur 7 einen Moiré-Interferenz-Sensor, der als Aufsteckteil für eine Welle einer Einwellenanlage ausgestaltet ist in der Seitenansicht,

Figur 8 einen Moiré-Interferenz-Sensor, der als Aufsteckteil für eine Welle einer Einwellenanlage ausgestaltet ist im Querschnitt,

Figur 9 eine Drehmomentmessvorrichtung mit magnetoelastischem Sensors, elektronischer Temperaturdriftkompensation und elektronischer Abstandskorrektur und

Figur 10 eine Drehmomentmessvorrichtung mit magnetoelastischem Sensors, elektronischer Temperaturdriftkompensation und mechanischer Abstandskorrektur.

10

Einander entsprechende Teile sind in den Figuren 1 bis 10 mit denselben Bezugszeichen versehen.

Figuren 1 bis 3 zeigen drei Varianten von Einwellenanlagen mit einer Maschine 4 und Betriebsmitteln 1 und 8, insbesondere Strömungsmaschinen. Mit Figur 1 ist eine Einwellenanlage dargestellt, bei der ein Generator 4 zwischen einer Gasturbine 1 und einer Dampfturbine 8 angeordnet ist. Figur 2 zeigt eine Einwellenanlage, bei der eine Dampfturbine 8 zwischen einem Generator 4 und einer Gasturbine 1 angeordnet ist, während Figur 3 eine Einwellenanlage darstellt, bei der eine Gasturbine 1 zwischen einem Generator 4 und einer Dampfturbine 8 angeordnet ist. In den Figuren sind bezeichnet mit

1 eine Gasturbine,  
25 2 und 11 Wellenteile zwischen Gasturbine und Generator,  
3 eine Drehmomentmessvorrichtung für den Leistungsanteil der Gasturbine in Form eines optischen Sensors,  
4 ein Generator,  
30 5 und 9 Wellenteile zwischen Dampfturbine und Generator,  
6 eine Drehmomentmessvorrichtung für den Leistungsanteil der Dampfturbine in Form eines optischen Sensors,  
7 eine optionale Kupplung,  
35 8 eine Dampfturbine  
sowie

10 eine Drehmomentmessvorrichtung für die Gesamtleistung am Generator.

Wie den Figuren 1 bis 3 zu entnehmen ist, sind an den entsprechenden Wellenteilen 2, 5, 9 und 11 zwischen den Komponenten Gasturbine 1, Dampfturbine 8 und Generator 4 Messvorrichtungen in Form optischer und/oder magnetischer Sensoren 3, 6 und 10 zur jeweiligen Bestimmung der Torsion und/oder von mechanischen Spannungen und damit von Drehmomenten installiert. Die mechanischen Spannungen in den Wellenteilen 2, 5, 9 und 11, die Torsion und die auf die Wellenteile 2, 5, 9 und 11 wirkenden Drehmomente sind zueinander direkt proportional. Das Verhältnis der Drehmomente, die die Wellenteile 2, 5, 9 und 11 von der Gasturbine 1 und der Dampfturbine 8 erfahren, ist ein direktes Maß für die Aufteilung der Leistungsanteile von Gasturbine 1 und Dampfturbine 8.

Ist der Generator 4 in der Mitte angeordnet, wie in Figur 1 dargestellt, können den beiden Wellenteilen 2 und 5 links und rechts vom Generator die Gasturbine 1 und die Dampfturbine 8 direkt zugeordnet werden. Es gilt der folgende Berechnungsgang:

Aus

25 Gleichung 1:  $\frac{M_{GT}}{M_{DT}} = \frac{P_{GT}}{P_{DT}}$  und

Gleichung 2:  $P_{Gen} = P_{GT} + P_{DT}$

lassen sich die Leistungsanteile der Gasturbine 1 und der Dampfturbine 8 ableiten zu

30

Gleichung 3:  $P_{GT} = P_{Gen} \frac{M_{GT}}{M_{GT} + M_{DT}}$  und

Gleichung 4:  $P_{DT} = P_{Gen} \frac{M_{DT}}{M_{GT} + M_{DT}}$  .

Der entsprechende Brennstoffmassenstrom für die Gasturbine 1 wird dabei indirekt durch Anwendung eines Gasturbinenthermo-

35

dynamik-Simulationsmodells ermittelt. Bei der Berechnung gehen unter anderem Parameter ein, welche die Umgebungsbedingungen wiedergeben. Das sind beispielsweise die Umgebungstemperatur, der Umgebungsluftdruck, die relative Luftfeuchtigkeit und Verluste, wie beispielsweise Druckverluste in der Ansaug- und Abgasstrecke der Turbine.

Ist der Generator 4 an einem Ende angeordnet, wie in Figur 2 und Figur 3 dargestellt, wird an den Wellenteil 9 und 11, der unmittelbar an den Generator 4 anschließt, das Gesamtdrehmoment  $M_{DG}$  bzw.  $M_{GG}$  übertragen. Für die in Figur 2 dargestellte Anordnung ergeben sich mit

Gleichung 5: 
$$\frac{M_{GT}}{M_{DG}} = \frac{P_{GT}}{P_{Gen}}$$

15

und Gleichung 2 die entsprechenden Turbinenleistungen zu

Gleichung 6: 
$$P_{GT} = P_{Gen} \frac{M_{GT}}{M_{DG}} \quad \text{und}$$

Gleichung 7: 
$$P_{DT} = P_{Gen} \left(1 - \frac{M_{GT}}{M_{DG}}\right) .$$

20

Entsprechend lassen sich die Turbinenleistungen für die Anordnung, wie in Figur 3 dargestellt, analog berechnen mit

Gleichung 8: 
$$\frac{M_{DT}}{M_{GG}} = \frac{P_{DT}}{P_{Gen}}$$

25

und Gleichung 2 zu

Gleichung 9: 
$$P_{GT} = P_{Gen} \left(1 - \frac{M_{DT}}{M_{GG}}\right) \quad \text{und}$$

