

(19)

österreichisches
patentamt

(10) AT 007 889 U2 2005-10-17

(12)

Gebrauchsmusterschrift

- (21) Anmeldenummer: GM 400/05 (51) Int. Cl.⁷ G01M 15/00
(22) Anmeldetag: 2005-06-15
(42) Beginn der Schutzdauer: 2005-08-15
(45) Ausgabetag: 2005-10-17

(73) Gebrauchsmusterinhaber:
AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).

**(54) VERFAHREN ZUR PRÜFUNG EINES DYNAMISCHEN DREHMOMENTERZEUGERS UND
VORRICHTUNG ZUR ERMITTlung DES DYNAMISCHEN VERHALTENS EINER
VERBINDUNGSWELLE**

(57) Der Verlauf des über eine Verbindungswelle (3) zwischen zu prüfendem Drehmomenterzeuger (1) und Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) übertragenen Drehmomentes wird bei mit pseudostochastischem Drehzahlverlauf betriebener Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) in einer Identifikationsphase am fertig aufgebauten Prüfstand ermittelt. Daraus können die das dynamische Verhalten der Verbindungswelle (3) real und aktuell beschreibenden Parameter bestimmt und zur Einflussnahme auf die weitere Prüfung verwendet werden.

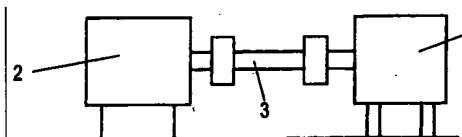


Fig. 1

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Prüfung eines dynamischen Drehmomenterzeugers am Prüfstand, insbesonders einer Brennkraftmaschine am Brennkraftmaschinen-Prüfstand, mit einer mit dem Drehmomenterzeuger über eine Verbindungsstange verbundenen, dynamisch regelbaren drehenden Maschine als Antrieb- bzw. Belastungsmaschine. Weiters betrifft die
- 5 Erfindung auch eine Vorrichtung zur Ermittlung des dynamischen Verhaltens einer Verbindungsstange eines Prüfstandes zur Prüfung eines dynamischen Drehmomenterzeugers, mit je einer auf beiden Seiten der Verbindungsstange drehverbundenen, zumindest einseitig dynamisch regelbaren drehenden Maschine als Drehmomentquelle bzw. -senke.
- 10 Zur möglichst realitätsnahen Prüfung dynamischer Drehmomenterzeuger, wie beispielsweise einer als Antriebsmotor für ein Kraftfahrzeug vorgesehenen Brennkraftmaschine, aber auch von Turbinen, Hydromotoren oder dgl., werden heutzutage entsprechend dynamisch bzw. hochdynamisch regelbare drehende Maschinen, wie etwa Elektromotoren, Hydromotoren oder ähnliche, als Antriebs- bzw. Belastungsmaschine verwendet, welche in den meisten Fällen nicht direkt, sondern über eine Verbindungsstange mit dem zu prüfenden Drehmomenterzeuger verbunden sind. In den damit zwischen der jeweiligen Drehmomentquelle und Drehmomentenquelle wirksamen Drehmomentübertragungselementen entstehen dynamische Belastungen, die zur Folge der auftretenden Drehzahlverläufe und der Abstimmung des Gesamtsystems auch unerwünschte bzw. sogar unzulässige Werte erreichen können. Um dies und daraus allenfalls resultierende Schäden zu vermeiden werden bis dato die Verbindungsstellen stets mit einer wohl definierten und jedenfalls einen sicheren Betrieb des Prüfstandes erlaubenden Steifigkeit und Dämpfung ausgebildet, wobei die entsprechenden Werte aufgrund der vorliegenden geometrischen Verhältnisse und der verwendeten Materialien gewählt werden. Größere Steifigkeiten und geringere Dämpfungen ergeben zwar grundsätzlich geringere Verluste und höhere Dynamik, bedingen aber erhöhte Anforderungen an die Prüfstandsregelung.

Bei gegebener Antriebs- und Belastungsmaschine bestimmt die Koppelung über die Verbindungsstange unmittelbar, auf welche Weise die Antriebs- und Belastungsmaschine die Dynamik des Gesamtsystems und damit auch des zu prüfenden Drehmomenterzeugers beeinflussen kann. Da der Drehmomenterzeuger üblicherweise nicht durch ein lineares System beschreibbar ist, kann auch das Gesamtsystem nicht einfach als lineares System dargestellt werden. Beispielsweise müssen Unregelmäßigkeiten der Reibung beim Drehmomenterzeuger als wesentliche Störungen in die Auswertung mit einfließen, was die Bestimmung der relevanten Parameter einer Verbindungsstange wesentlich erschwert. Dementsprechend werden nach bis dato üblichem Standard die tatsächlichen Eigenschaften der Verbindungsstange im ausgebauten Zustand ausgemessen und die entsprechenden Parameter in das Bedien- bzw. Regelsystem des Prüfstandes eingegeben, um einen korrekten Betrieb der Antriebs- und Belastungsmaschine ohne die beschriebenen Gefahren zu ermöglichen. Dieser Methode haftet der grundsätzliche Nachteil an, dass sich im reellen Aufbau stets Unterschiede zwischen den ausgemessenen oder theoretisch berechneten und den tatsächlich dann relevanten Parametern der Verbindungsstange ergeben - zum Teil wegen des Einbaues, zum Teil wegen Verschleiß oder Defekten, die auch später auftreten oder veränderlich sein können.

Die vorliegende Erfindung geht davon aus, dass eine genaue und aktuelle Information über die wesentlichen, die Dynamik beeinflussenden Parameter der Drehmomentübertragungsstrecke, und insbesondere der Verbindungsstange, sowohl die Regelgüte des Prüfstands als auch die Überwachung der dynamischen Belastungen wesentlich verbessern kann: kennt man die entsprechenden Parameter nur ungenau, so müssen die Regelparameter sehr viel vorsichtiger eingestellt werden - erkennt man weiters Änderungen der relevanten Parameter während des Prüfstandsbetriebes oder zumindest vor dem Beginn bestimmter Prüfphasen, so kann beispielsweise ein Defekt an der Verbindungsstange oder den Befestigungen detektiert oder sogar vorausgesagt werden. Eine realistische und aktuelle Überwachung der relevanten Parameter könnte auch als Hinweis auf zunehmenden Verschleiß bzw. Verfälschung der Messung ausgewertet werden. Die Gewinnung derartiger Informationen ist somit Ziel der Erfindung.

Ausgehend von den obigen Überlegungen löst die vorliegende Erfindung die gestellte Aufgabe bei dem eingangs angesprochenen Verfahren dadurch, dass der Verlauf des über die Verbindungswelle übertragenen Drehmomentes bei mit pseudo-stochastischem Drehzahlverlauf betriebener drehender Antriebs- bzw. Belastungsmaschine in einer Identifikationsphase am fertig

- 5 aufgebauten Prüfstand ermittelt und daraus die das dynamische Verhalten der Verbindungswelle beschreibenden Parameter bestimmt und zur Einflussnahme auf die weitere Prüfung verwendet werden. Die erfundungsgemäße Vorrichtung ist dementsprechend dadurch gekennzeichnet, dass am fertig aufgebauten Prüfstand als Drehmomentquelle bzw. -senke unmittelbar der zu prüfende Drehmomenterzeuger einerseits, und die für die Prüfung als Antrieb- bzw.
10 Belastungsmaschine eingesetzte, dynamisch regelbare drehende Maschine andererseits, dienen. Auf diese Weise wird die Verbindungswelle in einer vor oder auch während der eigentlichen Prüfung gelegenen Identifikationsphase am fertig für die Prüfung aufgebauten Prüfstand real in gleicher Weise wie bei der Prüfung des Drehmomenterzeugers dynamisch belastet, sodass die dabei ermittelten entsprechenden Parameter auch das reale und jeweils aktuelle
15 Verhalten der Welle beschreiben, sodass die unmittelbare Verwendung dieser ermittelten Parameter zur Einflussnahme auf die weitere Prüfung vorteilhaft möglich wird.