Gleichung 7: 
$$P_{DT} = P_{Gen} \frac{M_{DT}}{M_{GG}} .$$

30

In den vorangehenden Gleichungen 1 bis 10 wird mit

- $M_{GT}$  das gemessene Drehmoment auf dem Wellenteil 2 zwischen Gasturbine 1 und Generator 4,  
 $M_{DT}$  das gemessene Drehmoment auf dem Wellenteil 5 zwischen Dampfturbine 8 und Generator 4,  
5  $M_{DG}$  das gemessene Gesamtdrehmoment auf dem Wellenteil 9 zwischen Dampfturbine 8 und Generator 4,  
 $M_{GG}$  das gemessene Gesamtdrehmoment auf dem Wellenteil 11 zwischen Gasturbine 1 und Generator 4,  
 $P_{GT}$  die Leistung der Gasturbine 1,  
10  $P_{DT}$  die Leistung der Dampfturbine 8 und  
 $P_{Gen}$  die gemessene Generatorklemmenleistung  
verstanden.

Ist es aus Platzgründen nicht möglich, eine Drehmomentmessung  
15 auf einer Turbinenseite, beispielsweise der Dampfturbinenseite 8, zu realisieren, so lässt sich das Verfahren auf im Folgenden offenbar Weise zur Online-Bestimmung der Leistung der anderen Turbine nutzen, auch wenn lediglich die Drehmomentmessung am Wellenteil 2 und 11 der anderen Turbine, hier  
20 Gasturbine 1, durchgeführt werden kann:

Mit einer optional angeordneten Kupplung 7, die in Figur 1 dargestellt ist, kann die Dampfturbine 8 ausgekuppelt werden. Im Solobetrieb der Gasturbine 1, in dem die angezeigte Generatorklemmenleistung ausschließlich den Leistungsanteil der  
25 Gasturbine 1 widerspiegelt, wird eine Kennlinie des Drehmomentes in Abhängigkeit der Generatorklemmenleistung aufgenommen. Im Betrieb mit Gasturbine 1 und Dampfturbine 8 wird dann auf der Gasturbinenwelle 2 das Drehmoment gemessen und eine  
30 weitere Kennlinie aufgenommen. Durch Vergleich beider Kennlinien kann sofort der zugehörige Generatorklemmenleistungsanteil der Gasturbine 1 bestimmt werden.

Bei Einwellenanlagen, bei denen keine Kupplung 7 angeordnet  
35 werden kann, muss an einer typgleichen Gasturbinen-Generatorkombination ohne Dampfturbinen-Teil die entsprechende Kennli-

nie erstellt werden, um diese dann auf die entsprechende Einwellen-Gas- und Dampfturbinen-Anlage zu übertragen.

In den Figuren 4 bis 8 sind Ausführungsformen eines Moiré-  
5 Interferenz-Sensors dargestellt. Dabei sind in den Figuren bezeichnet mit

- 11 eine transparente Scheibe mit der Strichzahl  $N_1$ ,
- 12 eine transparente Scheibe mit der Strichzahl  $N_2$ ,
- 10 13 eine Fixierung des Drehmomentsensors,
- 14 eine optische Sendeeinheit,
- 15 eine optische Empfangseinheit,
- 16 ein Wellenteil,
- 17 eine Torsionsstrecke,
- 15 18 eine Rotationsrichtung der Welle,
- 19 eine integrierte optische Sende- und Empfangseinheit,
- 20 eine Strichskala,
- 21 von der Sendeeinheit abgestrahltes Licht,
- 22 ein in Richtung der Empfangseinheit strahlender Lichtan-  
20 teil,
- 23 ein Anschlussflansch an das Wellenteil,
- 24 eine reflektierende Scheibe mit der Strichzahl  $N_1$  und
- 25 eine Befestigung.

25 Bei dem Moiré-Interferenz-Sensor wird zunächst eine Torsionsstrecke 17 auf dem Wellenteil 16 vorausgesetzt, auf dem der Sensor angeordnet ist. An den beiden Enden der Torsionsstrecke 17 sind über entsprechende Hilfskonstruktionen auf Scheiben 12, 11 bzw. 24 angebrachte, radial ausgestaltete Strichskalen 20 positioniert. Die Scheiben 12, 11 bzw. 24 sind auf gleicher Länge mit Strichskalen 20 leicht unterschiedlicher Strichzahl  $N_1$  und  $N_2$  versehen. So kann eine Skala 20 beispielsweise  $N_1=100$  Striche enthalten, während es bei der anderen  $N_2=101$  Striche sind. Die beiden Scheiben 12, 11 bzw. 24  
30 werden dicht beieinander platziert. Wird von außen ein Lichtstrahl 21 auf die Anordnung gelenkt, durchläuft er beide  
35 Scheiben 12, 11 bzw. 24 und wird je nach Lage der Striche auf

den Skalen 20 durchgelassen, leicht geschwächt oder vollständig ausgeblendet. Die sich aus der Überlagerung der beiden Skalen 20 ergebenden Muster sind durch Hell-Dunkelbereiche gekennzeichnet. Aufgrund der verschiedenen Perioden der beiden Skalen 20 ergibt sich folgende Eigenschaft für die Lage der Hell-Dunkelbereiche. Verschieben sich die beiden Skalen 20 durch Torsion um einen Strich gegeneinander, so macht der Dunkelbereich etwa einen Umlauf entlang der Skala 20 auf der Scheibe 12. Der Dunkelbereich dient nun als Skala, so dass die einzelnen Striche nicht einzeln detektiert werden müssen. Durch diesen Effekt lässt sich der Torsionswinkel fast beliebig vergrößern und die Torsion leichter ablesen. Die Ablesung von außen kann über die Messung des von der Skala 20 zurückkommenden Lichtes 22 erfolgen. Die Zahl der Hell-Dunkelmaxima ist durch die Differenz der Strichzahlen der beiden sich überlagernden Skalen 20 gegeben. Somit muss je nach Zahl der benötigten Messpunkte über einen vollen Umfang, die durch die Maxima gegeben sind, die Anzahl der Striche auf den Skalen 20 absolut und relativ zueinander variiert werden.