Die ermittelten Parameter können erfundungsgemäß beispielsweise zur Abstimmung der Regelung der Antriebs- bzw. Belastungsmaschine verwendet werden. Vorteilhaft ist auch eine weitere Ausgestaltung der Erfindung, gemäß welcher diese Parameter mit vorgegebenen Werten verglichen und daraus Aussagen über Änderungen des Wellenverhaltens gemacht und gegebenenfalls im weiteren Prüfungsverlauf berücksichtigt werden. Weiters können diese Parameter aber auch zur Darstellung eines virtuellen Sensors für die Verdrehung und das Wellenmoment der Verbindungswelle verwendet werden.

25 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sowie eine nähere Beschreibung des Verfahrens und der Vorrichtung sind den weiteren Ansprüchen sowie der folgenden Beschreibung der Zeichnungen zu entnehmen.

30 Fig. 1 zeigt dabei schematisch einen Prüfstand bzw. eine typische Vorrichtung nach der vorliegenden Erfindung, Fig. 2 eine zugehörige vereinfachte Modellannahme, Fig. 3 den Verlauf des durch Unregelmäßigkeiten der Reibung entstehenden Störmomentes am zu prüfendem Drehmomenterzeuger über der Zeit, Fig. 4 das zugehörige Rückkoppelungsmodell, Fig. 5 ein Beispiel für eine pseudo-stochastische Drehzahlanregung zur Verwendung im erfundungsgemäßen
35 Verfahren, Fig. 6 die Struktur eines Regelkreises mit dem die ermittelten Parameter der Verbindungswelle zur Abstimmung der Prüfstandsregelung verwendet werden können und Fig. 7 ein Beispiel für die Struktur einer Überwachung mit Hilfe der ermittelten Parameter der Verbindungswelle.

40 Wie in Fig. 1 dargestellt, besteht ein typischer Prüfstand der hier interessierenden Art aus mindestens drei wesentlichen Komponenten, dem Prüfling (Drehmomenterzeuger 1), der drehenden Antriebs- und Belastungsmaschine 2 und der die beiden Maschinen 1 und 2 verbindende Verbindungswelle 3. Das Gesamtverhalten des Systems ergibt sich aus der Überlagerung der Eigenschaften aller drei dieser Komponenten, wobei typischerweise der Drehmomenterzeuger 1 so betrieben wird, dass gewisse Eigenschaften zum Tragen kommen. In einer vereinfachten Version (Fig. 2) lassen sich die wesentlichen Komponenten auf eine drehende Masse seitens des Drehmomenterzeuger 1, eine drehende Masse seitens der Antriebs- und Belastungsmaschine 2 und die Verbindungswelle 3, die in Fig. 2 beispielhaft wie eine Parallelschaltung von Feder- und Dämpfungselementen dargestellt wird, beschränken.

45 50 Die von den beiden Maschinen (1, 2) aufgebrachten Drehmomente (J_1 bzw. J_2) bzw. die sich daraus ergebenden Drehzahlen ($y_1(t)$ bzw. $y_2(t)$) bezeichnen den Zustand der beiden drehenden Maschinen (1, 2). Die Kopplung zwischen den Maschinen (1, 2) bestimmt z. B. auf welche Weise die Antriebs- und Belastungsmaschine 2 die Dynamik des Prüflings 1 beeinflussen kann. Im Falle einer geschleppten Brennkraftmaschine als Prüfling 1 (wie dies in den Ansprüchen als

mögliche vorteilhafte Ausführung angesprochen wird), d. h. im Falle, dass nur auf der Seite der Antriebs- und Belastungsmaschine 2 Energie in das System eingeprägt wird ($u(t)$), wird typischerweise die Drehzahl, auf Grund des durch die Unregelmäßigkeiten der Reibung verursachten Störmomentes (Fig. 3), um einen Mittelwert schwanken. Hier wird die Tatsache berücksichtigt,