20

Um die relative Verschiebung der Maxima zu erfassen, kann auch eine zweite Doppelskala mit vertauschten Perioden benutzt werden. Auf dieser zweiten Doppelskala bewegen sich die Maxima bei Torsion entgegengesetzt zur anderen Skala 20. Bei nicht bekanntem Drehwinkel ist somit die Relativlage der Maxima beider Doppelskalen ein Maß für die Torsion.

25

Weiter ist auch möglich, für das vorliegende Prinzip Skalen 20 zu verwenden, die nicht optisch, sondern auf elektrischen Prinzipien, auf mechanischen Prinzipien oder auf Ultraschall basieren. Bei den elektrischen Prinzipien sind kapazitive und bei den mechanischen Prinzipien akustische Messmethoden vorstellbar. Prinzipiell sind auch Skalen 20 mit veränderter Periode denkbar.

35

Mit der Empfängereinheit 15 bzw. 19 müssen nicht die sehr kleinen, im Allgemeinen „schnell“ vorbeieilenden Einzelstri-

che detektiert werden, sondern nur die räumlich ausgedehnten Hell-Dunkelmaxima. Dafür müssen die Empfängersignale mit wesentlich niedrigerer Grenzfrequenz ausgewertet werden. Die absolute Lage des Hell-Dunkelmusters relativ zur Winkelposition des Wellenteils 16 bzw. die relative Phase zwischen den Mustern zweier Skalen 20 ist ein Maß für die Torsion und somit das Drehmoment. Diese Information wird bereits auf dem Wellenteil 16 generiert. Sie kann mit optischen oder bildtechnischen Methoden von außen während der Drehbewegung oder auch im Stand erfasst werden. Dazu wird beispielsweise ein Lichtstrahl 21 von einer feststehenden Sende- 14 und Empfangseinheit 15 bzw. 19 auf die Moiré-Skala gelenkt und das dort modulierte Licht mittels einer oder mehrerer Photodetektoren erfasst. Dabei kann vergleichbar zum Lichtschrankenprinzip einmal in Transmission mit getrennter Sendeeinheit 14 und Empfangseinheit 15, wie in Abbildung 4 dargestellt, oder in Reflexion mit kombinierter Sende- und Empfangseinheit 19, wie in Abbildung 5 dargestellt, gemessen werden. Aus den Photodetektorsignalen und der Drehgeschwindigkeit kann auf elektronischem Wege die Verschiebung der Hell-Dunkelzonen ermittelt werden. Da die Signale quasi kontinuierlich vorliegen, kann dies entsprechend kontinuierlich erfolgen. Um beim bewegten Sensor das Drehmoment aus einem Zeitsignal zu gewinnen, muss zusätzlich der absolute Drehwinkel mit erfasst werden. Arbeitet man mit zwei entgegenlaufenden Doppelskalen, kann der relative Abstand als Maß für das Drehmoment benutzt werden, dabei geht dann lediglich die Drehgeschwindigkeit ein.

In den Figuren 6 bis 8 sind zwei Ausführungsformen zum Anbringen der Messvorrichtung 3, 6 und 10 an Wellenteilen 16 dargestellt. Figur 6 zeigt einen Drehmomentsensor 3, 6 und 10, der als Zwischenstück zwischen zwei Wellenteilen 16 ausgestaltet ist. Die Anschlüsse an die jeweiligen Wellenteile 16 erfolgen dabei über zwei Flansche 23, mit denen die Messvorrichtung an die Wellenteile 16 beispielsweise verschraubt werden kann.

Die in Figur 7 und 8 dargestellte Ausführungsform des Drehmomentsensors 3, 6 und 10 ist als Aufsteckteil ausgeführt. Figur 7 zeigt die Seitenansicht, während Figur 8 den Querschnitt eines Teiles der Messvorrichtung 3, 6 und 10 darstellt. Je nach Lage der Fixierungen 13, beispielsweise Schrauben, längs des Wellenteiles 16, kann die Torsionsstrecke 17 frei eingestellt werden. Zur einfachen Installation ist die Messvorrichtung 3, 6 und 10, wie in Figur 8 dargestellt, in zwei einander entsprechenden Teilen ausgeführt, die nach dem Anbringen an das Wellenteil 16 mit entsprechenden Mitteln zur Befestigung 25 miteinander befestigt werden können. Als Mittel zur Befestigung kommen beispielsweise Schrauben oder Klemmen in Frage.

15

In Figur 9 ist eine Drehmomentmessvorrichtung mit einem magnetoelastischen Sensor 30 schematisch dargestellt. Bei dem verwendeten Sensor handelt es sich beispielsweise um eine Ausführungsform, wie sie im vorgenannten Datenblatt: „Drehmomentsensor 2000, dat\_20000404“ der Firma „ProTurbo Überwachungssysteme GmbH, 40883 Ratingen (DE)“ beschrieben ist. Der magnetoelastische Sensor 30 arbeitet berührungslos und ist in einem Abstand  $d$  von ca. 0,75 mm von der Wellenteiloberfläche 016 entfernt angeordnet. Weiter ist beim magnetoelastischen Sensor 30 eine Temperaturmesseinrichtung 50 derart angeordnet, dass die Temperatur des Wellenteils 16, insbesondere der Wellenteiloberfläche 016, und des Sensors 30 während der Messung ermittelt werden kann. Als Temperaturmesseinrichtung 50 kommt beispielsweise Infrarot-Thermometer mit einem Infrarot-Strahlungsempfänger in Frage. Beim magnetoelastischen Sensor 30 ist zudem eine Abstandsmesseinrichtung 40 derart angeordnet, dass der Abstand  $d$  zwischen magnetoelastischem Sensor 30 und Wellenteiloberfläche 16 während der Messung ermittelt werden kann. Als Abstandsmesseinrichtung 40 kommt beispielsweise eine kapazitive Abstandsmesseinrichtung in Frage. Magnetoelastischer Sensor 30, Temperatur- und Abstandsmessvorrichtung 50 und 40 sind dabei ortsfest angeord-

net. Hierbei ist es beispielsweise besonders vorteilhaft, dass der magnetoelastische Sensor 30 und die Abstandsmesseinrichtung 40 ein gemeinsames Gehäuse aufweisen.