5 dass der Widerstand der Brennkraftmaschine eine Zeitfunktion ist, bei der Kompressionsphasen zu höheren Widerstandsmomenten als die übrigen Phasen mit offenen Ventilen führen. Dies führt dazu, dass ein solches System nicht einfach als lineares System dargestellt werden kann, sondern dass die Unregelmäßigkeiten der Reibung als wesentliche Störungen in die Betrachtung einfließen müssen, was die Bestimmung der Parameter bei einer funktionierenden 10 Welle wesentlich erschwert. Dementsprechend werden im normalen Industriestandard die Eigenschaften der Verbindungswelle 3 im ausgebauten Zustand ausgemessen und diese Parameter in das Bedienungssystem des Prüfstandes eingegeben, mit dem Ziel einen korrekten Betrieb der Antriebs- und Belastungsmaschine 2 zu ermöglichen.

15 Erfindungsgemäß geht es aber nun darum, die Bestimmung der relevanten Parameter im ausgebauten Zustand durchzuführen, was mehrere Gründe hat. Zum Beispiel kann eine Abstimmung zu den reellen Werten erfolgen, da wegen des Einbaus gewisse Änderungen möglich sind. Zudem wird die Überwachung von Änderungen der Parameter der Übertragungsstrecke ermöglicht, die als Hinweis auf zunehmenden Verschleiß bzw. Verfälschung der Messung, 20 gewertet werden können.

Die hier vorgestellte Methode lässt sich auch auf andere, kompliziertere Modelle der Übertragungstechnik anwenden, sei hier aber am einfachen Beispiel der Fig. 2 genauer erläutert. Zu diesem Zweck betrachte man Fig. 4, welche eine äquivalente Darstellung des Übertragungsverhaltens dieses Modells dritter Ordnung unter der Berücksichtigung der zeitveränderlichen Widerstände des Prüflings 1 wieder gibt. Wie aus Fig. 4 ersichtlich ist, ist es möglich diese nicht-linearen Effekte durch eine Rückkopplung darzustellen. Verwendet man nun dieses Modell, so ergibt sich daraus eine mathematische Beschreibung der Form

$$\begin{aligned} 30 \quad & (A(q^{-1}) - B_{22}(q^{-1})\beta_1)A(q^{-1})y_1(t) = \\ & ((B_{12}(q^{-1})B_{21}(q^{-1}) - B_{11}(q^{-1})B_{22}(q^{-1}))\beta_1 \\ & - A(q^{-1})B_{11}(q^{-1}))u(t) \\ 35 \quad & + B_{12}(q^{-1})A(q^{-1})(\beta_0 + \Delta_s(t)) \end{aligned}$$

Dabei sind im Polynom $A(q^{-1})$ die Pole bzw. Eigenwerte des linearen Systems, also die gesuchten Eigenschaften der Übertragungswelle, während die zusätzlichen Pole bzw. Eigenwerte, die 40 als Folge der Unregelmäßigkeiten der Bewegung der Brennkraftmaschine entstehen und die vom Betriebspunkt abhängen, aus dem Polynom $(A(q^{-1}) - B_{22}(q^{-1})\beta_1)$ hervorgehen. Wichtig ist dabei die Tatsache dass die Pole des linearen Systems, also die Nullstellen des Polynoms $A(q^{-1})$, von den zusätzlichen Polen, also den Nullstellen des Polynoms $(A(q^{-1}) - B_{22}(q^{-1})\beta_1)$, frequenzmäßig trennbar sind. Durch leichte Variation von Betriebspunkten ist es also möglich, mittels Verwendung bekannter Methoden bei jedem Arbeitspunkt aus der Identifikationstheorie 45 (z.B. ARMAX) die gesamten Pole des Systems zu bestimmen, wobei die arbeitspunktunabhängigen Pole, zu welchen auch die niedrigeren Eigenfrequenzen zugeordnet werden können, den tatsächlichen Polen der Verbindungswelle 3 entsprechen, also Steifigkeit und Dämpfung im Falle eines einfachen Modells zweiter Ordnung. Es ist also möglich entweder durch das Variieren der Arbeitspunkte diese arbeitspunktunabhängigen Pole von arbeitspunktunabhängigen Polen 50 zu unterscheiden oder bei konstantem Arbeitspunkt die Pole auf Grund deren zugeordneter Eigenfrequenzen zu unterscheiden. Letzteres findet auch dann Anwendung, wenn nur ein Arbeitspunkt zur Identifikation verwendet wird. Die Identifikation beruht natürlich darauf, dass um jeden Arbeitspunkt ein genügend anregendes Signal vorhanden ist, was in der technischen Sprache 55 als fortwährende Anregung bezeichnet wird. Dies kann ganz grundsätzlich unter-