- 5 Bei einer Messung wird ein Messsignal S30 des magnetoelastischen Sensors 30 an eine Signalverarbeitungseinrichtung 60 übermittelt, in welcher es für die Auswertung in einem Prozesssteuerungssystem 70 aufbereitet wird.
- 10 Da magnetoelastische Sensoren in der Regel temperaturempfindlich sind, ist es bei einer Temperaturänderung während einer Messung vorteilhaft, das vom Sensor 30 gelieferte Messsignal S30 zu korrigieren. Hierzu wird das Messsignal S30 des magnetoelastischen Sensors 30 und ein Messsignale S50 der Temperaturmesseinrichtung 50 an ein Mittel 61 zur Kompensation von
- 15 auf Temperaturänderungen zurückführbaren Messsignaländerungen übermittelt. Mit Hilfe einer zuvor bei konstantem Abstand  $d$  des magnetoelastischen Sensors 30 zur Wellenteiloberfläche 016 ermittelten Temperaturdriftkennlinie des magnetoelastischen Sensors 30 korrigiert dieses Kompensationsmittel 61 das
- 20 Messsignal S30 bezüglich einer Temperaturänderung auf elektronischem Wege. Dieses korrigierte Messsignal S61 wird weiter an ein Mittel 62 zur Kompensation von auf Abstandsänderungen des magnetoelastischen Sensors 30 zum Wellenteil 16 zurück-
- 25 führbaren Messsignaländerungen übermittelt. Das Messsignal S40 mit der Abstandsinformation wird von der Abstandsmesseinrichtung 40 ebenfalls an das Kompensationsmittel 62 weitergegeben. Mittels einer zuvor bei konstanter Temperatur ermittelten Abstandsabhängigkeit des magnetoelastischen Sensors 30
- 30 zur Wellenteiloberfläche 016 kann eine Abstandskorrekturkennlinie bestimmt werden, mit Hilfe dieser das Kompensationsmittel 62 das Messsignal S61 bezüglich einer Abstandsänderung ebenfalls auf elektronischem Wege korrigiert. Das Messsignal S62, das nun bezüglich einer Temperatur- und Abstandsänderung
- 35 bereinigt ist, wird weiter an eine Signalverarbeitungseinheit 63 übermittelt, mit der es zu einem für die Verarbeitung im

Prozesssteuerungssystem 70 geeigneten Signal S63 aufbereitet wird.

In Figur 10 ist analog zu Figur 9 eine Drehmomentmessvorrichtung mit einem magnetoelastischen Sensor 30 schematisch dargestellt. Der wesentliche Unterschied zur Darstellung in Figur 9 besteht darin, dass mit diesem Ausführungsbeispiel mögliche Abstandsänderungen des magnetoelastischen Sensors 30 zur Wellenteiloberfläche 016 nicht auf elektronischem Wege kompensiert werden, sondern auf mechanischem Wege mittels eines Stellmotors 90. Dazu wird während einer Messung das Messsignal S40 mit der Information über den Abstand d von der Abstandsmesseinrichtung 40 an eine Steuereinheit 80 übermittelt. Mit der Steuereinheit 80 wird der momentane Wert des Abstandes d mit dem zuvor bestimmten Sollwert von beispielsweise 0,75 mm verglichen und bei Abweichung der Stellmotor 90 zum Wiederherstellen des Abstandssollwertes entsprechend mittels eines Steuersignals S80 angesteuert. Je nach Ausführungsform kann die Abstandsmesseinrichtung 40 separat und unabhängig vom magnetoelastischen Sensor 30 und Stellmotor 90 angeordnet sein, oder aber auch, wie im Ausführungsbeispiel in Figur 10 angedeutet, in einem gemeinsamen Gehäuse mit dem magnetoelastischen Sensor 30 ausgebildet sein. Der Stellmotor 90 führt somit den magnetoelastischen Sensor 30 gemeinsam mit der Abstandsmesseinrichtung 40 entsprechend der Abstandsänderung nach.

Analog zum Ausführungsbeispiel aus Figur 9 wird das Messsignal S30 des magnetoelastischen Sensors 30 und das Messsignal S50 der Temperaturmesseinrichtung 50 an das Mittel 61 zur Kompensation von auf Temperaturänderungen zurückführbaren Messsignaländerungen übermittelt. Das dort bezüglich einer Temperaturänderung auf elektronischem Wege korrigierte Messsignal S61 wird dann der Signalverarbeitungseinheit 63 zur Signalaufbereitung zugeführt, von wo aus das aufbereitete Signal S63 an das Prozesssteuerungssystem 70 gesandt wird.