schiedliche Formen haben, am besten wäre ein rauschendes Signal. Erfahrungsgemäß reicht aber jede genügend differenzreiche, pseudo-stochastische Anregung. Fig. 5 zeigt ein Beispiel einer solchen Anregung sowie die entsprechenden Identifikationssignale.

5 Sind nun die Parameter des Modells bekannt so lässt sich mit diesem Modell das Verhalten des Prüfstandssystems hinreichend genau mathematisch beschreiben, sodass sich diese Beschreibung des Prüfstandsverhaltens speziell für drei Anwendungsgebiete eignet:

- Virtuelle Sensoren
- 10 • Entwurf eines modellbasierten Reglers
- Überwachung des Systems

Beispiel 1: Virtuelle Sensoren

15 Bei virtuellen Sensoren werden die gewünschten Messsignale, für welche keine realen Sensoren zur Verfügung stehen, aus den Zuständen des Systems berechnet. Da diese Zustände genau dann geschätzt werden können, wenn eine hinreichend genaue mathematische Modellbeschreibung vorhanden ist, lässt die Kenntnis über die Modellparameter eine Schätzung dieser Zustände zu. Konkret können damit die Verdrehung der Verbindungswelle 3, welche nur schwer und dann mit hohem Aufwand messbar ist, und das Wellenmoment, also das direkte Belastungsmoment des Prüflings 1, ermittelt werden. Wichtig ist dabei, dass sich das Wellenmoment vom Moment der Antriebs- und Belastungsmaschine 2 um die Dynamik der Verbindungswelle 3 unterscheidet. Im stationären Fall sind also Drehmoment der Antriebs- und Belastungsmaschine gleich. Dabei muss allerdings erwähnt werden, dass ein reiner stationärer Betrieb bei Vorhandensein von Unregelmäßigkeiten der Reibung (siehe oben) nie auftritt.

20 Das Wellenmoment berechnet sich aus einem der Verdrehung der Verbindungswelle 3 proportionalen Anteil und einem der Drehzahldifferenz, also der Differenz der Drehzahlen von Drehmomenterzeuger 1 und Antriebs- und Belastungsmaschine 2, proportionalen Anteil. Die Proportionalitätsfaktoren entsprechen exakt der Steifigkeit und der Dämpfung, also den identifizierten Parametern.

25 Ein wesentlicher Vorteil eines virtuellen Sensors ist dabei, dass auf einen Messflansch ohne Informationsverlust verzichtet werden kann.

30 Beispiel 2: Entwurf eines modellbasierten Reglers

35 Ist die mathematische Beschreibung des Systemverhaltens bekannt, so kann diese für die Reglerauslegung verwendet werden. Da zum Systemverhalten auch das Prüflingsverhalten gehört, muss auch dieses bekannt sein, um modellbasierte Regelung anwenden zu können. Dieses Verhalten ist in einem weiteren, hier nicht näher interessierenden Identifikationsverfahren zu bestimmen (siehe z.B. EP 1 452 848 A1). Sind sämtliche Systemparameter bekannt, dann können verschiedenste Verfahren verwendet werden. Als Beispiel kann die Auslegung eines robusten Reglers genannt werden. Dabei wird angenommen, dass sich das Systemverhalten, z.B. durch Neubedatung des Drehmomenterzeugers 1, leicht verändern kann. Der Regler wird dann so bestimmt, dass er unter Berücksichtigung der möglichen Modellveränderung zur gewünschten Performance führt.

40 Da das System zwei Eingangsgrößen (Eingriff auf den Drehmomenterzeuger 1, Eingriff auf die Antriebs- und Belastungsmaschine 2) hat, können zwei voneinander unabhängige Größen geregelt werden. Oft gilt es als Aufgabe die Drehzahl des Drehmomenterzeugers 1 und das Wellenmoment zu regeln. Eine mögliche Regelstruktur ist dafür in Fig. 6 zu sehen, wobei mit T_{TS} das Wellenmoment, mit T_{Dyno} das Eingangs(soll)moment der Antriebs- und Belastungsmaschine 2, mit a_{Eng} der Eingang des Drehmomenterzeugers 1, mit ω_E die Motordrehzahl und mit T_{TS_dem} und ω_E_dem die gewünschten Verläufe des Wellenmomentes und der Motordrehzahl

gemeint sind. Der Block 4 „Regler“ beinhaltet das Regelgesetz, welches in Abhängigkeit der jeweiligen Prüfstandsparameter die Eingänge des Systems so berechnet, dass der vorgegebene Verlauf bestmöglich nachgefahren werden kann.

- 5 Eine Regelung muss aber nicht unbedingt eine Folgeregelung, wie es in obiger Anwendung angesprochen ist, sein. Eine weitere Möglichkeit der Regelung am dynamischen Motorenprüfstand ist die Nullmassensimulation. Dabei muss die Antriebs- und Belastungsmaschine 2 so angesteuert werden, dass der Drehmomenterzeuger 1 nicht von dieser beeinflusst wird. Dazu muss die Trägheit und Reibung der Antriebs- und Belastungsmaschine 2 durch geeignete Ansteuerung kompensiert werden. Die Verbindungswelle 3 darf außerdem nicht verdreht werden, was wiederum einer Belastung des Drehmomenterzeugers 1 gleichkommt. Dies gelingt nur, wenn die Wellenparameter bekannt sind, sodass die Ansteuerung der Antriebs- und Belastungsmaschine 2 entsprechend gestaltet werden kann, um die Dynamik der Verbindungswelle 3 und der Antriebs- und Belastungsmaschine 2 zu kompensieren.
- 10
- 15 Eine dritte Art und Möglichkeit der Regelung am dynamischen Brennkraftmaschinen- bzw. Antriebsmotor-Prüfstand ist die Fahrzeugsimulation. Dazu ist es notwendig, das Verhalten eines Antriebsstranges relativ genau zu modellieren und mathematisch zu formulieren. Bei der Fahrzeugsimulation am dynamischen Prüfstand wird der Drehmomenterzeuger 1 dann mit dem Moment belastet, mit dem er auch im Fahrzeug belastet werden würde. Die Antriebs- und Belastungsmaschine 2 muss dann so angesteuert werden, dass die Dynamik der Verbindungswelle 3 kompensiert und gleichzeitig die Dynamik des Antriebsstranges simuliert wird. Zur Kompensation der Wellendynamik sind die genauen Parameter der Verbindungswelle am Prüfstand notwendig.
- 20
- 25 Beispiel 3: Überwachung des Systems

Bei der Überwachung wird das System auf Grund eines Streckenmodells überwacht. In Fig. 7 ist dabei eine mögliche Struktur abgebildet. Das Streckenmodell entspricht wiederum einer mathematischen Beschreibung des Systems. Überwacht werden können innere Zustände des Systems (z.B. Verdrehung der Verbindungswelle 3) aber auch Ausgänge (z.B. Drehzahlen am Drehmomenterzeuger 1 und an der Antriebs- und Belastungsmaschine 2). Wesentlich ist, dass bei Auftreten einer Abweichung der aktuellen Größen von den mittels mathematischem Modell errechneten Größen eine Änderung der Strecke vorliegen muss. Dies ermöglicht z.B. einen zukünftigen Bruch der Verbindungswelle 3 vorherzusagen, bzw. ermöglicht es weiters dem Operator eine Streckenänderung mitzuteilen. Dieser kann dann entsprechende Maßnahmen setzen. Oft werden zur Überwachung der Strecke in der Einheit 7 auch virtuelle Sensoren 5 anstelle der Sensoren 6 verwendet.