Nicht dargestellt ist eine mögliche Ausführungsform, bei der zusätzlich vor die Signalverarbeitungseinheit 63, analog zum Ausführungsbeispiel aus Figur 9, das Kompensationsmittel 62 zur elektronischen Korrektur einer Abstandsänderung geschaltet sein kann. Dies ist besonders dann sinnvoll und von Vorteil, wenn Abstandsänderungen mit hoher Frequenz vorliegen. So können beispielsweise bei Vibrationen des Wellenteils 16 derart hohe Frequenzen und damit derart hohe Abstandsänderungsgeschwindigkeiten vorliegen, dass der Stellmotor 90 mit der Nachführung des magnetoelastischen Sensors 30 nicht nachkommt. Bei Abstandsänderungen mit großer Amplitude und niedriger Frequenz ist das mechanische Korrekturverfahren jedoch im Vorteil gegenüber der elektronischen Kompensationseinheit 62. Denn für den Fall, dass der Abstand  $d$  zwischen magnetischem Sensor 30 und der Wellenteiloberfläche 016 größer wird als die Messreichweite, in der eine Messung nach dem magnetoelastischen Effekt noch möglich ist, kann der Sensor 30 mit dem Stellmotor 90 bis zum Erreichen der geforderten Messreichweite nachgeführt werden. Die elektronische Korrekturereinheit 62 hingegen erhält in diesem Fall kein bzw. kein verwertbares Messsignal vom magnetoelastischen Sensor 30 und ist somit wirkungslos.

Für die Übermittlung der Messsignale S30, S40, S50, S61, S62, S63 und S80 sind vorzugsweise elektrische Leiter vorgesehen. Insbesondere zwischen dem magnetoelastischen Sensor 30, der Abstands- und Temperaturmesseinrichtungen 40 und 50 einerseits und der Signalverarbeitungseinrichtung 60 andererseits bzw. zwischen der Signalverarbeitungseinrichtung 60 und dem Prozesssteuerungssystem 70 sind für die Signalübermittlung aber auch Funk- und/oder Lichtübertragungseinrichtungen denkbar.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung von Leistungen wenigstens zweier Betriebsmittel (1, 8), die Rotationsenergie mittels einer gemeinsamen Welle mit gerichteter Achse an eine Maschine (4) übertragen, wobei jeweils ein jedem Betriebsmittel (1, 8) zugeordneter und in Richtung auf die Maschine (4) weisender Wellenteil (2, 5, 9, 11, 16) von seinem zugeordneten Betriebsmitteln (1, 8) ein Drehmoment erfährt, das ein Maß für die von dem jeweiligen Betriebsmittel (1, 8) abgegebene Leistung ist und das zu einer dem jeweiligen Drehmoment proportionalen Torsion dieses Wellenteiles (2, 5, 9, 11, 16) führt, die mit Hilfe mindestens eines optischen Sensors (3, 6, 10) zu bestimmen ist.

15

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Sensor (3, 6, 10) ein Moiré-Interferenz-Sensor ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Moiré-Interferenz-Sensor aus zwei in einem Abstand parallel zueinander stehenden Scheiben (11, 24, 12) mit radial ausgestalteten Strichskalen (20) mit jeweils unterschiedlicher Strichperiode, so dass ein Moiré-Muster erzeugbar ist, besteht, die derart an dem jeweiligen Wellenteil (16) angeordnet sind, dass ein Abstand (17) zwischen ihren beiden Fixierungen (13) gegeben ist, so dass durch die Torsion des durch den Abstand (17) gegebenen Wellenabschnittes innerhalb des Abstandes (17) die beiden Scheiben (11, 24, 12) relativ zueinander verdreht werden und sich dadurch das Moiré-Muster verändern kann, was mittels einer Detektorvorrichtung zu erfassen ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass beide Scheiben (11, 12) für Licht transparent sind und der Detektor aus einer optischen Sendeeinheit (14) und einer Empfangseinheit (15) besteht, derart angeordnet, dass die Verän-

derung des Moiré-Musters durch Transmission von Licht (21, 22) durch die beiden Scheiben (11, 12) zu erfassen ist.

5 5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Scheibe (12) für Licht transparent ist, während die andere Scheibe (24) für Licht reflektierend ist und der Detektor aus einer kombinierten Sende- und Empfangseinheit (19) besteht, derart angeordnet, dass Licht (21, 22), ausgesandt von der Sende- und Empfangseinheit (19) durch die transparente Scheibe (12) auf die zweite Scheibe (24) trifft, dort zur Sende- und Empfangseinheit (14) reflektiert wird und somit die Veränderung des Moiré-Musters zu erfassen ist.

15 6. Vorrichtung zur Bestimmung von Leistungen wenigstens zweier Betriebsmittel (1, 8), die Rotationsleistung mittels einer gemeinsamen Welle mit gerichteter Achse an eine Maschine (4) übertragen, wobei jeweils ein jedem Betriebsmittel (1, 8) zugeordneter und in Richtung auf die Maschine (4) weisender Wellenteil (2, 5, 9, 11, 16) von seinem zugeordneten Betriebsmitteln (1, 8) ein Drehmoment erfährt, das ein Maß für die von dem jeweiligen Betriebsmittel (1, 8) abgegebene Leistung ist und das zu einer dem jeweiligen Drehmoment proportionalen mechanischen Spannung des Wellenteiles (2, 5, 9, 11, 16) führt, die mit Hilfe mindestens eines magnetischen Sensors (3, 6, 10) zu bestimmen ist.

30 7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine magnetische Sensor (3, 6, 10) ein magnetoelastischer Sensor (30) ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch eine Signalverarbeitungseinrichtung (60) zur Aufbereitung von Messsignalen (S30) des magnetoelastischen Sensors (30).

35 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, gekennzeichnet durch mindestens eine Temperaturmesseinrichtung (50) zur

Bestimmung der Temperatur des entsprechenden Wellenteils (2, 5, 9, 11, 16) und des magnetoelastischen Sensors (30).