40

Ansprüche:

1. Verfahren zur Prüfung eines dynamischen Drehmomenterzeugers (1) am Prüfstand, insbesonders einer Brennkraftmaschine am Brennkraftmaschinen-Prüfstand, mit einer mit dem Drehmomenterzeuger (1) über eine Verbindungswelle (3) verbundenen, dynamisch regelbaren drehenden Maschine als Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2), *dadurch gekennzeichnet*, dass der Verlauf des über die Verbindungswelle (3) übertragenen Drehmomentes bei mit pseudo-stochastischem Drehzahlverlauf betriebener drehender Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) in einer Identifikationsphase am fertig aufgebauten Prüfstand ermittelt und daraus die das dynamische Verhalten der Verbindungswelle (3) beschreibenden Parameter bestimmt und zur Einflussnahme auf die weitere Prüfung verwendet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die ermittelten Parameter zur Abstimmung der Regelung der Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) verwendet werden.

55

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die ermittelten Parameter mit vorgegebenen Werten verglichen und daraus Aussagen über Änderungen des Wellenverhaltens gemacht und gegebenenfalls im weiteren Prüfungsverlauf berücksichtigt werden.
- 5 4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass die ermittelten Parameter zur Darstellung eines virtuellen Sensors für die Verdrehung und das Wellenmoment der Verbindungswelle (3) verwendet werden.
- 10 5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) als Antrieb verwendet und der Drehmomenterzeuger (1) geschleppt wird.
- 15 6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass jeweils an nur einer Stelle die Drehzahl und an nur einer Stelle das Drehmoment gemessen werden.
- 20 7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass als relevante Parameter die Steifigkeit und die Dämpfung des Drehschwingungssystems bestimmt und verwendet werden.
- 25 8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass der pseudo-stochastische Drehzahlverlauf aus einer Zufallsbewegung um eine kleine Anzahl stationärer Drehzahlen besteht.
- 30 9. Vorrichtung zur Ermittlung des dynamischen Verhaltens einer Verbindungswelle (3) eines Prüfstandes zur Prüfung eines dynamischen Drehmomenterzeugers, mit je einer auf beiden Seiten der Verbindungswelle (3) drehverbundenen, zumindest einseitig dynamisch regelbaren drehenden Maschine als Drehmomentquelle bzw. -senke, *dadurch gekennzeichnet*, dass am fertig aufgebauten Prüfstand als Drehmomentquelle bzw. -senke unmittelbar der zu prüfende Drehmomenterzeuger (1) einerseits, und die für die Prüfung als Antriebs- bzw. Belastungsmaschine (2) eingesetzte, dynamisch regelbare drehende Maschine anderseits, dienen.