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 und einem der Ansprüche 6 bis 5 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalverarbeitungseinrichtung (60) Mittel (61) zur Kompensation von auf Temperaturänderungen des entsprechenden Wellenteils (2, 5, 9, 11, 16) zurückführbaren Messsignaländerungen aufweist.
- 10 11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, gekennzeichnet durch mindestens eine Abstandsmesseinrichtung (40) zur Bestimmung des Abstandes (d) des mindestens einen magnetischen Sensors (3, 6, 10, 30) zum entsprechenden Wellenteil (2, 5, 9, 11, 16).
- 15 12. Vorrichtung nach Anspruch 8 und einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalverarbeitungseinrichtung (60) Mittel (62) zur Kompensation von auf Abstandsänderungen des mindestens einen magnetischen Sensors (3, 6, 20 10, 30) zum entsprechenden Wellenteil (2, 5, 9, 11, 16) zurückführbaren Messsignaländerungen aufweist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, gekennzeichnet durch mindestens einen auf den mindestens einen magnetischen Sensors (3, 6, 10, 30) wirkenden Stellmotor (90) 25 zur Abstandsänderung des mindestens einen magnetischen Sensors (3, 6, 10, 30) zum entsprechenden Wellenteil (2, 5, 9, 11, 16).
- 30 14. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens beiden Betriebsmittel (1, 8) Strömungsmaschinen sind.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, 35 dass die wenigstens beiden Strömungsmaschinen eine Gasturbine (1) und eine Dampfturbine (8) sind und die Maschine ein Generator (4) ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet,  
 dass der Generator (4) zwischen den beiden Strömungsmaschinen  
 (1, 8) angeordnet ist, wobei jeweils mindestens ein optischer  
 5 Sensor (3, 6, 10) zwischen den Strömungsmaschinen (1, 8) und  
 dem Generator (4) angeordnet ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet,  
 dass die Leistung  $P_{DT}$  der Dampfturbine (8) und die Leistung  
 10  $P_{GT}$  der Gasturbine (1) aus einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{GT}$   
 der Gasturbine (1), einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{DT}$  der  
 Dampfturbine (8) und einer zu erfassenden Gesamtklemmenleis-  
 tung  $P_{Gen}$  des Generators (4) gemäß der Gleichungen

$$P_{DT} = P_{Gen} \frac{M_{DT}}{M_{GT} + M_{DT}} \quad \text{und} \quad P_{GT} = P_{Gen} \frac{M_{GT}}{M_{GT} + M_{DT}}$$

15 zu bestimmen sind.

18. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet,  
 dass die Dampfturbine (8) zwischen der Gasturbine (1) und dem  
 Generator (4) angeordnet ist, wobei jeweils mindestens ein  
 20 optischer Sensor (3, 6, 10) zwischen Gasturbine (1), Dampf-  
 turbine (8) und Generator (4) angeordnet ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet,  
 dass die Leistung  $P_{DT}$  der Dampfturbine (8) und die Leistung  
 25  $P_{GT}$  der Gasturbine (1) aus einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{GT}$   
 der Gasturbine (1), einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{DG}$  am  
 Wellenteil (9) zwischen Dampfturbine (8) und Generator (4)  
 und einer zu erfassenden Gesamtklemmenleistung  $P_{Gen}$  des Gene-  
 rators (4) gemäß der Gleichungen

$$30 \quad P_{DT} = P_{Gen} \left(1 - \frac{M_{GT}}{M_{DG}}\right) \quad \text{und} \quad P_{GT} = P_{Gen} \frac{M_{GT}}{M_{DG}}$$

zu bestimmen sind.

20. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet,  
 dass die Gasturbine (1) zwischen der Dampfturbine (8) und dem

Generator (4) angeordnet ist, wobei jeweils mindestens ein optischer Sensor (3, 6, 10) zwischen Dampfturbine (8), Gasturbine (1) und Generator (4) angeordnet ist.

- 5 21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung  $P_{DT}$  der Dampfturbine (8) und die Leistung  $P_{GT}$  der Gasturbine (1) aus einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{DT}$  der Dampfturbine (8), einem zu erfassenden Drehmoment  $M_{GG}$  am Wellenteil (11) zwischen Gasturbine (1) und Generator (4) und  
10 einer zu erfassenden Gesamtklemmenleistung  $P_{Gen}$  des Generators gemäß der Gleichungen

$$P_{GT} = P_{Gen} \left(1 - \frac{M_{DT}}{M_{GG}}\right) \quad \text{und} \quad P_{DT} = P_{Gen} \frac{M_{DT}}{M_{GG}}$$

zu bestimmen sind.

FIG 1

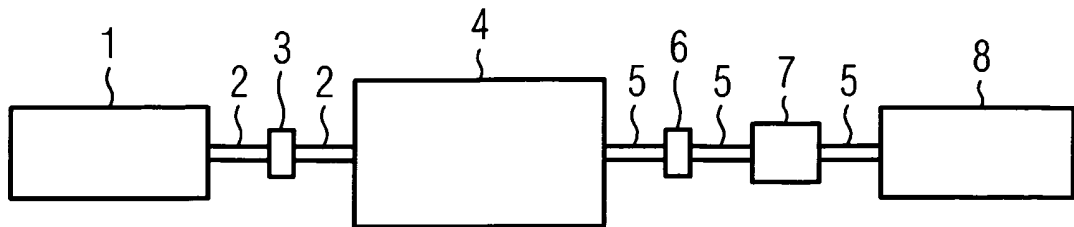


FIG 2

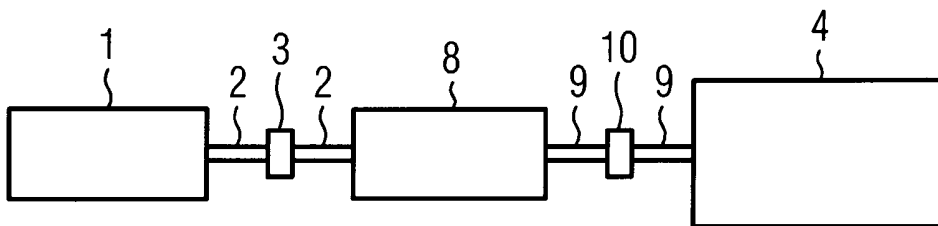


FIG 3

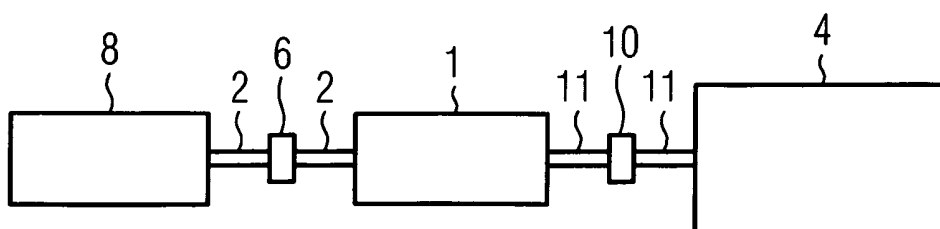


FIG 4

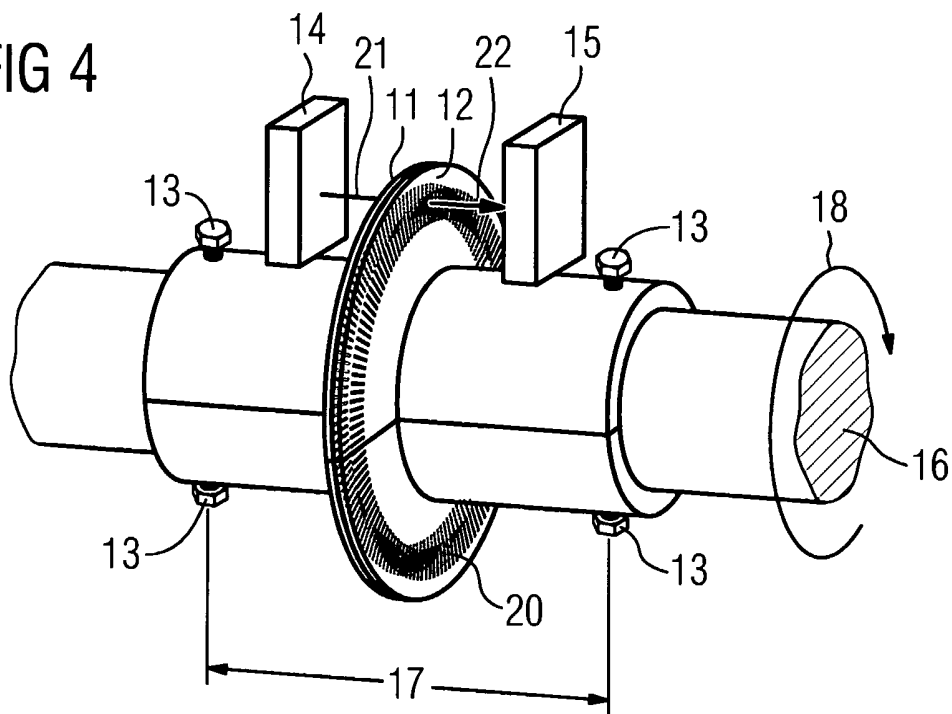


FIG 5

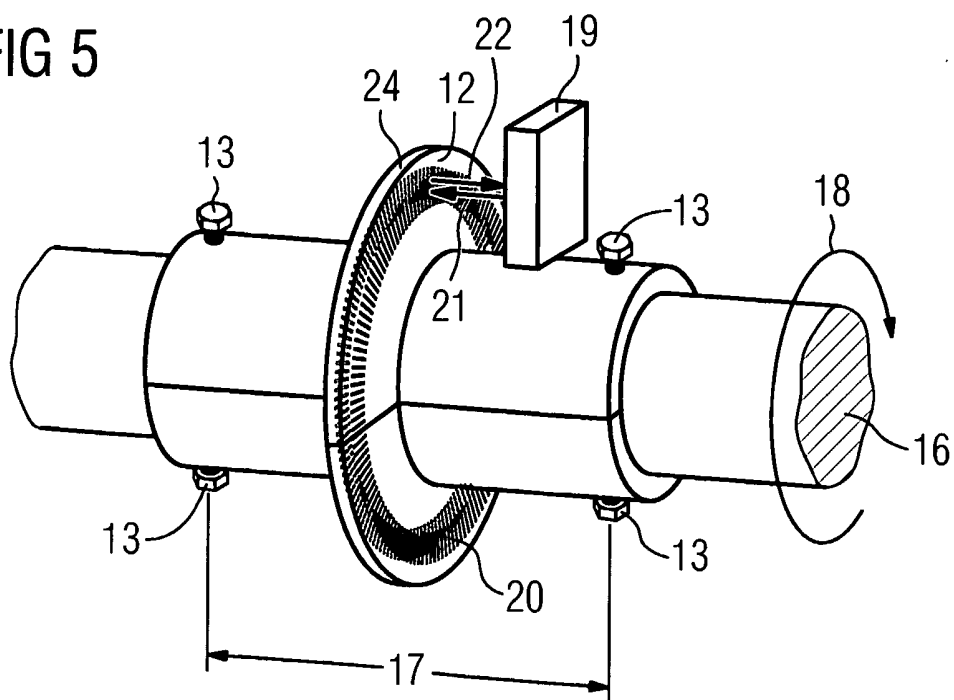