35

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

40

45

50

55

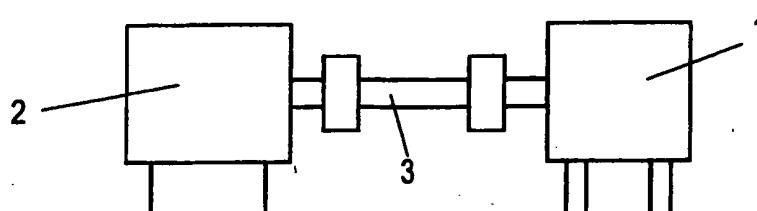


Fig. 1

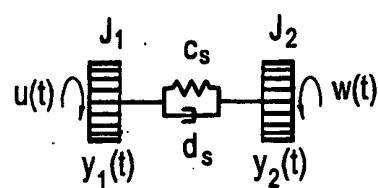


Fig. 2

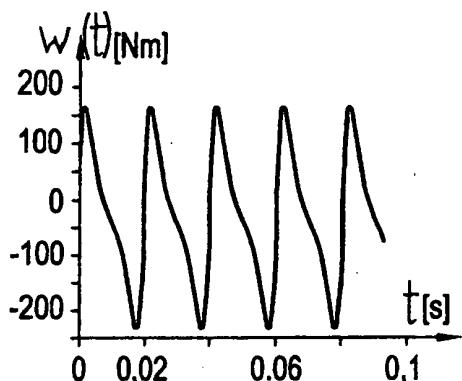


Fig. 3

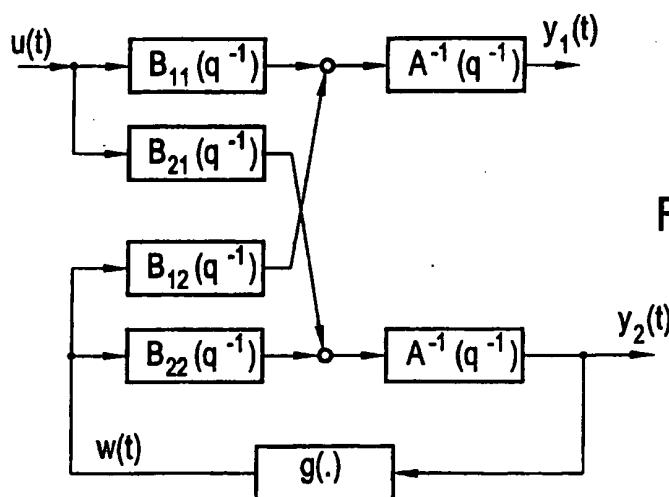


Fig. 4

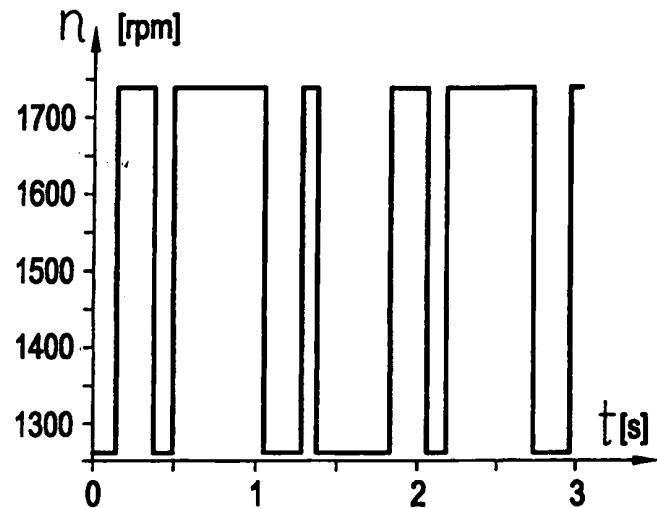


Fig. 5

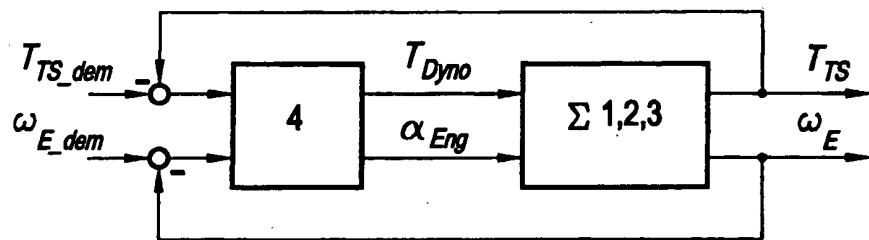


Fig. 6

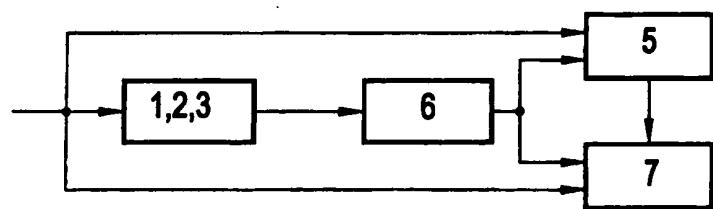


Fig. 7