FIG 6

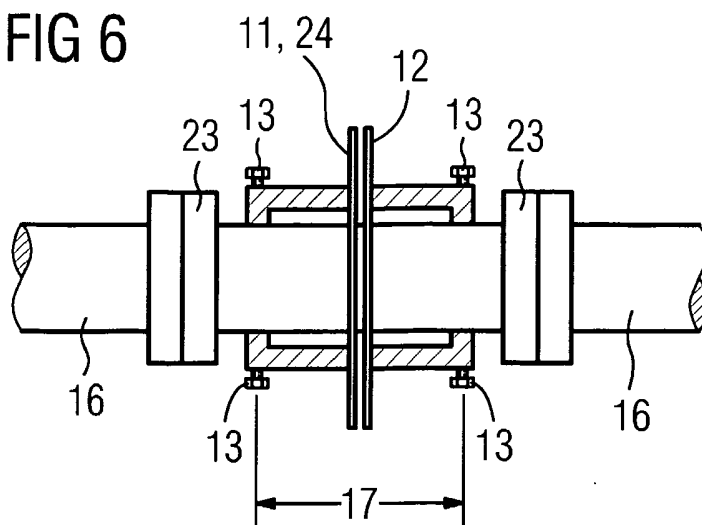


FIG 7

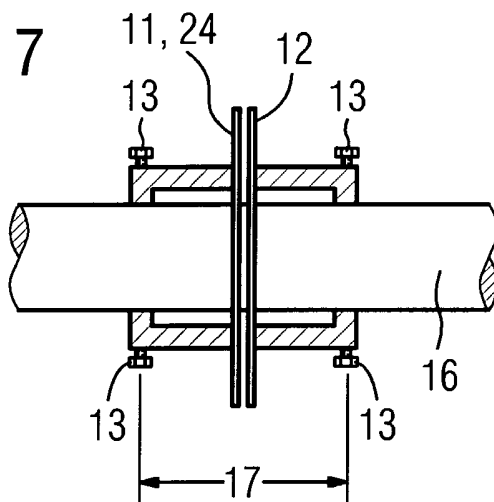


FIG 8

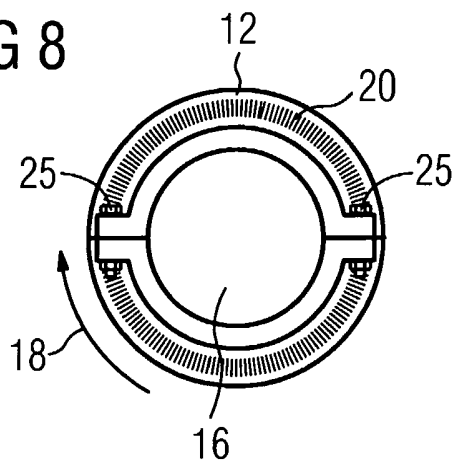


FIG 9

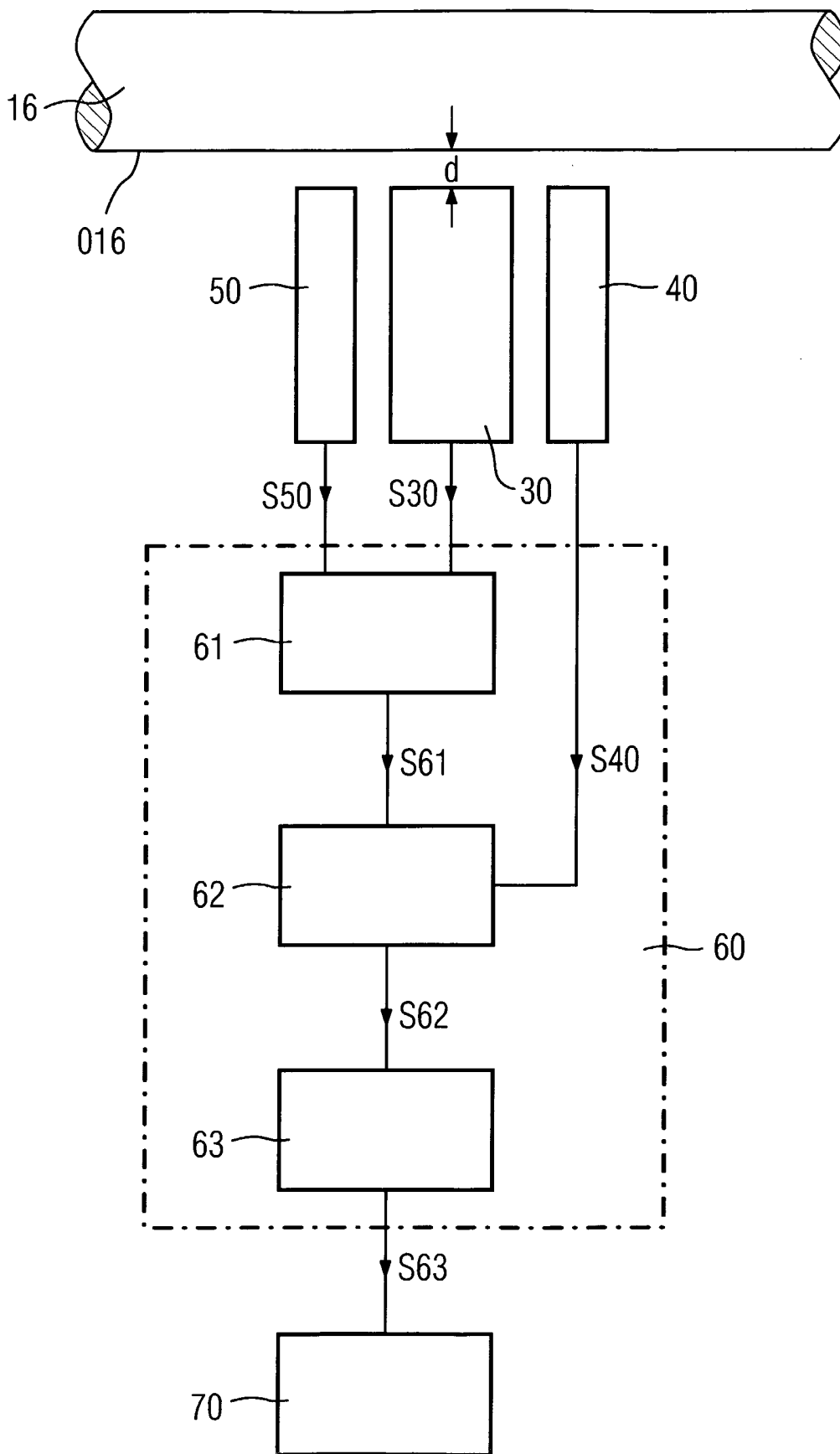


FIG 10

